



**UNIVERSIDAD POPULAR AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE PUEBLA**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CONEXIONES EN ACERO

Trabajo de investigación que para
obtener el título de

INGENIERO CIVIL

Presenta :

Francisco Manuel Cerdeira Castiñeiras

Puebla, Pue. México

Noviembre de 1999



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

El uso de textos, imágenes, gráficas, 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 de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

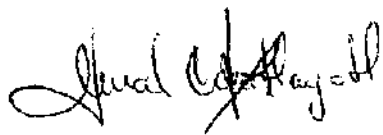
Puebla, 3 de Noviembre de 1999

Ing. Mario Jiménez Suárez
Director de la Facultad de Ingeniería Civil, UPAEP
Presente

Por este conducto le informo que el alumno **Francisco Manuel Cerdeira Castiñeiras, Matrícula 70210**, ha desarrollado el trabajo de investigación denominado **"Conexiones en acero"**, el cual ha cubierto los objetivos establecidos al inicio del mismo, por lo cual no tengo inconveniente en certificar su conclusión satisfactoria.

Quedo a sus órdenes para cualquier aclaración.

Atentamente



Ing. J. Manuel Cuatlayotl Sarmiento
Coordinador del Area de estructuras

48825

INDICE

1. INTRODUCCION.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.3. Alcances y limitaciones.....	3
1.4. Hipotesis.....	4
2. CLASIFICACION.....	3
2.1. Clasificación según la rigidez de la conexión.....	3
2.2. Clasificación de acuerdo al modo de carga.....	4
2.3. Introducción a la clasificación de los sujetadores.....	5
2.4. Clasificación de los sujetadores.....	6
2.5. Remaches.....	6
2.6. Tornillos.....	7
2.7. Soldadura.....	9
3. CONEXIONES ATORNILLADAS.....	12
3.1. Tornillos apretados sin holgura y tornillos completamente tensados.....	12
3.2. Métodos para tensar completamente los tornillos de alta resistencia.....	13
3.3. Conexiones tipo fricción y tipo aplastamiento.....	14
3.4. Tamaño de agujeros para tornillos y remaches.....	14
3.5. Transmisión de carga.....	15
3.6. Fallas en juntas atornilladas.....	16
3.7. Separación y distancias a bordes de los tornillos.....	17
3.8. Conexiones tipo aplastamiento, bajo cargas que pasan por el centro de gravedad de la conexión.....	21
3.9. Conexiones tipo fricción bajo cargas que pasan por el centro de gravedad de la conexión.....	25
3.10. Tornillos sujetos a corte excéntrico.....	29
3.11. Tornillos sujetos a corte en tensión.....	36
3.11. Cargas de tensión en juntas atornilladas.....	38
3.13. Acción separadora.....	39
4. CONEXIONES SOLDADAS.....	43
4.1. Ventajas de la soldadura.....	43
4.2. Inspección de la soldadura.....	44
4.3. Símbolos para soldadura.....	45

4.4. Soldaduras de ranura.....	47
4.5. Soldaduras de filete.....	47
4.6. Resistencia de las soldaduras.....	48
4.7. Requisitos del LRFD.....	48
4.8. Diseño de soldaduras de filete.....	51
4.9. Diseño de soldaduras de filete para miembros de armaduras.....	55
4.10. Cortante y torsión.....	58
4.11. Cortante y flexión.....	63
5. CONEXIONES EN UNA ESTRUCTURA.....	65
5.1. Conexiones en una estructura.....	65
CONCLUSIONES.....	70
REFERENCIAS.....	72
ANEXO 1.....	73
ANEXO 2.....	78
ANEXO 3.....	83

1. INTRODUCCION

1.1. ANTECEDENTES

Seguramente en la antigüedad el primer metal usado por el hombre fue el cobre, como el bronce, en la actualidad los avances más importantes en los metales se han desarrollado en torno al acero y el hierro ya que estos materiales ocupan el 95% de los metales producidos en todo el mundo.

El acero se define como una combinación de hierro y carbono (por lo general un 1% de carbono), esta combinación también contiene otros elementos. El primer uso del metal para una estructura tuvo lugar en Shropshire, Inglaterra, ahí fue construido con acero fundido el puente de Coalbrookdale en el río Severn. Este puente sigue en pie y fue gracias a este, que se introdujo el metal como material estructural.

En la actualidad el acero estructural es un material al cual se le modifican sus propiedades, variando la cantidad de carbono y otros elementos como el silicio, níquel, manganeso y cobre.

Una aleación es la mezcla del hierro y uno de los elementos anteriores en gran proporción, en consecuencia, se tienen los diferentes tipos de aleaciones de acero para las estructuras, pero en sí, las estructuras de acero no son construidas en una sola pieza, sino que son varios elementos que trabajan resistiendo cargas acordes al uso que se les den, e aquí la importancia de que exista una buena conexión entre estos elementos. Esto no quiere decir que

se tenga que lograr una continuidad total entre ellos ya que en ciertos casos por ejemplo, no es conveniente transmitir momentos a otros elementos, por lo que es muy importante saber que tipo de conexión se va a usar. Las conexiones en acero son aquellos sistemas capaces de sujetar y transmitir cargas entre los elementos estructurales.

La selección del tipo del sujetador para una estructura implica considerar muchos factores, entre los cuales están: códigos de construcción, economía, disponibilidad de personal capacitado, condiciones de carga y equipo disponible entre otros.

1.2. OBJETIVOS

General:

Describir los tipos de conexiones en acero estructural, su aplicación, ventajas y desventajas.

particulares:

Describir los tipos de conexiones y un método de análisis para cada tipo de conexión.

1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES

Conocer el tipo de conexiones en acero estructural mas usadas en nuestro medio, se clasificaran y se propondrá algún método o secuencia de análisis para cada una de ellas.

1.4. HIPOTESIS

Los tipos de conexiones serán de dos tipos:

- (FR) rígidas, continuas y además los ángulos originales entre los miembros permanecen virtualmente sin cambio bajo cargas.
- (PR) conexiones simples o semirrígidas.

2. CLASIFICACION

2.1. CLASIFICACION SEGUN LA RIGIDEZ DE LA CONEXION

Todas las conexiones tienen una restricción, es decir que van a resistirse a ser deformadas en sus ángulos originales ante la aplicación de una carga. Dependiendo de la magnitud de la carga la LRFD (Load Resistance Factor Design) clasifica a las conexiones en conexiones totalmente restringidas (FR) y conexiones parcialmente restringidas (PR).

- 1.Las conexiones tipo FR son rígidas y continuas teniendo un grado de restricción tal que los ángulos originales entre los miembros permanecen igual ante las cargas.
- 2.Las conexiones tipo PR no tienen la suficiente rigidez para mantener los ángulos originales ante cargas.

Conexiones Simples: Son aquellas que no tienen ninguna restricción ante momento y que giran libremente ante la acción de una carga.

Conexiones Semirrígidas: Este tipo de conexión esta entre la rígida y la simple por lo general se clasifican en terminos de momentos. Tienen una apreciable resistencia a la rotación del extremo, desarrollando momentos de extremo, en la practica el proyectista en el análisis tiene la costumbre de considerar las conexiones simples o rígidas sin que existan situaciones intermedias.

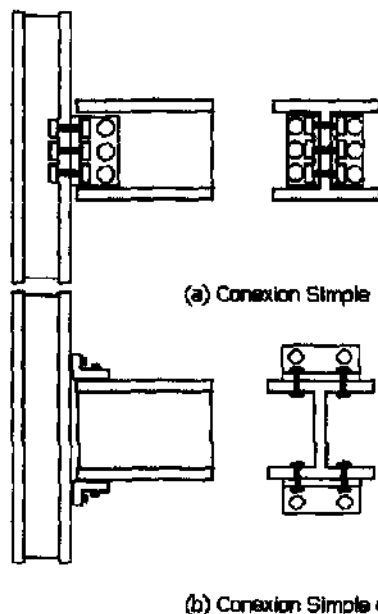


Figura 2.1. Conexiones simples.

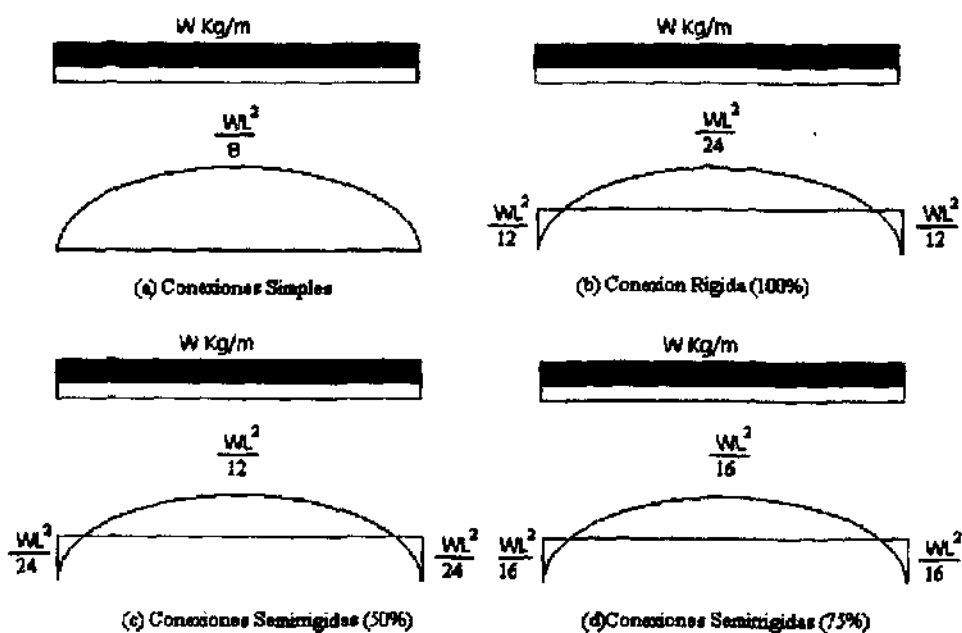


Figura 2.2. Conexiones según su rigidez.

2.2. CLASIFICACION DE ACUERDO AL MODO DE CARGA

Otra forma de clasificar las conexiones es de acuerdo al modo de transmisión de la carga al sujetador, en este caso se tiene:

1. Conexiones a cortante: las cuales hacen fallar a los sujetadores por cortante.
2. Conexiones a tensión: hacen fallar a los sujetadores por tensión.

3. Conexiones a fricción: Este tipo de conexión es a cortante en la cual se transmite la carga por fricción

4. Conexiones por aplastamiento: Son conexiones similares a las de fricción pero en las que existe deslizamiento y la carga se transmite por apoyo entre las placas ocasionando fuerzas de corte entre los sujetadores y las placas.

Comúnmente se clasifican como conexiones por fricción o aplastamiento a las remachadas o atornilladas con tornillos tipo A-307.

Las conexiones atornilladas y remachadas pueden clasificarse también de acuerdo con la naturaleza y punto de aplicación de la carga con respecto al grupo de sujetadores. Cuando la carga pasa por el centro del eje centroidal de los sujetadores se le llama conexión bajo carga directa, en caso contrario se le llama conexión de carga excéntrica, pero en caso de que la carga se trate de un momento entonces se le denomina conexión a momento puro.

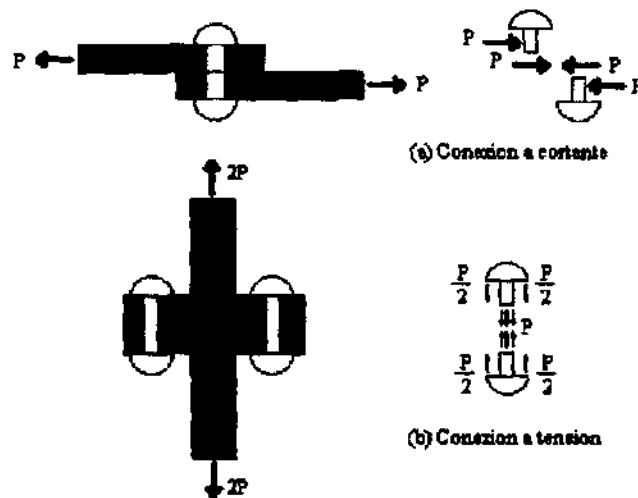


Figura 2.3. Conexiones a tensión y a cortante.

2.3. INTRODUCCION A LA CLASIFICACION DE LOS SUJETADORES

Hasta 1948, cuando se aprobó el uso de tornillos de alta resistencia, el único tipo de sujetador usado era el remache, estos se instalaban en caliente tanto en instalaciones de taller como en campo. En la actualidad, con los tornillos estructurales, se redujo mucho el costo por mano de obra, por eso los remaches solo se usan para conexiones en taller. Los tornillos de alta resistencia ofrecen otras ventajas como por ejemplo una alta tensión inicial con lo cual se obtiene una gran fuerza de apriete y se transmiten las cargas entre elementos a través de fuerzas

de fricción, esto si no hay mucho deslizamiento. La resistencia de la junta a la fatiga también es alta, ya que las cargas alternadas producen muy poco cambio en los esfuerzos de los tornillos y a su vez evita el aflojamiento de las tuercas.

Los pasadores estructurales pueden clasificarse en dos tipos: Aquellos en los que los miembros conectados giran en ángulos grandes y aquellos en los que los miembros solo giran ángulos pequeños. Los primeros, también llamados muñón, se usan en puentes basculantes, plumas, etc. y se deben lubricar constantemente. El segundo tipo de pasador se usa principalmente, para articulaciones de arcos, para articulaciones de placas, como puentes en voladizo, juntas de expansión, mecedoras etc.

2.4. CLASIFICACION DE LOS SUJETADORES

Para fines prácticos se tienen tres tipos de sujetadores que son los mas comunes para la construcción estos son:

- Remaches
- Tornillos estructurales comunes y alta resistencia
- Soldadura

2.5. REMACHES

Los remaches utilizados en la construcción, son por lo general de acero de grado suave que además no se vuelve frágil al martillarse, calentarse o trabajar con la pistola de remachar, para formarle la cabeza. El remache consta de un vástago cilíndrico de acero con una cabeza redondeada en un extremo, el cual se calienta a una temperatura aprox. de (1800° F), y después se le da forma al otro extremo mediante la pistola remachadora la cual aplica una sucesión de golpes al remache.

La prensa de remachar aprieta el remache en su estado pastoso y lo embute relleno satisfactoriamente el agujero.

Tipos de remaches:

Las dimensiones de los remaches comúnmente utilizadas en la construcción son las siguientes: de 3/4" y 7/8" pero se pueden conseguir desde 1/2" a 1-1/2, con incrementos de 1/8". La cabeza de los remaches son por lo general de forma semiesférica, y se le llama de gota, cuando se requiere se puede tener una cabeza plana o embutida, en el caso de los remachas de cabeza embutida no desarrollan el 100% de su resistencia y se debe tomar un 50% en el diseño.

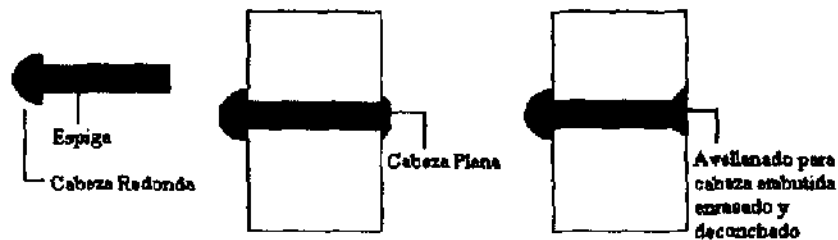


Figura 2.4. Tipos de remache.

En los planos de fabricación se usan varios símbolos para representar el tipo de remache algunos de estos símbolos se presentan en la siguiente figura

Descripción	Remaches colocados en el taller	Remaches colocados en la obra
Cabezas redondas en ambos lados	○	●
Embutido y desconchado en el lado cercano	○ /	● /
Embutido y desconchado en el lado cercano	○ X	● X
Embutido y desconchado en ambos lados	○ X	● X
Embutido no mayor de 1/8" de altura, en el lado cercano	○ /	● /

Figura 2.5. Símbolos para los remaches.

Las principales especificaciones del acero ASTM para remaches son las siguientes:

- ASTM A502. Grado 1. Se usan para la mayoría de los trabajos estructurales y tienen bajo grado de carbón alrededor de 0.8%
- ASTM A502. Grado 2. Son mas duros que los de grado uno, con mas contenido de carbón, son para remaches de alta resistencia.

2.6. TORNILLOS

El montaje de estructuras a través de tornillos de acero, es un procedimiento que además de ser más rápido, no se necesita mucha mano de obra y no tiene que ser tan

especializada, algunos de los diferentes tipos de tornillos que se pueden usar para conectar miembros de acero son:

1. Tornillos de maquina, o también llamados comunes, ordinarios o en bruto, se fabrican de acero al bajo carbón son los mas baratos para hacer conexiones, por lo general vienen con cabeza y tuerca cuadrada, pero también lo hay en forma hexagonal para dar una vista mas agradable. Son fáciles de colocar ya que la herramienta para apretar no necesita mucho espacio, como tienen tolerancias grandes en las dimensiones de la espiga y la cuerda, sus esfuerzos admisibles son apreciablemente menores que los de los remaches.

2. Tornillos maquinados, se preparan de acero hexagonal y sus cuerdas se cortan con un dado. Son maquinados con tolerancias reducidas para obtener ajustes casi exactos en los agujeros, debido a la dificultad para hacer los agujeros estos tornillos casi no se usan en la actualidad.

3. Tornillos con estrias, son aquellos que tienen cabezas de remache estándar y tienen aletas o nervaduras espaciadas uniformemente alrededor de las espigas. Los diámetros externos de las nervaduras son un poco mayores que los diámetros de los agujeros, y se introducen a presión, y con esto se garantiza un ajuste perfecto, su resistencia es equivalente a la de un remache estándar del mismo espesor.

4. Los pernos de alta resistencia, se fabrican con acero al medio carbón tratado térmicamente, y su resistencia a la tensión es varias veces la de un tornillo común. Este se aprieta con gran fuerza para unir placas, soportando grandes tensiones y las cargas entre las placas son transmitidas prácticamente por fricción, estos tornillos se usan en todo tipo de estructura de acero.

Una adición reciente a la familia de los tornillos, es el llamado perno de interferencia, este tiene estrias en la espiga, estos tienen configuración nudosa y su diámetro es mayor que la del agujero en el que se meten, no se requiere llave de impacto por lo que es muy practico.

Los tornillos de alta resistencia son clasificados por la ASTM en los tipos A325 y A490. El primero se fabrica en acero al medio carbón y obtiene su resistencia del tratamiento térmico, templado y revenido, mientras que el segundo obtiene su resistencia por aleación.

Las especificaciones A325 incluye tornillos de 1/2 a 1-1/2" inclusive medio templados y forjados de acero al carbón, mientras que la especificación A449 incluye tornillos y remaches de acero al carbón de 3" de diámetro y menores para usos generales.

Descripción	Tensión Permisible Ft (psi)	Cortante Permisible	
		(psi)	Fu (psi)
		Conexión tipo fricción	Conexión tipo aplastamiento
Tornillos A325 y A449* cuando la cuerda se incluye dentro de los planos	40000	15000	15000
Tornillos A325 y A449* cuando la cuerda se excluye dentro de los planos	40000	15000	22000
Tornillos A490 cuando la cuerda se incluye dentro de los planos de corte	54000	20000	22500
Tornillos A490 cuando la cuerda se excluye dentro de los planos de corte	54000	20000	32000

Descripción	Tensión Permisible Ft (kg/cm ²)	Cortante Permisible	
		(kg/cm ²)	Fu (kg/cm ²)
		Conexión tipo fricción	Conexión tipo aplastamiento
Tornillos A325 y A449* cuando la cuerda se incluye dentro de los planos	2812	1055	1055
Tornillos A325 y A449* cuando la cuerda se excluye dentro de los planos	2812	1055	1547
Tornillos A490 cuando la cuerda se incluye dentro de los planos de corte	3796	1406	1582
Tornillos A490 cuando la cuerda se excluye dentro de los planos de corte	3796	1406	2250

Tabla 2.1. Esfuerzos permisibles recomendados para tornillos de alta resistencia usados en edificios.

2.7. SOLDADURA

La soldadura es el proceso mediante el cual dos superficies metálicas son unidas por medio del calentamiento de las mismas hasta llegar a un estado plástico o fluido, permitiendo que fluyan entre si y se unan ya sea con o sin la adición de otro metal.

La adopción de la soldadura tardo varias décadas ya que se creía que tenía dos desventajas, la primera que las soldaduras tenían poca resistencia a la fatiga y la segunda que

era imposible asegurar una buena calidad sin un alto costo en la inspección de esta, pero con el tiempo se fueron dando cuenta que esto no era cierto ya que las pruebas lo demostraban.

Tipos de soldadura

Aunque existe soldadura con gas y de arco, casi toda la soldadura estructural se usa de arco. En 1801, Sir Humphry Davy descubrió como crear un arco eléctrico al acercar simultáneamente dos terminales de un circuito eléctrico de alto voltaje.

En la soldadura por gas, se quema una mezcla de oxígeno con algún tipo de gas combustible, el gas que se utiliza comúnmente es, acetileno y el proceso recibe el nombre de soldadura oxi-acetilénica. La flama se puede usar tanto para soldar como para cortar.

En la soldadura por arco, se forma un arco eléctrico entre las piezas a soldar y el electrodo provocando una fusión, la temperatura que se alcanza fluctúa entre 6000° y 10000°F (3,200° y 5,500° C).

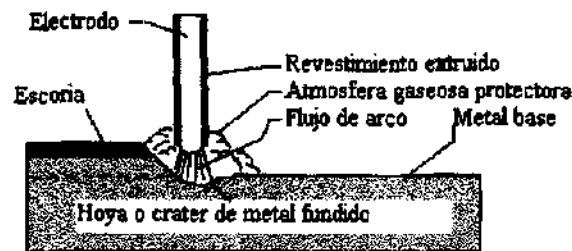


Figura 2.6. Elementos del proceso de soldadura de arco metálico protegido.

El tipo de electrodo usado es muy importante y afecta a propiedades como resistencia, ductilidad y resistencia a la corrosión, la selección del electrodo depende de cuanto material se desea depositar, la posición en la que se va a trabajar, el tipo de metal. Los electrodos se dividen básicamente en dos tipos, de recubrimiento ligero y de recubrimiento pesado que son los que por lo general se usan en la soldadura estructural.

Clasificación de las soldaduras

Los dos tipos principales de soldadura son las de filete y las soldaduras a tope, pero existen además otros tipos de soldaduras como las soldaduras de tapón y de ranura que no son muy comunes en el trabajo estructural.

La soldadura de filete se usa cuando dos miembros se unen a través de una cuerda de soldadura la cual no tiene que penetrar en uno de los miembros del todo. La soldadura a tope se

usan cuando los miembros que se van a unir no están en el mismo plano. La soldadura de tapón es una soldadura circular que une dos piezas, en una de las cuales se hace perforaciones para soldar. La soldadura de relleno se forma en muescas o agujeros alargados los cuales se rellenan con soldadura.

De acuerdo a la posición las soldaduras se clasifican como: Planas, horizontales, verticales y sobre cabeza, siendo las primeras las mas económicas y la ultima la mas costosa

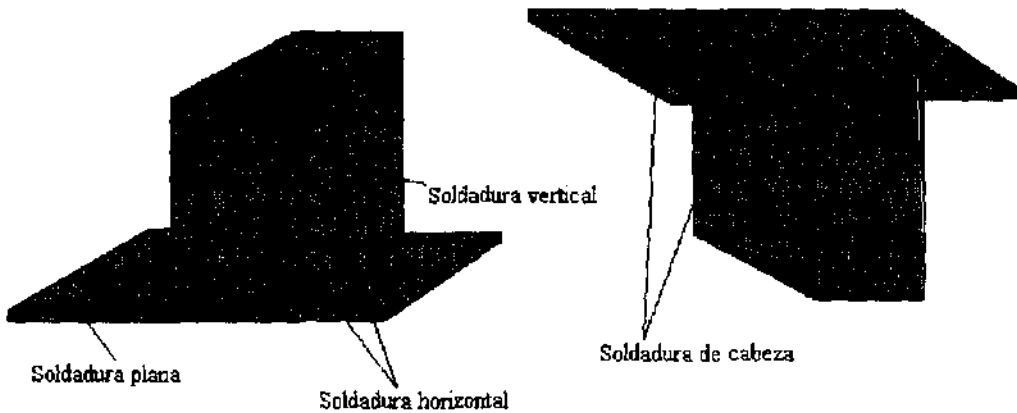


Figura 2.7. Soldaduras de acuerdo a la posición.

De acuerdo al tipo de junta las soldaduras se pueden clasificar como: a tope, traslapada en te, de canto, en esquina.

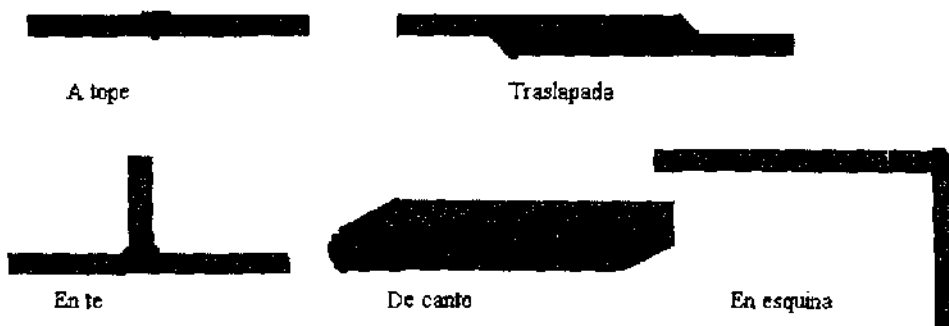


Figura 2.8. Soldaduras de acuerdo al tipo de junta.

3. CONEXIONES ATORNILLADAS

3.1. TORNILLOS APRETADOS SIN HOLGURA Y TORNILLOS COMPLETAMENTE TENSADOS

Según el LRFD, no todos los tornillos de alta resistencia deben de tensarse por completo, ya que es costosa tanto la mano de obra como su inspección. Las especificaciones LRFD requieren que todo los tornillos que deban tensarse por completo, se identifiquen de forma clara en los planos. Estos son los tornillos usados en las conexiones tipo fricción y en las conexiones sujetas a tensión directa. Las conexiones tipo fricción se requieren cuando las cargas de trabajo ocasionan un gran numero de cambios en los esfuerzos con gran posibilidad que se generen fallas por fatiga. Algunas de las conexiones en las que se pueden presentar fallas de este tipo son: Conexiones para soportes de maquinaria o para cargas vivas que provoquen impacto o cambio de signos en los esfuerzos; empalmes de columnas en todas las estructuras de mas de 200 pies de altura (60.96 Metros); conexiones de todas las vigas y trabes a columnas y otras vigas y trabes de las que dependa el arriostramiento de las columnas en estructuras de mas de 125 pies de altura (38.1 Metros), etc.

Otros tornillos requieren apretarse solo hasta quedar apretados sin holgura (snug-tight). Esto se logra cuando todos los paños de una conexión están en contacto firme entre si. En general se obtiene solo con el esfuerzo generado por un operario con una llave manual, o dándole unos pocos golpes con una llave de impacto. Los tornillos apretados sin holgura deben

de estar bien identificados en los planos de diseño como en los de montaje. La tabla 3.1. siendo la reproducción de la tabla J3.1. en la sexta parte del manual LRFD, presenta las tensiones necesarias para los tornillos tipo A325 y A490 en conexiones a fricción y sujetas a tensión directa, que deben de apretarse por lo menos al 70% de sus resistencias a la tensión mínima especificada.

Tamaño del tornillo (plg)	Tamaño del tornillo (cm)	Tornillos A325 (klb)	Tornillos A490 (klb)	Tornillos A325 (Ton)	Tornillos A490 (Ton)
1/2	1.27	12	15	5.4432	6.8040
5/8	1.5875	19	24	8.6184	10.8864
3/4	1.905	28	35	12.7008	15.8760
7/8	2.2225	39	49	17.6904	22.2264
1	2.54	51	64	23.1336	29.0304
1-1/8	2.8575	56	80	25.4016	36.288
1-1/4	3.175	71	102	32.2056	46.2672
1-3/8	3.4925	85	121	38.5560	54.8856
1-1/2	3.81	103	148	46.7208	67.1328

Igual a 0.70 veces la resistencia mínima a la tensión de los tornillos, redondeado al kip (klb) mas cercano como se estipula en las especificaciones ASTM para tornillos A325 y A490 con cuerdas UNC.

Tabla 3.1. Tensión necesaria para tornillos A325 y A490 en conexiones a fricción sujetas a tensión directa.

Los tornillos tipo A449 no pueden usarse en conexiones tipo fricción debido a que su control de calidad en su fabricación no es el adecuado.

En las conexiones tipo fricción, las tuercas no tienden a aflojarse, pero como precaución algunos constructores sueldan las tuercas o meten tornillos mas largos para apretar con dos tuercas en estas.

3.2. METODOS PARA TENSAR COMPLETAMENTE LOS TORNILLOS DE ALTA RESISTENCIA

Método del giro de la tuerca Los tornillos se aprietan sin holgura y luego se les da un giro de 1/3 o vuelta completa, dependiendo de la longitud del tornillo y de la inclinación de las superficies entre su cabezas y tuercas.

Método de la llave calibrada En este método se usa una llave calibrada y de impacto que en el momento que se alcanza el par deseado esta se detiene, es necesario su continua calibración y usar roldanas endurecidas.

Indicador directo de tensión Este consiste en una roldana con protuberancias en forma de arco en su borde, en los tornillos completamente tensados las aberturas deben medir 0.381 mm o menos.

Tornillos de diseño alternativo Existen algunos tornillos que pueden tensarse satisfactoriamente, como los tornillos con extremos ramurados que se extienden mas allá de la porción roscada.

Para ninguno de los métodos se especifica una tensión máxima en el tornillo por lo cual se pueden apretar hasta la carga mas alta trabajando eficientemente. Las tuercas siempre serán mas resistentes que los tornillos por lo cual, estas se pueden apretar sin que se fracturen hasta romper el tornillo.

3.3. CONEXIONES TIPO FRICCIÓN Y TIPO APLASTAMIENTO

Cuando la fuerza cortante es menor que la resistencia permisible por fricción, la conexión se denomina tipo fricción, esta fuerza es igual a la fuerza de apriete de los tornillos, multiplicado por un factor de fricción. Este factor se reduce a la mitad de su valor cuando las piezas de la conexión están galvanizadas, aunque para su mejor funcionamiento estas piezas pueden ser cepilladas con un cepillo de alambre. Para el funcionamiento adecuado de las juntas por fricción es recomendable que estas estén, libres de escamas, polvo, rebabas y otros defectos que puedan impedir un buen contacto entre las partes. Es necesario también que las superficies de las partes conectadas tengan pendientes no mayores de 1 a 20 con respecto a las cabezas y las tuercas a menos que las roldanas estén biseladas.

3.4. TAMAÑO DE AGUJEROS PARA TORNILLOS Y REMACHES

Además de los agujeros tamaño estándar para tornillos y remaches que son 1/16 de pulgada de diámetro mayor que los tornillos y remaches, hay tres tipos de agujeros agrandados: holgados, de ranura corta y de ranura larga. Los agujeros holgados son útiles en ocasiones porque permiten mayor facilidad en el montaje de piezas y además permiten ajustes en la plomería a la hora del montaje. En la tabla 3.2. se muestra las dimensiones de los agujeros agrandados para los diferentes tamaños de conectores.

Diámetro del tornillo(plg)	Estándar	Dimensiones de los agujeros(plg)		
		Agrandados (diámetro)	De ranura corta (ancho * longitud)	De ranura larga (ancho * longitud)
1/2	8/16	5/8	9/16 * 11/16	9/16 * 1-1/4
5/8	11/16	13/16	11/16 * 7/8	11/16 * 1-9/16
3/4	13/16	15/16	13/16 * 1	13/16 * 1-7/8
7/8	15/16	1-1/16	15/16 * 1-1/8	15/16 * 2-3/16
1	1-1/16	1-1/4	1-1/16 * 1-5/16	1-1/16 * 2-1/2
$\geq 1-1/8$	$d+(1/16)$	$d+(5/16)$	$(d+1/16) * (d+3/8)$	$(d+1/16) * (2.5d)$

Tabla 3.2. Dimensiones nominales de los agujeros (plg).

Los agujeros holgados pueden usarse en todas la placas de una conexión siempre y cuando la carga aplicada no exceda la resistencia al deslizamiento, es necesario usar roldanas endurecidas en la placas exteriores de estas conexiones.

Los agujeros de ranura corta pueden usarse independientemente de la dirección de la carga aplicada si la fuerza permisible por deslizamiento es mayor que la fuerza aplicada. Si la carga se aplica en una dirección próxima normal entre(80° y 100°) a la ranura, estos agujeros pueden usarse en alguna o todas las capas de las conexiones. Se requiere usar roldanas endurecidas para tornillos de alta resistencia.

Los agujeros de ranura larga pueden usarse en cualquiera, pero solo en una de las partes conectadas y en cualquier superficie de contacto tipo fricción y aplastamiento

3.5. TRANSMISION DE CARGA

En la figura 3.1. se muestra un tipo de conexión simple por aplastamiento y corte simple donde dos placas están conectadas con un grupo de tornillos apretados sin holgura, donde se supone que no hay la suficiente presión para que las placas no se deslicen, entonces las cargas en las placas tenderán a degollar a los conectores en el plano entre las placas y a apoyarse contra los lados de los pernos. Si se usan los métodos para apretar antes descritos, entonces se tiene una considerable fuerza de apriete y la conexión se vuelve mas confiable, se debe de trabajar con tornillos que soporten el degollamiento y con placas que no se desgarran ante la reacción de estos.

Junta traslapada La junta mostrada en la figura 3.1. se denomina junta traslapada esta tiene la inconveniente de que el eje de gravedad de la fuerza en uno de los miembros no es colineal con el eje de gravedad de la fuerza del otro. Por esta razón la junta traslapada que se usa solo en

conexiones menores debe diseñarse con dos conectores mínimo para minimizar la posibilidad de una falla por flexión.

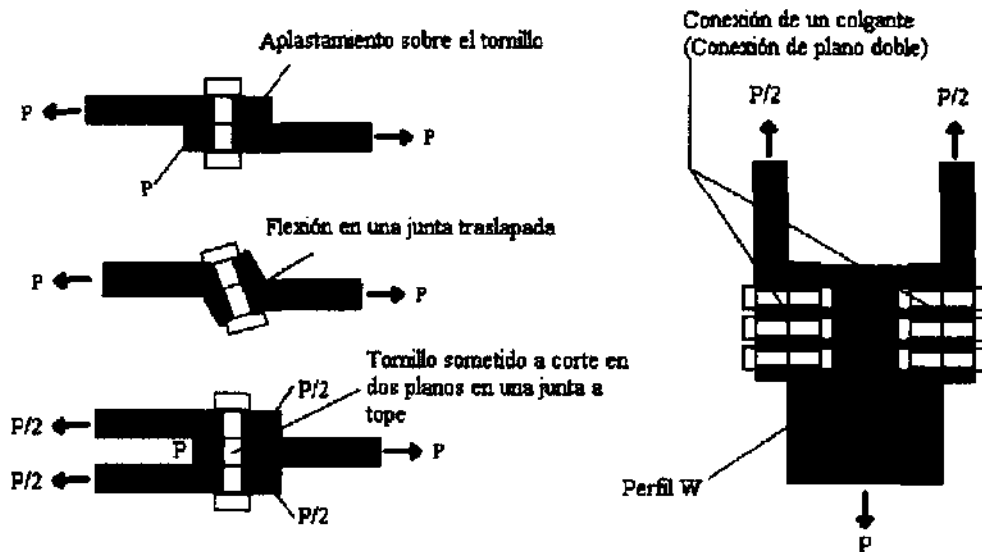


Figura 3.1. Transmisión de carga conexiones a cortante.

Junta a tope Una junta a tope se forma con tres miembros conectados como se muestra en la figura 3.1., si la resistencia al deslizamiento es insignificante entonces se tendera a degollar a los tornillos en los dos planos entre las placas simultáneamente, esto provoca que la carga se reparta en dos partes, por lo que la fuerza en cada plano seria la mitad, y la capacidad de cortante de un grupo de tornillos en una junta como esta seria del doble, además se tiene una condición de carga mas simétrica evitando así la flexión.

Conexiones de plano doble En este tipo de conexiones figura 3.1. los tornillos están expuestos a cortante simple y aplastamiento , pero el momento flexionante no se presenta.

3.6. FALLAS EN JUNTAS ATORNILLADAS

En la figura 3.2. se muestra los tipos de fallas que se pueden presentar en las conexiones atornilladas

- Falla en una junta traslapada por corte del tornillo en el plano entre las placas
- Falla de una de las placas por tensión a través del agujero de un tornillo
- Falla por aplastamiento del tornillo y placa.
- Falla de una de las placas por desgarramiento.
- Falla por cortante doble en dos planos del tornillo.

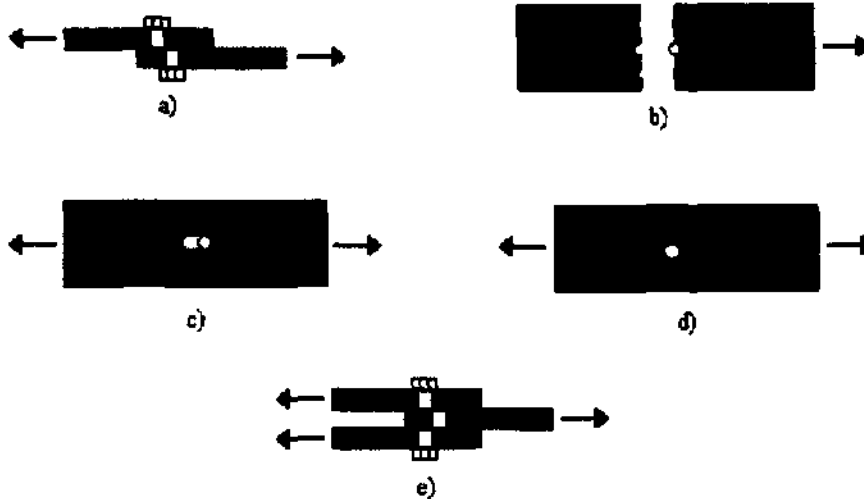


Figura 3.2. Fallas en juntas atornilladas.

3.7. SEPARACION Y DISTANCIAS A BORDES DE LOS TORNILLOS

Estas son algunas de las definiciones que se presentan para un grupo de tornillos en una conexión y se ilustran en la figura 3.3.

El paso “ p ” es la distancia centro a centro entre tornillos en una dirección paralela al eje de un miembro.

El gramil “ g ” es la distancia centro a centro entre hileras de tornillos perpendicular al eje del miembro.

La distancia al borde es la distancia desde el centro de un tornillo al borde adyacente de un miembro.

La distancia entre tornillos es la distancia mas corta entre tornillos sobre la misma o diferentes hileras de gramiles.

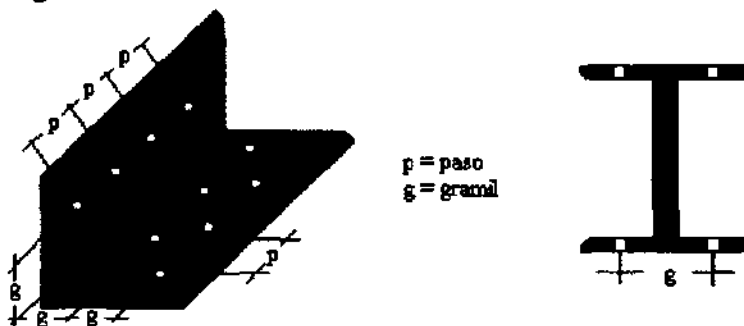


Figura 3.3. Paso y gramil en un grupo de conectores.

Separación mínima

Los tornillos deben colocarse de tal manera que sean fáciles de instalar y tratando de evitar posibles fallas por tensión en los miembros entre los tornillos. La especificación LRFD-J3.9 estipula una distancia mínima centro a centro para agujeros holgados o de ranura de no menos de 2 y 2/3 del diámetro y de preferencia 3d. Si medimos a lo largo de una línea de transmisión de fuerza, en este caso no debe ser menor de 3d si la resistencia por aplastamiento se mide con cualquiera de las siguientes expresiones $2.4 dt Fu$ y $2.0 dt Fu$.

De lo contrario, la distancia mínima centro a centro entre agujeros estándar debe determinarse con la expresión que sigue, en la que P es la fuerza transmitida por el sujetador a la parte crítica, ϕ Es igual a 0.75, t es el espesor de la parte crítica conectada y d_h es el diámetro del agujero de tamaño estándar.

Distancia mínima centro a centro

$$d_c = \frac{P}{\phi F_u} + \frac{d_h}{2}$$

ecuación 3.1.

Si los agujeros son holgados entonces la distancia mínima centro a centro se calcula con la expresión anterior y se multiplica por un coeficiente C_1 dado en la tabla 3.3. que corresponde a la tabla J3.6 del manual LRFD. La distancia libre entre esos agujeros agrandados no debe ser menor que el diámetro del tornillo asociado con ellos.

Diámetro nominal del tornillos(plg)	Agujeros agrandados	Perpendicular a la línea de fuerza	Paralelo a la línea de fuerza y de ranura corta	Paralelo a la línea de fuerza y de ranura larga*
$\leq 7/8$	1/8	0	3/16	(1-1/2)d-1/16
1	3/16	0	1/4	1-7/16
$\geq 1-1/8$	1/4	0	5/16	(1-1/2)d-1/16
Diámetro nominal del tornillos(cm)	Agujeros agrandados	Perpendicular a la línea de fuerza	Paralelo a la línea de fuerza y de ranura corta	Paralelo a la línea de fuerza y de ranura larga*
≤ 2.22	0.3175	0	0.4763	(3/2)d-0.1586
2.54	0.4763	0	0.6350	3.6513
≥ 2.86	0.6350	0	0.7938	(3/2)d-0.1586

*Cuando la longitud de la ranura es menor que la máxima permitida en la tabla 3.2., C_1 puede reducirse por la diferencia entre la longitud máxima y la real de la ranura

Tabla 3.3. Valores del incremento C_1 de espaciamiento para determinar las separaciones mínimas de agujeros agrandados.

Distancias mínimas a bordes

Los tornillos nunca deben de colocarse cerca de los bordes de ningún miembro, por dos razones principales, la primera al punzonar el acero cerca de un borde para hacer el agujero este puede bombearse o agrietarse y la segunda se aplica a los extremos de los miembros en los que se corre el peligro de que se desgarre el metal. En la practica común se acostumbra colocar el sujetador a una distancia mínima del borde de la placa igual a 1.5 a 2 veces el diámetro del sujetador, de manera que el metal tenga una buena resistencia al cortante igual o por lo menos a la de los sujetadores.

Diámetro nominal del tornillo (plg)	En bordes recortados mecánicamente	En bordes laminados de placas, perfiles o barras o bordes cortados con gas
1/2	7/8	3/4
5/8	9/8	7/8
3/4	5/4	1
7/8	3/2 "c"	9/8
1	7/4 "c"	5/4
1-1/8	2	3/2
1-1/4	9/4	13/8
Mayores de 5/4	(7/4)d	(5/4)d

Diámetro nominal del tornillo (cm)	En bordes recortados mecánicamente	En bordes laminados de placas, perfiles o barras o bordes cortados con gas
1.27	2.22	1.91
1.59	2.86	2.22
1.91	3.18	2.54
2.22	3.81 "c"	2.86
2.54	4.45 "c"	3.18
2.86	5.08	3.81
3.18	5.72	4.13
Mayores de 3.18	(7/4)d	(5/4)d

^a Para los agujeros agrandados o de ramura véase tabla 3.5.

^b Todas las distancias al borde en esta columna pueden reducirse 1/8 de plg (0.3175 cm) cuando el agujero esta en un punto donde el esfuerzo no excede el 25% de la resistencia de diseño máxima del elemento.

^c Estos valores pueden ser 5/4 plg en los extremos de ángulos de conexión para vigas.

(Centro del agujero estándar^a al borde de la parte conectada)

Tabla 3.4. Distancias mínimas a bordes para agujeros estándar.

Las especificación LRFD J-J4.10. estipula que la distancia entre el centro de un sujetador y el borde de la parte conectada no debe ser menor que los valores de la tabla 3.4. (Tabla J3-7 del manual LRFD) ni que el valor obtenido con la formula cuando esta sea aplicable dado lo siguiente. En la dirección de la fuerza transmitida, se establece que la distancia mínima de borde a centro del sujetador no debe ser menor que $3/2d$ cuando la resistencia por aplastamiento R_n se determine con alguna de las dos expresiones siguientes $2.4 d t F_u$ o $2.0 d t F_u$. Si no, la distancia mínima al borde se debe determinar con la formula siguiente

Distancia mínima al borde en la dirección de la fuerza transmitida:

$$D_{mb} = \frac{P}{\phi F_u t} \quad \text{con } \phi = 0.75 \quad \text{ecuación 3.2.}$$

Si los agujeros son holgados o ranurados, la distancia mínima al borde no debe ser menor que el valor requerido multiplicado por un valor C_2 obtenido en la tabla 3.5. (tabla J3.8. del manual LRFD).

Diámetro nominal del conector (plg)	agujeros agrandados	agujeros de ranura perpendicular al borde de ranura corta	agujeros de ranura perpendicular al borde de ranura larga*	agujeros de ranura perpendicular al borde
$\leq 7/8$	1/16	1/8	3/4d	0
1	1/8	1/8	3/4d	0
$\geq 1-1/8$	1/8	3/16	3/4d	0
Diámetro nominal del conector (cm)	agujeros agrandados	agujeros de ranura perpendicular al borde de ranura corta	agujeros de ranura perpendicular al borde de ranura larga*	agujeros de ranura perpendicular al borde
≤ 2.22	0.1588	0.3175	3/4d	0
2.54	0.3175	0.3175	3/4d	0
≥ 2.86	0.3175	0.4763	3/4d	0

* Cuando la longitud de la ranura es menor que la máxima permitida (véase tabla 3.2), C_2 puede reducirse por un medio de la diferencia entre la longitud máxima y la real de la ranura.

Tabla 3.5. Valores del incremento C_2 para distancias al borde de agujeros agrandados.

Distancias máximas al borde

Según la especificación LRFD-J3.11 esta distancia máxima es de 12 veces el espesor de la placa, pero sin exceder de 6 plg (15.24 cm). Cuando los tornillos se colocan muy lejos de los bordes, pueden aparecerse algunas aberturas entre los miembros conectados, Pueden considerarse también separaciones máximas en miembros a compresión para que no ocurra el pandeo local entre los tornillos.

3.8. CONEXIONES TIPO APLASTAMIENTO, BAJO CARGAS QUE PASAN POR EL CENTRO DE GRAVEDAD DE LA CONEXION

Resistencia al cortante

En las conexiones por aplastamiento, la fuerza de apriete en los tornillos no es suficiente como para garantizar que no exista un deslizamiento entre los miembros a conectar, quedando los tornillos sometidos a corte y aplastamiento, la resistencia de diseño de los tornillos en cortante es igual a ϕ veces la resistencia nominal a cortante del tornillo multiplicada por el área de su sección transversal. Los valores de ϕ en las especificaciones LRFD son de 0.65 para tornillos de alta resistencia y remaches, y de 0.60 para tornillos ordinarios A307.

Las resistencias nominales para tornillos y remaches a cortante, se proporcionan en la tabla J3.2 de las especificaciones LRFD. para tornillos A325 los valores son de (54 klb/plg²) (3796.2 kg/cm²) si las cuerdas no están excluidas de los planos de cortante y (72 klb/plg²) (5061.6 kg/cm²) si las cuerdas se encuentran excluidas. (para tornillos A490 los valores son (67.5 y 90 klb/plg²) (4745.25 y 6327 kg/cm²). La resistencia a cortante doble se considera igual al doble de su resistencia a cortante simple.

Resistencia al aplastamiento

La resistencia de diseño de un tornillo por aplastamiento es igual a ϕ veces la resistencia nominal por aplastamiento de la parte conectada multiplicada por el diámetro del tornillo y por el espesor del miembro que se apoya en el tornillo (para tornillos y remaches abocardados, debe deducirse un medio de la profundidad del abocardado, de acuerdo con la especificación LRFD J3.2). Cuando la distancia en la dirección de la fuerza desde el centro de un agujero holgado o regular o desde el centro del extremo de un agujero ranurado, hasta el borde de una parte conectada no es menor que 1-1/2 veces el diámetro del tornillo y la distancia centro a centro de los agujeros no es menor que 3d y se usan dos o mas tornillos en la dirección de la línea de fuerza, la resistencia por aplastamiento es

$$\phi R_n = \phi 2.4dtF_u \text{ Para agujeros estándar de ranura corta, } \phi = 0.75 \quad \text{ecuación 3.3.}$$

$$\phi R_n = \phi 2.0dtF_u \text{ Para agujeros de ranura larga perpendicular a la carga, } \phi = 0.75 \quad \text{ecuación 3.4.}$$

Si las deformaciones alrededor de un agujero no son de consecuencia para el diseño, las dos expresiones anteriores pueden reemplazarse por

$$\phi R_n = \phi 3.0dtF_u \quad \phi = 0.75 \quad \text{ecuación 3.5.}$$

El valor de ϕR_n para un solo tornillo o varios en la línea, cada uno con distancia al extremo menor que $1-1/2d$, se determina con la siguiente expresión.

$$\phi R_n = \phi U F_u \quad \phi = 0.75 \quad \text{ecuación 3.6.}$$

Si se permiten esfuerzos de aplastamiento mayores que los valores dados, los agujeros se alargan aproximadamente mas de $1/4$ de plg y afectan la resistencia de las conexiones.

La resistencia mínima que establecen las especificaciones LRFD (sección J1.5) excepto celosías, tensores y largueros de pared, debe de ser por lo menos 10 klb (4530 kg).

En los siguientes ejemplos se muestra la forma de determinar la resistencia de conexiones tipo aplastamiento.

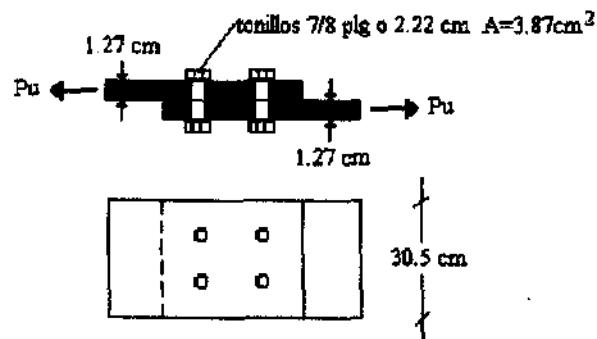
Ejemplo 3.1.

Determine la resistencia de diseño P_u de la conexión tipo aplastamiento mostrada en la siguiente figura considere acero A36, tornillos A325 de $7/8$ plg, agujeros de tamaño estándar, cuerdas excluidas del plano de corte, distancias al borde $> 1-1/2d$ y distancias centro a centro de agujeros $> 3d$.

Acero A36

$$F_y = 2531 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 4220 \text{ kg/cm}^2$$



Tamaño de agujeros 2.54cm

Resistencia de diseño de las placas:

$$A_g = (1.27) (30.5) = 38.73 \text{ cm}^2$$

$$A_n = 38.73 - (2) (1.27) (2.54) = 32.28 = A_e$$

$$P_u = \phi \cdot F_y A_g = (0.9) (2531) (38.73) = 88.22 \text{ Ton}$$

$$P_u = \phi \cdot F_u A_e = (0.75) (4220) (32.28) = 102.16 \text{ Ton}$$

Resistencia de diseño de tornillos en cortante simple y aplastamiento sobre $t = 1.27 \text{ cm}$

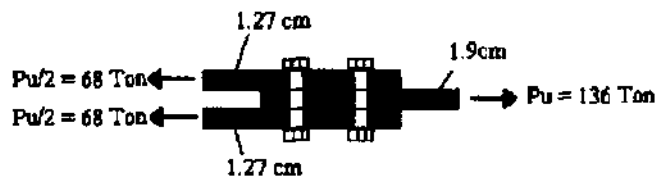
$$P_u = \phi (3.87) (5061.6) (4) = (0.65) (3.87) (5061.6) (4) = 50.92 \text{ Ton}$$

$$P_u = \phi 2.4 d t F_u = (0.75) (2.4) (2.22) (1.27) (4220) (4) = 85.66 \text{ Ton}$$

P_u de diseño = 50.92 Ton

Ejemplo 3.2.

¿ Cuantos tornillos A325 de 3/4 plg en agujeros de tamaño estándar con cuerdas excluidas del plano de corte se requieren para la conexión tipo aplastamiento mostrada en la siguiente figura? Considere acero A36, distancias al borde $> 1-1/2d$ y distancias centro a centro de agujeros $> 3d$.



Solución:

Tornillos en doble cortante y aplastamiento sobre $t = 1.9 \text{ cm}$

Area del tornillo = 2.85 cm^2

Resistencia de diseño

$$\text{a cortante por tornillo} = (0.65) (2.85) (2) (5061.6) = 18.75 \text{ Ton} \leftarrow$$

Resistencia de diseño

$$\text{por aplastamiento de tornillos} = (0.75) (2.4) (1.9) (1.9) (4220) = 27.42 \text{ Ton}$$

Numero de tornillos requeridos = $136/18.75 = 7 +$

Use 8 o 9 tornillos dependiendo del arreglo

Cuando se atornillan cubreplacas a los patines de secciones W los tornillos deben tomar el cortante longitudinal en el plano ubicado entre las placas y los patines. El cortante longitudinal resistido en la figura del problema 3.3. por un cubreplaca y el perfil W, puede

determinarse con la expresión $f_v = VQ/Ib$. La fuerza cortante total a través del patín en 1 cm de longitud es igual a (b) (1.0) (VQ/Ib) = VQ/I.

La especificación LRFD-E4 estipula una separación máxima permisible para tornillos usados en placas externas; igual al espesor de la placa multiplicado por $127/(F_y)^{1/2}$ En (lb/plg²) o $1064.83/(F_y)^{1/2}$ En (kg/cm²) o bien 12plg (30.48cm); rige el menor valor. El espaciamiento de las parejas de tornillos en el siguiente problema puede determinarse dividiendo la resistencia de diseño de dos tornillos por la fuerza cortante que debe tomarse en una sección específica

Ejemplo 3.3.

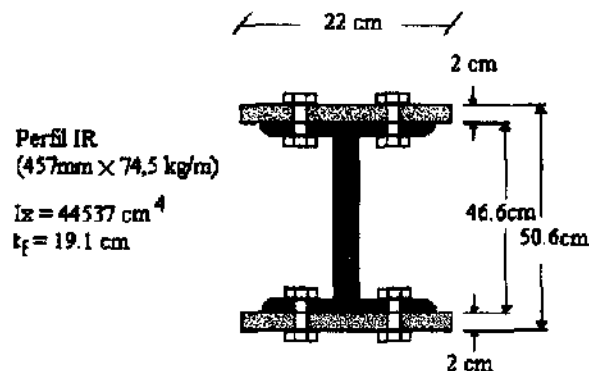
En una cierta sección de la viga con cubreplaca mostrada en la siguiente figura, la fuerza cortante externa factorizada es de 124.7 Ton. determine la separación requerida entre tornillos A325 de 7/8 plg $A = 3.88 \text{ cm}^2$ usados en la conexión tipo aplastamiento. Suponga que se cumple los requisitos de distancia al borde y de centro a centro ($1-1/2d$ y $3d$) y que las cuerdas están excluidas del plano del corte. Acero A36.

Solución:

$$I_x = 44537 + (2) ((22) (2)^3 / 12) + (2) (2) (22) (24.3)^2 = 96529.45 \text{ cm}^4$$

Cortante factorizado por cm = VQ/I

$$= (124.7) ((22) (2) (24.3)) / 96529.45 = 1.38 \text{ Ton / cm}$$



Tornillos en cortante simple y aplastamiento sobre 2 cm

Resistencia de diseño por cortante para dos tornillos

$$= (0.65) (3.87) (5061.6) (2) = 25.46 \text{ Ton} \leftarrow$$

Resistencia de diseño por aplastamiento para dos tornillos

$$= (0.75) (2.4) (2.22) (2) (2) (4220) = 67.45 \text{ Ton}$$

$$P = 25.46 / 1.38 = 18.44 \text{ cm}$$

$$\text{Máximo } P = 2 \text{ cm } (1064.83 / (2531)^{1/2}) = 42.33 \text{ cm} > 30.48 \text{ cm} > 18.44 \text{ cm}$$

Las parejas de tornillos deberán estar separadas, con una distancia máxima centro a centro de 18.44 cm

En este tipo de conexiones se ha supuesto que las cargas aplicadas a la conexión se dividen en partes iguales a los tornillos, pero esto solo suponiendo que las placas sean completamente rígidas, los tornillos elásticos y se deformaran igual y con los mismos esfuerzos, pero la realidad es que entre mas separados estén los tornillos la distribución de esfuerzos entre los conectores es mas irregular, es decir las cargas mayores se concentraran en los tornillos de los extremos y se irán reduciendo hacia el centro. Es común que las especificaciones exijan mas de tres tornillos ya que si falla alguno este daño seria mas fácil de reparar.

3.9. CONEXIONES TIPO FRICCIÓN BAJO CARGAS QUE PASAN POR EL CENTRO DE GRAVEDAD DE LA CONEXION

Este tipo de conexión es conveniente cuando se tienen cargas que pueden fluctuar constantemente. Las conexiones tipo fricción deben revisarse por cargas de servicio y cargas factorizadas, la resistencia de diseño por deslizamiento debe ser igual o mayor que la fuerza calculada de deslizamiento y la resistencia de diseño considerada en la conexión como tipo aplastamiento, debe ser mayor o igual que la fuerza factorizada.

Si los tornillos en este tipo de conexión se aprietan a las tensiones requeridas es muy poco probable que estos se apoyen en las placas que están conectando. Las especificaciones LRFD proporcionan resistencias permisibles por cortante de modo que se puedan tratar las conexiones tipo fricción de la misma manera como se hace con las conexiones tipo aplastamiento. Las resistencias nominales por cortante de los tornillos de alta resistencia están dados en la tabla 3.6. (Tabla J3.4 del manual).

Tipo de tornillo	Resistencia nominal por		
	Resistencia nominal por cortante, agujeros de tamaño estándar	cortante, agujeros agrandados y de ranura corta	Resistencia nominal por cortante, agujeros de ranura larga *
A 325	1,19	1,05	0,84
A 490	1,47	1,26	1,05

Clase A (coeficiente de deslizamiento = 0.33). Superficies limpias de escamas con recubrimientos Clase A. Para las resistencias de diseño con otros recubrimientos Véase la publicación de la RCSC Load and resistance factor design specifications for structural joints Using ASTM A 325 or A 490 bolts.

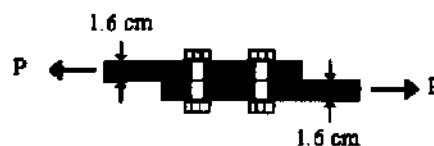
*Los valores tabulados son para el caso de cargas aplicadas transversalmente a la ranura. Cuando la carga es paralela a la ranura multiplique el valor tabulado por 0.85

Tabla 3.6. Resistencia nominal por cortante en (Ton/cm²) de tornillos de alta resistencia en conexiones tipo fricción.

En el ejemplo siguiente se muestra el diseño de una conexión tipo fricción para una junta traslapada.

Ejemplo 3.4.

Si se desea diseñar una conexión tipo fricción para las placas mostradas en la siguiente figura, para resistir las cargas axiales de servicio $P_D = 13.5$ Ton y $P_L = 27$ Ton usando tornillos A-325 de 1plg ($A = 5.06$ cm²) de alta resistencia con cuerdas excluidas del plano de corte y con agujeros de tamaño estándar $d = 2.69$ cm ; $L > 1-1/2$ y distancia centro a centro de tornillos $> 3d$.



Diseño de la conexión tipo fricción (cargas de servicio)

Tornillos en cortante simple sin aplastamiento

Resistencia de un tornillo en cortante doble

$$= \phi (5.06) (1.19) = (1) (5.06) (1.19) = 6.0214 \text{ Ton}$$

$$\text{Numero de tornillos necesarios} = 40.5/6.0214 = 6.72$$

Se usaran 7 tornillos

Diseño de la conexión tipo aplastamiento (cargas factorizadas)

$$P_u = (1.2)(13.5) + (1.6)(27) = 59.4 \text{ Ton}$$

Tornillos en corte simple y aplastamiento sobre $t = 1.6 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} \text{Resistencia de un tornillo en cortante doble} \\ = 0.65 (5.06) (5061.6) = 16.64 \text{ Ton} \leftarrow \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Resistencia de aplastamiento de un tornillo} \\ = 0.75 (2.4) (2.54) (1.6) (4220) = 31.07 \text{ Ton} \end{aligned}$$

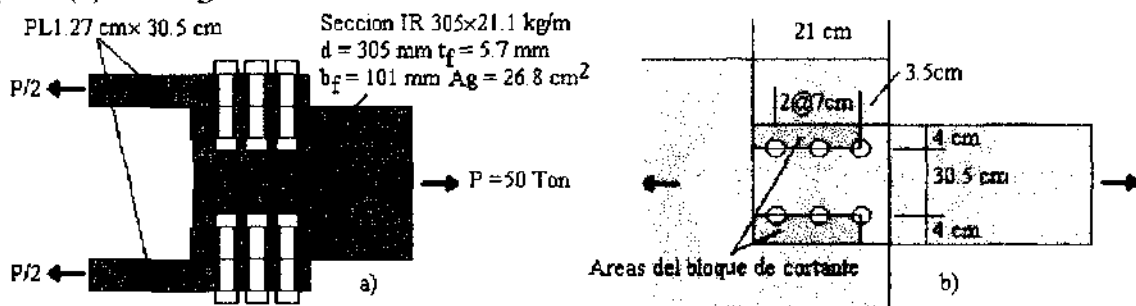
$$\text{Numero de tornillos necesarios} = 59.4/16.64 = 3+$$

Use 7 tornillos

Ejemplo 3.5.

La conexión mostrada en la siguiente figura esta hecha con tornillos A-325 de 7/8 plg diam 2.22 cm $A = 3.88 \text{ cm}^2$ tipo aplastamiento en agujeros de tamaño estándar con las cuerdas excluidas del plano de corte. La viga y las placas de nudo son de acero A-36. $F_y = 2531 \text{ kg/cm}^2$ y $F_u = 4220 \text{ kg/cm}^2$ Revise:

- La resistencia a la tensión de la sección W y de las placas
- La resistencia de los tornillos en cortante doble y aplastamiento
- La resistencia del bloque de cortante de las áreas sombreadas de la sección IR mostradas en la parte (b) de la figura.



- Resistencia de diseño a tensión de la sección IR

$$P_u = \phi_t F_y A_n = (0.9) (2531) (26.8) = 61.04 \text{ Ton} \quad \text{OK}$$

$$A_n = 26.8 - (4) (2.54) (0.57) = 21 \text{ cm}^2$$

$U = 0.85$ porque $b_f < 2/3$ del peralte de la viga IR (ver anexo A-1)

$$A_e = 0.85 (21) = 17.85 \text{ cm}^2$$

$$P_u = \phi_t F_u A_e = (0.75) (4220) (17.85) = 56.49 \text{ Ton} \quad \text{OK}$$

Resistencia de diseño a tensión de las placas de nudo:

$$P_u = (0.9) (1.27) (30.5) (2531) (2) = 176.46 \text{ Ton} \quad \text{OK}$$

$$A_n \text{ de dos placas} = [(1.27) (30.5) - (2) (2.54) (1.27)] (2) = 64.56 \text{ cm}^2 \leftarrow$$

$$0.85 A_g = (0.85) (30.5) (1.27) (2) = 65.84 \text{ cm}^2$$

$$P_u = (0.75) (4220) (64.56) = 204.33 \text{ Ton} \quad \text{OK}$$

b) Tornillos en cortante doble y aplastamiento sobre $t = 1.27 \text{ cm}$

Resistencia de los tornillos en cortante doble

$$= (0.65) (3.88) (5061.6) (12) = 153.18 \text{ Ton} \quad \text{OK}$$

Resistencia de diseño por aplastamiento de los tornillos

$$= (0.75) (2.4) (2.22) (1.27) (4220) (12) = 256.99 \text{ Ton} \quad \text{OK}$$

c) Resistencia del bloque de cortante para la sección IR

Nota:

La especificación LRFD-J5.2c establece que la resistencia de diseño del bloque de cortante se determine, (1) calculando la resistencia por fractura a tensión en la sección neta en una dirección y sumando a ese valor la resistencia de fluencia por cortante en el área total del segmento perpendicular y (2) Calculando la resistencia a la fractura por cortante en el área total sujeta a tensión y sumando a este valor la resistencia a la fluencia por tensión en el área neta del segmento perpendicular sujeto a cortante. El mayor valor determinado en (1) y (2) es la resistencia por bloque de cortante.

$$(1) P_{bs} = \phi (F_u A_{nt} + 0.6 F_y A_{vg})$$

$$(2) P_{bs} = \phi (F_y A_{tg} + 0.6 F_u A_{ns})$$

En estas expresiones:

$$\phi = 0.75$$

A_{vg} = área total sujeta a cortante

A_{tg} = área total sujeta a tensión

A_{ns} = área neta sujeta a cortante

A_{nt} = área neta sujeta a tensión

$$A_{vg} = [21 - 3.5] 0.57 = 9.975 \text{ cm}^2$$

$$A_{tg} = [4] 0.57 = 2.28 \text{ cm}^2$$

$$A_{ns} = [17.5 - ((2)(2.54)) - (2.54/2)] 0.57 = 6.3555 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = [4 - (2.54/2)] 0.57 = 1.5561 \text{ cm}^2$$

$$(1) P_{bs} = 0.75 [(4220)(1.5561) + (2531)(9.975)] (4) = 95.44 \text{ Ton} \quad \text{OK}$$

$$(2) P_{bs} = 0.75 [(2531)(2.28) + (4220)(6.3555)] = 97.77 \text{ Ton} \quad \text{OK}$$

3.10. TORNILLOS SUJETOS A CORTE EXCENTRICO

A través de los años se han desarrollado tres métodos generales para el análisis de conexiones a cortante bajo cargas excéntricas, el primero "análisis elástico" es muy conservador, en el que la fricción entre los miembros conectados se ignora y se suponen las partes conectadas completamente rígidas. Este tipo de análisis se usa desde por lo menos desde 1870, debido a lo conservador del método se han propuesto otros métodos, de excentricidades reducidas o excentricidad efectiva. El tercer método es el método llamado de resistencia última que ofrece los resultados que más se acercan a los obtenidos en pruebas.

Análisis elástico:

Para este método los tornillos presentados en la figura 3.4.a están sometidos a una carga P que tiene una excentricidad e con respecto al centro de gravedad de los tornillos, se suponen dos cargas igual a P , una hacia arriba y la otra hacia abajo, actuando en el centro de gravedad de los tornillos (Figura 3.4.b). La fuerza en un tornillo determinado debe por lo tanto ser igual a la fuerza P dividida entre el número de tornillos, como se ve en la figura 3.4.c, más la fuerza ocasionada por el momento mostrado en la figura 3.4.d.

En la figura 3.5. las distancias d_1, d_2, d_3, \dots etc., representan la distancia desde el centro del tornillo a el centro de gravedad del grupo de tornillos. El momento generado por el par tiende a hacer girar la placa alrededor del centro de gravedad del grupo deformando a un determinado tornillo, proporcionalmente a su distancia al centro de gravedad suponiendo las placas completamente rígidas y los conectores elásticos. El tornillo más alejado del centro de gravedad es el que va a estar sujeto a la mayor carga, ya que este es proporcional a la deformación en el rango elástico.

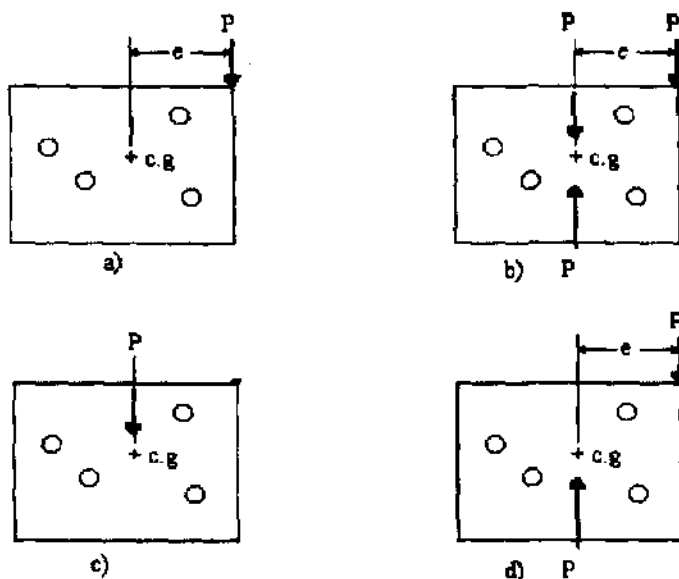


Figura 3.4. Fuerzas en los tornillos bajo una carga excéntrica.

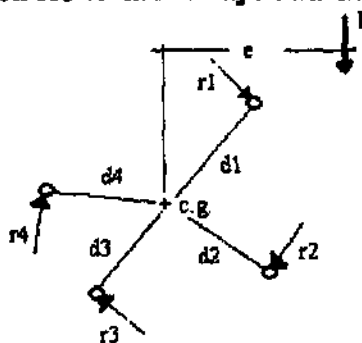


figura 3.5. Distancias desde el centro del tornillo al centro de gravedad del grupo de tornillos.

Se considera que la rotación va a provocar las fuerzas r_1, r_2, r_3 , respectivamente. El momento transmitido a los tornillos debe equilibrarse con el momentos resistentes de los conectores es decir:

$$M_{c.g} = P e = r_1 d_1 + r_2 d_2 + r_3 d_3 + r_4 d_4 \quad \text{ecuación 3.7.}$$

Como la fuerza causada en cada tornillos es directamente proporcional a su distancia del centro de gravedad, puede escribirse la siguiente expresión:

$$r_1/d_1 = r_2/d_2 = r_3/d_3 = r_4 / d_4 \quad \text{ecuación 3.8.}$$

Y escribiendo cada r en términos de r_1 y d_1

$$r_1 = r_1 d_1 / d_1 \quad r_2 = r_1 d_2 / d_1 \quad r_3 = r_1 d_3 / d_1 \quad r_4 = r_1 d_4 / d_1$$

Sustituyendo esto en la ecuación (3.7.) y simplificando:

$$M = \frac{r_1 d_1^2}{d_1} + \frac{r_1 d_2^2}{d_1} + \frac{r_1 d_3^2}{d_1} + \frac{r_1 d_4^2}{d_1}$$

$$= \frac{r_1}{d_1} (d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + d_4^2)$$

ecuación 3.9.

Por lo tanto

$$M = \frac{r_1 \sum d^2}{d_1}$$

ecuación 3.10.

La fuerza en cada tornillo puede escribirse como sigue:

$$r_1 = \frac{M d_1}{\sum d^2} \quad r_2 = \frac{d_2}{d_1} r_1 = \frac{M d_2}{\sum d^2} \quad r_3 = \frac{M d_3}{\sum d^2} \quad r_4 = \frac{M d_4}{\sum d^2}$$

Cada valor de r es perpendicular a la línea trazada entre el centro del orificio al centro de gravedad, pero es más conveniente tener sus componentes horizontal y vertical. En la figura 3.6. viene representadas estas componentes con las variables H y V y de la siguiente relación se obtiene:

$$r_1/d_1 = H/v$$

$$H = \frac{r_1 v}{d_1} = \left(\frac{M d_1}{\sum d^2} \right) \left(\frac{v}{d_1} \right)$$

ecuación 3.11.

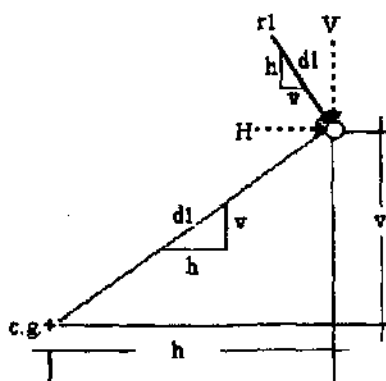


figura 3.6. Componentes horizontal y vertical de la fuerza en un tornillo bajo carga excéntrica.

por lo tanto

$$H = \frac{M v}{\sum d^2}$$

ecuación 3.12.

Mediante un procedimiento similar se obtiene

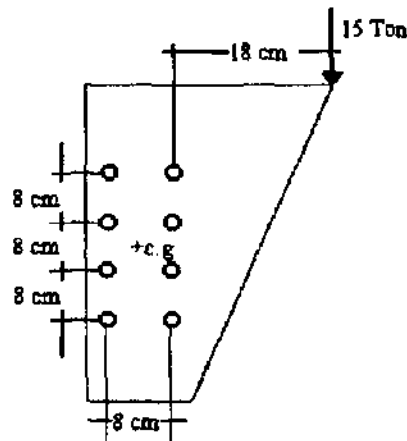
$$v = \frac{Mh}{\sum d^2}$$

ecuación 3.13.

donde $\sum d^2 = \sum h^2 + \sum v^2$

Ejemplo 3.6.

Determinar la fuerza en el tornillo sometido a mayor esfuerzo del grupo mostrado en la siguiente figura



Los tornillos sometidos a el mayor esfuerzo son los que están a la derecha arriba y abajo cuyos esfuerzos son iguales.

$$e = 18 + 4 = 22 \text{ cm}$$

$$M = Pe = (15) (22) = 330 \text{ Ton-cm}$$

$$\sum d^2 = \sum h^2 + \sum v^2$$

$$= (8) (4)^2 + (4) (4^2 + 12^2) = 768$$

$$H = \frac{Mv}{\sum d^2}$$

$$= (330) (6) / 768 = 2.58 \text{ Ton}$$

$$V = \frac{Mh}{\sum d^2}$$

$$= (330)(2) / 768 = 0.8594 \text{ Ton}$$

$$P/8 = 15 / 8 = 1.875$$

La fuerza total en el tornillo es igual a:

$$r = ((0.8594 + 1.875)^2 + (2.58)^2)^{1/2}$$

$$r = 3.76 \text{ Ton}$$

Método de la excentricidad reducida:

El método expuesto anteriormente sobrestima, las fuerzas por momento aplicadas a los conectores, por lo tanto se han propuesto varios métodos en los que se usa una excentricidad efectiva, tomando un poco en cuenta el deslizamiento entre los miembros conectados. A continuación se presentan algunos valores usados en algunas épocas.

Con una sola línea de gramil de sujetadores y donde n es el numero de sujetadores en la línea

$$e_{\text{efect}} = e_{\text{real}} - ((1+2n)/4)$$

Con dos o mas líneas de gramil de sujetadores conectados simétricamente y donde n es el numero de sujetadores en cada línea :

$$e_{\text{efect}} = e_{\text{real}} - ((1+2n)/2)$$

Para usar este método de la excentricidad reducida primero se obtiene la excentricidad, con las fórmulas mencionadas y se obtiene el momento, los demás cálculos se hacen con el método elástico.

Método de resistencia última:

Los valores proporcionados en la quinta parte del manual LRFD para grupos de conectores cargados excéntricamente se calcularon con este método.

La carga excéntrica en una conexión atornillada o remachada tiende a hacer rotar al material conectado con respecto a un punto llamado centro instantáneo de rotación (figura 3.7.) el punto O representa el centro instantáneo, este se encuentra a una distancia e del centro de

gravedad del grupo de conectores. Las deformaciones en los tornillos varían proporcionalmente con la distancia al centro instantáneo. Los estudios de Crawford y Kulak muestran como se pueden calcular los esfuerzos cortantes, con bastante precisión, en los tornillos mediante varios análisis carga deformación de los mismos, esto se puede realizar mediante la siguiente expresión:

$$R = R_{ult} (1 - e^{-10\Delta})^{0.55} \quad \text{Si } R_{ult} \text{ esta en (klb) y } \Delta \text{ en (plg)} \quad \text{ecuación 3.14.}$$

$$R = R_{ult} (1 - e^{-3.937007874\Delta})^{0.55} \quad \text{Si } R_{ult} \text{ esta en (kg) y } \Delta \text{ en (cm)} \quad \text{ecuación 3.15.}$$

En esta formula R_{ult} es la carga cortante ultima de un solo conector , igual a 74 klb (34473.6 kg) para un tornillo A325, e es la base de los logaritmos naturales, y Δ es igual a la deformación total de un tornillo determinada experimentalmente, igual a 0.34 plg (0.8636 cm) Los coeficientes 10.0 y 0.55 también se obtuvieron experimentalmente, la figura 3.8. muestra la relación esfuerzo deformación.

En la figura 3.7. R_1, R_2, R_3 ..etc representan las fuerzas resistentes de los tornillos, las cuales actúan en una dirección perpendicular a la línea trazada desde el eje de cada tornillo hasta el centro instantáneo de rotación, Δ tomara el valor de 0.34 plg (0,8636) para el tornillo mas alejado y para los demás tornillos será proporcional a su distancia al centro instantáneo. Para que se exista el equilibrio en la conexión se debe cumplir los siguiente:

$$P_u(e'+e) = \sum R d \quad \text{ecuación 3.16.}$$

Es decir:

$$P_u = \frac{\sum R d}{e'+e} \quad \text{ecuación 3.16.}$$

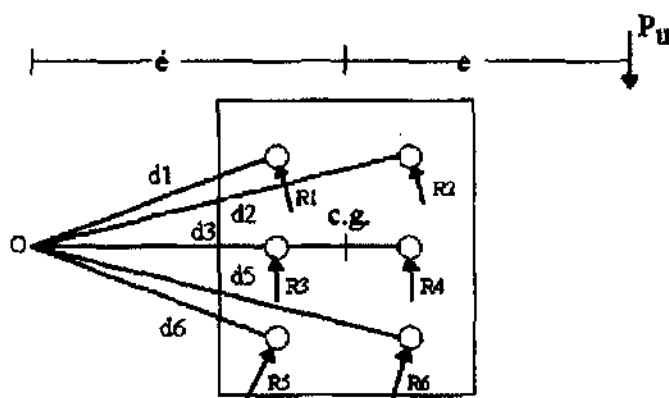


Figura 3.7. Fuerzas resistentes para el método de resistencia ultima.

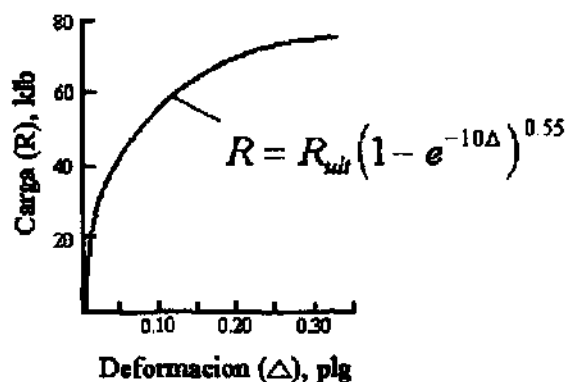


Figura 3.8. Relación esfuerzo deformación de un tornillo.

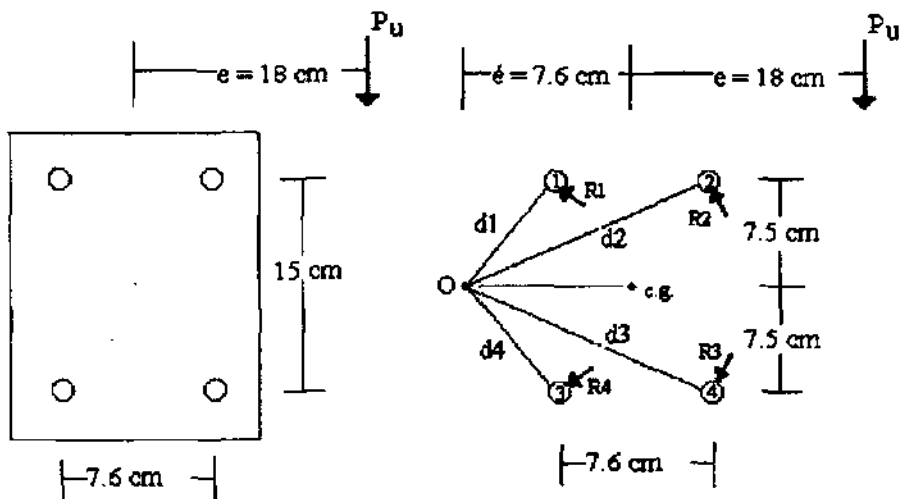
Entonces el método consiste en un primer tanteo del centro instantáneo, mediante la fórmula de Crawford y Kulak y se calcula R para cada tornillo, si al hacer la sumatoria de momentos no existe el equilibrio y P_u no es igual a la suma de las componentes verticales de la fuerza cortante en los tornillos entonces se hace un nuevo tanteo modificando el valor del centro instantáneo.

Ejemplo 3.7.

Los tornillos A325 de 7/8 de plg (2.22 cm) $A = 3.88 \text{ cm}^2$ tipo aplastamiento de la conexión mostrada en la siguiente figura tienen una resistencia de diseño por cortante R_u de $(0.65)(3.88)(5061.6) = 12765.35 \text{ kg}$. Localice el centro instantáneo de rotación de la conexión usando el procedimiento de tanteos y determine el valor P_u .

Solución:

1° tanteo $e = 7.6 \text{ cm}$



$\Delta = \text{def.}$

Tornillo							
No.	h (cm)	v (cm)	d (cm)	def. (cm)	R (Ton)	Rv	Rd
1	3.8	7.5	8.41	.5321	11.88	5.37	99.87
2	11.4	7.5	13.65	.8636	12.53	10.46	171.03
3	3.8	7.5	8.41	.5321	11.88	5.37	99.87
4	11.4	7.5	13.65	.8636	12.53	10.46	171.03

Sum Rv. = 31.66 Ton

Sum Rd = 541.80 Ton

$P_u = 541.8 / (7.6 + 18) = 21.16 \text{ Ton} < \text{Sum Rv.}$

Después de varios tanteos , suponemos $e = 4.4 \text{ cm}$

Tornillo							
No.	h (cm)	v (cm)	d (cm)	def. (cm)	R (Ton)	Rv	Rd
1	0.6	7.5	7.5239	0.5847	12.0461	0.9606	90.6336
2	8.2	7.5	11.1126	0.8636	12.5292	9.2453	139.2319
3	0.6	7.5	7.5239	0.5847	12.0461	0.9606	90.6336
4	8.2	7.5	11.1126	0.8636	12.5292	9.2453	139.2319

Sum Rv. = 20.4118 Ton

Sum Rd = 459.731 Ton

$P_u = 459.731 / (4.4 + 18) = 20.5237 \text{ Ton} \text{ ---- similar a Rv}$

Entonces $P_u \approx 20.4118 \text{ Ton}$

Aunque el desarrollo de este método de análisis esta basado en conexiones tipo aplastamiento, tanto la teoría como los ensayos han demostrado que se puede aplicar conservadoramente a conexiones tipo fricción. Este método también es aplicable en cargas inclinadas y arreglos asimétricos de tornillos.

3.11. TORNILLOS SUJETOS A CORTE Y TENSION

Los tornillos usados en muchas conexiones están sujetos a combinación de cargas de corte y tensión, en la figura 3.9. se ve un claro ejemplo de esto, la componente vertical trata de degollar los tornillos y la componente horizontal trata de arrancarles la cabeza.

Las pruebas en tornillos sujetos a corte y tensión muestran que su resistencia última pueden representarse por una curva elíptica de interacción como la que se muestra en la figura 3.10. donde F_t es el esfuerzo limite a tensión cuando no hay esfuerzo cortante y F_v es el esfuerzo cortante limite si no hay tensión aplicada externamente.

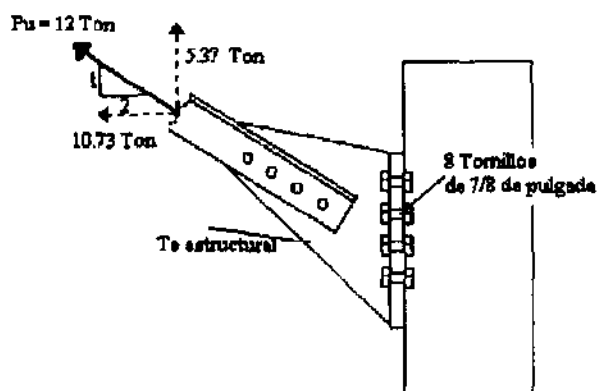


Figura 3.9. Tornillos sujetos a corte y tensión.

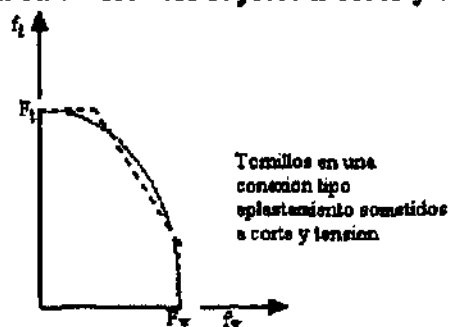


Figura 3.10. Curva interacción de tornillos sujetos a corte y tensión.

Las tres líneas interrumpidas mostradas en la figura 3.10. representan la curva interacción obtenida en pruebas, estas ecuaciones se encuentran expresadas en la tabla 3.7 y 3.8. (tabla J3.3 de las especificaciones LRFD). En esas expresiones f_v y f_t son respectivamente, los esfuerzos cortantes y de tensión calculados en los tornillos debido a las cargas previamente factorizadas. Los valores máximos dados en la tabla son iguales a 0.75 veces la resistencia nominal de los tornillos, estos están sujetos a cargas externas de tensión solamente.

Descripción del conector	Cuerdas excluidas en el plano de corte	Cuerdas excluidas del plano de corte
Tornillos A 307	$39 - 1.8 f_v \leq 30$	$39 - 1.8 f_v \leq 30$
Tornillos A 325	$85 - 1.8 f_v \leq 68$	$85 - 1.4 f_v \leq 68$
Tornillos A 490	$106 - 1.8 f_v \leq 84$	$106 - 1.4 f_v \leq 84$
Partes roscadas de tornillos A 449 mayores de 1-1/2 plg. (3.81 cm) de diámetro	$0.73 F_u - 1.8 f_v \leq 0.56 F_u$	$0.73 F_u - 1.4 f_v \leq 0.56 F_u$
Remaches A 502, grado 1	$44 - 1.3 f_v \leq 34$	$44 - 1.3 f_v \leq 34$
Remaches A 503, grado 2	$59 - 1.3 f_v \leq 45$	$59 - 1.3 f_v \leq 45$

Tabla 3.7. Límites para los esfuerzos de tensión (F_t) en klb/plg^2 para conectores en conexiones tipo aplastamiento.

Descripción del conector	Cuerdas excluidas en el plano de corte	Cuerdas excluidas del plano de corte
Tornillos A 307	2.7417 - 1.8 fv ≤ 2.109	2.7417 - 1.8 fv ≤ 2.109
Tornillos A 325	5.9755 - 1.8 fv ≤ 4.7804	5.9755 - 1.4 fv ≤ 4.7804
Tornillos A 490	7.4518 - 1.8 fv ≤ 5.9052	17.4518 - 1.4 fv ≤ 5.9052
Partes roscadas de tornillos A 449 mayores de 1-1/2 plg. (3.81 cm) de diámetro	0.73 Fu - 1.8 fv ≤ 0.56 Fu	0.73 Fu - 1.4 fv ≤ 0.56 Fu
Remaches A 502, grado 1	3.0932 - 1.3 fv ≤ 2.3902	3.0932 - 1.3 fv ≤ 2.3902
Remaches A 503, grado 2	4.1477 - 1.3 fv ≤ 3.1635	4.1477 - 1.3 fv ≤ 3.1635

Tabla 3.8. Límites para los esfuerzos de tensión (F_t) en Ton/cm² para conectores en conexiones tipo aplastamiento.

Cuando una carga de tensión es aplicada en una conexión tipo fricción la fuerza que evita que los miembros se deslicen entre sí, disminuye en proporción a la pérdida de agarre o preesfuerzo, entonces las resistencias nominales por corte en juntas a fricción dadas en la tabla J3.4 (datos en el anexo 2) se deben de multiplicar por el siguiente factor de reducción ($1 - T/T_b$). Donde T es la fuerza de tensión de servicio (Ton) aplicada a un tornillo y T_b es la carga mínima (Ton) de pretensado para un tornillo en una conexión tipo fricción, dada en la tabla 3.1. $\phi = 1.0$ a menos que se tengan agujeros de ranura larga con la carga aplicada en la dirección de la ranura. En este caso $\phi = 0.85$ de acuerdo con las especificaciones LRFD.

Para tornillos en conexiones tipo fricción con agujero estándar, sus resistencias nominales a cortante bajo condiciones de cargas de servicio, se determinan de la siguiente manera:

Para tornillos A325 en (klb/plg²) $\leq (1 - T/T_b)$ (17) ecuación 3.17.

Para tornillos A390 en (klb/plg²) $\leq (1 - T/T_b)$ (21) ecuación 3.18.

Para tornillos A325 en (Ton/cm²) $\leq (1 - T/T_b)$ (1.1951) ecuación 3.19.

Para tornillos A390 en (Ton/cm²) $\leq (1 - T/T_b)$ (1.4763) ecuación 3.20.

3.12. CARGAS DE TENSION EN JUNTAS ATORNILLADAS

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

$$P_u = \phi F_t A_g \quad \text{ecuación 3.21.}$$

Cuando los tornillos se cargan a tensión generalmente hay algo de flexión debido a la deformación en las partes conectadas. Por ello el valor de $\phi = 0.75$. La tabla J3.2 del manual

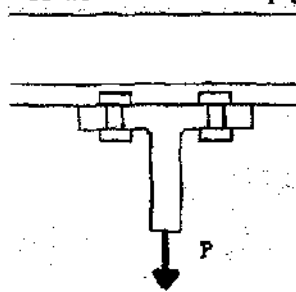
tiene los valores de F_t bastante conservadores para las diferentes clases de conectores, con los valores para remaches y partes roscadas.

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

Si se usa una barra recalada, la resistencia nominal a tensión de la porción roscada es igual a $0.75 F_u$ veces el área de la sección transversal en su mayor diámetro de cuerda. Este valor debe de ser mayor que F_y veces el área nominal de la barra en su sección no recalada.

Ejemplo 3.8.

Determine la resistencia de diseño a tensión de los tornillos de la conexión del colgante de siguiente figura considere 8 tornillos de A490 de 7/8 plg



$$P_u = (0.75) (8) (3.88) (7.90875) = 184.12 \text{ Ton}$$

3.13. ACCION SEPARADORA

Otro aspecto a considerar en las conexiones a tensión es la acción separadora, En la figura 3.11. se muestran varios ejemplos de conexiones a tensión bajo la acción separadora. La fuerza adicional en los tornillos debida a la acción separadora es proporcional a la separación entre los tornillos y el alma donde esta aplicada la fuerza, para calcular esta acción en el manual LRFD se muestran varias fórmulas empíricas, el significado de algunas de las variables se muestran a continuación.

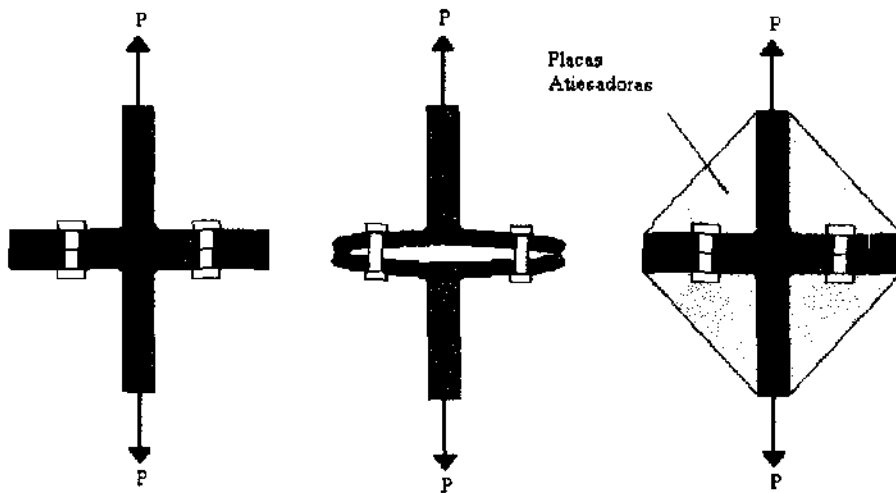


Figura 3.11. Acción separadora en juntas a tensión.

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, amén que la carga de tensión exceda al preesfuerzo de los tornillos).

$b = g/2 - t_w/2$ en donde g es el gramil. la separación debe ser tal que permite el fácil uso de la herramienta a la hora de apretar.

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

$b' = b - d/2$ donde d es el diámetro del tornillo

$a' = a + d/2$

ρ = longitud 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 tornillos al área total en la cara del alma de la T
 $= 1 - d'/\rho$

$p = b'/a$

$\alpha = 1/\delta \cdot [T/B/(t/t_c)^2 - 1]$ ecuación 3.22.

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

$t_c = \sqrt{\frac{4.44 B b'}{\rho F_y}}$ (si se usan unidades inglesas) ecuación 3.23.

$t_c = \sqrt{\frac{4439.4859 B b'}{\rho F_y}}$ (si se usan unidades internacionales) ecuación 3.24.

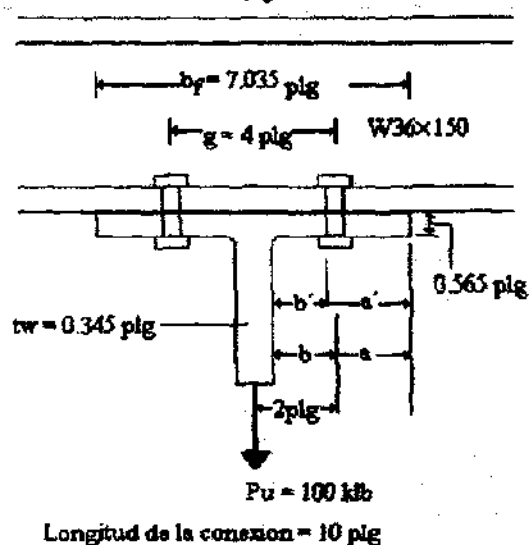
Q = fuerza separadora factorizada = $B \delta \alpha p (t_r/t_c)^2$

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

En el siguiente ejemplo se muestra el procedimiento a seguir para diseñar un colgante bajo la acción separadora, y las operaciones que se deben de hacer en el caso de usar unidades internacionales.

Ejemplo 3.9.

Una viga T de 10 plg de longitud, mostrada en la siguiente figura esta conectada a una W36 * 150 con cuatro tornillos A325 de alta resistencia de 7/8 plg $A = 3.88 \text{ cm}^2$. Si se usa acero A36, ¿ Son suficientes los tornillos? incluya el efecto de la acción separadora.



Unidades Inglesas

$$B = (0.75) (0.6) (90) = 40.5 \text{ klb}$$

$$T = 100 / 4 = 25 \text{ klb}$$

$$b = 2.0 - (t_w/2) = 1.827 > 1 \text{ 1/8 plg}$$

$$a = 7.035/2 - 2 = 1.517$$

$$1.25 b = 2.28375 > 1.517$$

se usa 2.28

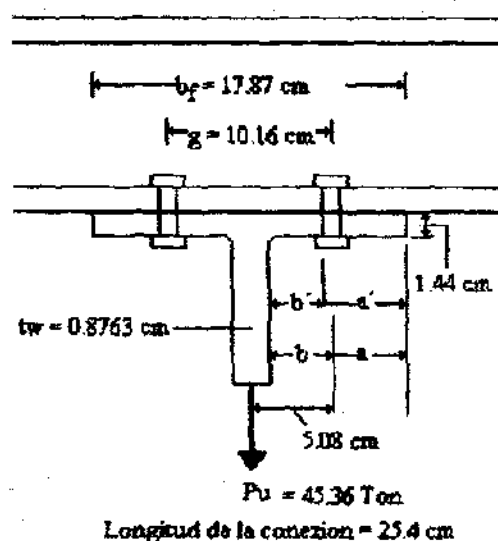
$$b' = b - (d/2) = 1.389 \text{ plg}$$

$$\rho = 10 / 2 = 5 \text{ plg}$$

$$d' = 15 / 16 = 0.937 \text{ plg}$$

$$\delta = 1 - 0.937/5 = 0.813$$

$$p = b'/a = 0.916$$



Unidades internacionales

$$B = (0.75) (3.88) (6.327) = 18.4092 \text{ Ton}$$

$$T = 45.36 / 4 = 11.34 \text{ Ton}$$

$$b = (10.16 / 2) - (0.8763/2) = 4.64 > 3.49$$

$$a = 17.87/2 - 5.08 = 3.85$$

$$1.25 b = 5.8023125 > 3.85$$

se usa 5.80

$$b' = b - (d/2) = 3.53 \text{ cm}$$

$$\rho = 25.4 / 2 = 12.7 \text{ cm}$$

$$d' = 2.38125 \text{ cm}$$

$$\delta = 1 - 2.38125/12.7 = 0.813$$

$$p = b'/a = 0.916$$

$$t_c = \sqrt{\frac{4.44 B b'}{\rho F_y}}$$

$$t_c = \sqrt{\frac{4439.4859 B b'}{\rho F_y}}$$

Nota:

En el caso de usar las unidades inglesas para calcular t_c B estará dado en klb y F_y en klb/plg², y en el caso de usar unidades internacionales B estará dado en Ton y F_y en kg/cm².

$$t_c = 1.178 \text{ plg}$$

$$t_c = 2.9961 \text{ cm}$$

$$\alpha = (1/0.813) [(25/40.5) / (0.565/1.178)^2 - 1]$$

$$\alpha = ((1/0.813) [(11.34/18.41) / (1.43/2.996)^2 - 1])$$

$$\alpha = 2.070$$

$$\alpha = 2.072$$

$$Q = 14.36 \text{ klb}$$

$$Q = 6.51 \text{ Ton}$$

$$B_c = 25 + 14.36 = 39.36 < 40.5 \text{ klb} \quad \text{Ok}$$

$$B_c = 6.51 + 11.34 = 17.85 \text{ Ton} < 18.40 \text{ Ton}$$

ecuación

4. CONEXIONES SOLDADAS

4.1. VENTAJAS DE LA SOLDADURA

1.- El uso de la soldadura permite ahorrar en el peso del acero utilizado, esto se debe a que no se usan placas de unión y empalmes y tampoco cabezas de remaches y de tornillos. En algunas estructuras de puentes es posible ahorrar hasta un 15% o mas del peso de acero con el uso de la soldadura. El uso de la soldadura también reduce la mano de obra ya que solo se necesita una persona y no una cuadrilla como en el caso del remachado.

2.- La soldadura es mas fácil de aplicar que el uso de tornillos, sobre todo en casos donde nos encontramos con elementos circulares donde hacer una unión es muy difícil, pero con la soldadura no es tan grande la dificultad.

3.-Se debe de tener cuidado a la hora de seleccionar el tipo de conexión, en el caso de la soldadura es muy rígida, es una ventaja menos cuando solo se requieren uniones simples sin resistencia a momentos.

4.-El proceso de fusionar los elementos, representa hacer estructuras continuas, es decir una sola pieza. Lo cual ha permitido crear estructuras estáticamente indeterminadas y esbeltas.

Esto también implica que una conexión soldada sea mas estética y limpia que una estructura atornillada o remachada, ya que se ven mejores las cuerdas cuando están bien hechas.

5.-Es mas fácil realizar ajustes o cambios en el diseño durante el montaje si se usa soldadura y además es menor el costo.

6.- Es menor el ruido que se ocasiona al soldar que al remachar o atornillar, con lo cual es menor el impacto ambiental.

7.- Se usan menos piezas, se usa menos tiempo en fabricación y detalle.

4.2. INSPECCION DE LA SOLDADURA

Una buena soldadura requiere de establecer buenos procedimientos de soldadura, usar soldadores calificados y una buena inspección, también requiere de una buena selección de los electrodos, corriente, voltaje, buenas propiedades en el metal base y cuidar la posición de la soldadura.

Inspección visual

Un factor importante que ayuda a que los trabajadores hagan un buen trabajo es una adecuada inspección, es también conveniente que el inspector tenga experiencia con la soldadura, que el mismo haya soldado y familiarizado con el procedimiento. Debe de reconocer buenas soldaduras en su forma, dimensiones y apariencia.

- Una buena soldadura se aproxima a su color original después de enfriarse.
- Si se calienta de mas tendrá un tono mohoso o apariencia rojiza.

La inspección visual es buena realizarla pero esto no garantiza que la soldadura este bien hecha por este motivo hay otros métodos para revisar las soldaduras, como los que se describen a continuación.

Líquidos penetrantes

Este tipo de tinturas penetraran en pequeños defectos como grietas, después se limpia el exceso del liquido y se aplica un polvo absorbente, el cual hará que la tintura salga a la

superficie, delineando la grieta de una forma visible al ojo humano. Una variante de este método es con líquido fluorescente, para posteriormente revisar con luz negra.

Prueba ultrasónica

Este método se basa en la velocidad que tarda en recorrer el sonido a través del metal. La onda reflejada se capta en un tubo de rayos catódicos. Los defectos en la soldadura afectan el tiempo de transmisión del sonido y de esta manera el operador al leer las lecturas puede detectar los errores en la soldadura.

Procedimientos Radiográficos

Mediante estos procedimientos se puede detectar el porcentaje de malas soldaduras en una estructura. El uso de equipos portátiles de rayos X, y el uso de radio o cobalto para tomar fotografías da buenos resultados pero resulta muy costoso, así como la desventaja de la radiación que puede afectar tanto a los trabajadores, como al operador.

Una soldadura bien realizada puede resultar mas resistente que las partes conectadas, 1.5 a 2 veces mas, debido al grosor de la garganta de la soldadura, la velocidad de enfriamiento y el material con el que están hechos los electrodos. Por eso es poco probable que el soldador haga una soldadura menos resistente que la que se requiere en el diseño.

4.3. SIMBOLOS PARA SOLDADURA

Mediante este sistema de identificación propuesto por la American Welding Society, el constructor podrá identificar los diferentes tipos de soldadura, sin tener que realizar croquis, dibujos y hacer largas notas descriptivas, mediante este método taquigráfico (Figura 4.1.) se podrá representar todo solo con unas cuantas líneas.

SÍMBOLOS PARA SOLDADURA ELÉCTRICA

TIPO DE SOLDADURA								COLA	SOLDADURA DE CAMPO	SOLDADURA ALREDEDOR	ENTRASE
RANURA DE LAS PIEZAS											
ESQUEMA	SÍMBOLO	MEZCLADO	V	UVEL	U	J	Y				

LOCALIZACIÓN DE LAS SOLDADURAS		
Lado más cercano	Lado más lejano	Ambos lados

NOTAS

- 1.—El lado de la junta para donde señala la flecha es el lado más cercano y el lado opuesto a éste es el lado más lejano.
- 2.—Las soldaduras del lado más cercano y del más lejano se harán de la misma dimensión a menos que se indique de otra manera.
- 3.—Los símbolos se aplican hasta donde haya un cambio notable de dirección o en las dimensiones indicadas (excepto cuando se use el símbolo de "todo alrededor").
- 4.—Todas las soldaduras son continuas y de las proporciones normalizadas por el usuario si no se indica de otra manera.
- 5.—La cola de la flecha se usa para anotar especificaciones. Si no hay nada que anotar, se omite la cola de la flecha, p. e. se pone A. E. para Arco Automático protegido con electrodo y A. S. para automático sumergido.
- 6.—En las juntas en las que hay que hacer ranura a un miembro, la flecha señalará tal miembro.
- 7.—Las dimensiones de las soldaduras, de la longitud del incremento y de los espaciamientos se indicarán en milímetros o pulgadas.
- 8.—Dimensiones, símbolo, longitud y espaciamiento se leerán en ese orden, de izquierda a derecha a lo largo de la línea de referencia independiente del sentido de la flecha.

Figura 4.1. Símbolos para la soldadura eléctrica.

4.4. SOLDADURAS DE RANURA

Cuando la penetración en la soldadura es completa, y los miembros soldados están sujetos a carga axial de compresión o tensión, entonces el esfuerzo en la soldadura es igual a la carga entre el área transversal neta de la soldadura. La soldadura de ranura puede tener refuerzo, es decir el material que hace que la garganta de la soldadura tenga mayor dimensión, en función de ese refuerzo las soldaduras se llaman de 100%, 125%, 150%. Existen varias razones para poner este material extra

- Resistencia extra. El metal adicional contrarresta los poros y otras irregularidades
- El soldador le cuesta menos trabajo soldar con un poco mas de espesor que el material soldado.

Cuando las cargas no son estáticas, como cargas vibratorias o repetidas, el refuerzo no resulta tan conveniente ya que la concentración de esfuerzos se da en el refuerzo y contribuye a una falla mas rápida. En la practica se acostumbra suministrar el refuerzo y luego rebajarlo hasta enrasar con el material conectado.

En muchos casos se acostumbra preparar los bordes de las partes conectadas dándole bisel, pero existe un problema de socavación por lo que se le deja una parte recta al bisel.

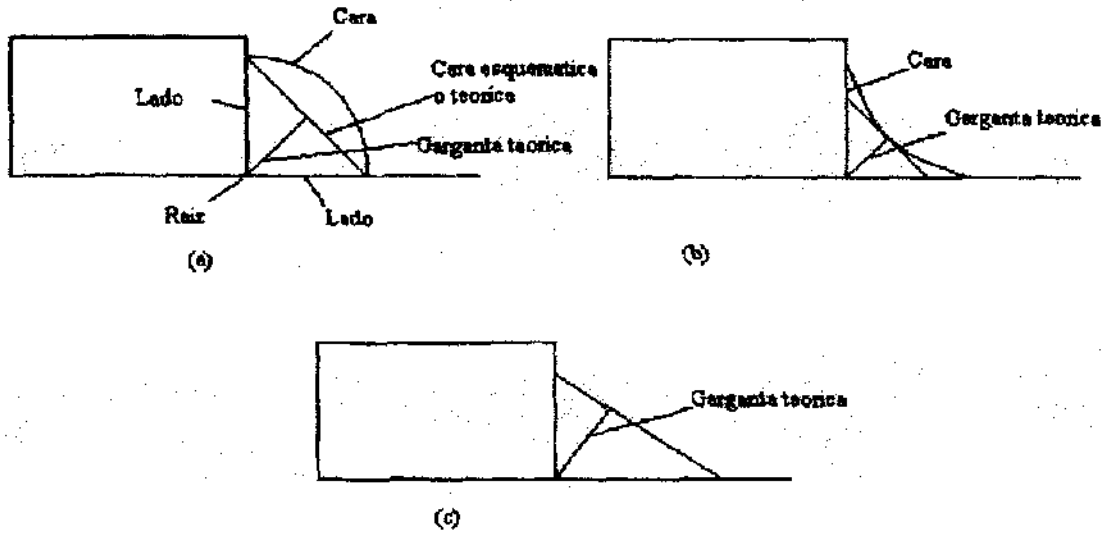
4.5. SOLDADURAS DE FILETE

Las soldaduras de filete son mucho mas resistentes a la tensión y a la compresión que al corte por este motivo, los esfuerzos que determinan estas soldaduras serán los de corte, es recomendable que siempre que se pueda, se arregle las soldaduras para que solo estén sujetas a corte y no a corte y tensión o corte y compresión.

La resistencia se supone igual al esfuerzo de corte permisible por el área teórica de la garganta de la soldadura, tomando en cuenta que cuando las soldaduras de filete se prueban a ruptura estas tienden a fallar a 45° a través de la garganta. El grueso teórico de la garganta de diversas soldaduras se muestra en la figura 4.2.. El área es igual al grueso teórico de esta por la longitud de la soldadura. La raíz de la soldadura es el punto donde las superficies de las caras de las piezas se intersectan, y la garganta teórica de la soldadura es la distancia mas corta entre la raíz y la superficie externa de esta.

Para el filete de 45° o de lados iguales, el grueso de la garganta es 0.707 veces el tamaño de la soldadura, pero para lados desiguales el valor es diferente. A primera vista, la superficie cóncava podría parecer la forma ideal para la soldadura de filetes porque aparentemente los esfuerzos podrían fluir uniformemente alrededor de la esquina con poca concentración de esfuerzos, pero tiene esto una gran desventaja ya que durante el enfriamiento

tienden a agrietarse y este es un problema mucho mayor que la ventaja que nos podría ofrecer, por eso es recomendable hacer las soldaduras de filete convexas.



(a) Superficie convexa. (b) superficie cóncava (c) Soldadura de filete de lados desiguales
Figura 4.2. grosor de la garganta teórica.

El valor más recomendable para el ángulo de la soldadura es de 45° , cuando las dimensiones de los miembros a soldar son diferentes, se especifican con las dimensiones de ambos lados (como soldadura de filete 3/8 por 1/2 plg).

Las especificaciones LRFD establecen que el espesor de la garganta efectiva hechos con procesos SAS (arco sumergido automático) con lados de 3/8 " o menores, será igual al lado del filete. Para filetes mayores el espesor de la garganta efectiva será igual al espesor teórico de la garganta mas 0.11 plg (0.2794 cm).

4.6. RESISTENCIA DE LAS SOLDADURAS

El esfuerzo en una soldadura se considera igual a la carga P dividida entre el área de la garganta efectiva de la soldadura. Pero en este método no se toma en cuenta la dirección de la carga. En filetes transversales se tiene mayor resistencia (un tercio mayor) ya que la carga se distribuye de manera más uniforme, en tanto que los filetes longitudinales hay variaciones en las deformaciones a lo largo de la soldadura.

4.7. REQUISITOS DEL LRFD

En una soldadura el material del electrodo debe de tener propiedades del metal base. Si las propiedades son comparables se dice que el metal de aportación es compatible con el metal

TABLA 4-1 RESISTENCIA DE DISEÑO DE SOLDADURAS

Tipo de soldadura y esfuerzo ^a	Material	Factor ϕ de resistencia	Resistencia nominal F_{EM} o F_u	Nivel de Resistencia requerido ^{b,c}
Soldadura de ranura con penetración completa				
Tensión normal al área efectiva	Base	0.90	F_y	Debe usarse soldadura "compatible"
Compresión normal al área efectiva	Base	0.90	F_y	Puede usarse un metal de aportación (electrodo) con un nivel de resistencia igual o menor que el "compatible"
Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura				
Cortante en el área efectiva	Base; electrodo de soldadura	0.90 0.80	$0.60 F_y$ $0.60 F_{EM}$	
Soldaduras de ranura con penetración parcial				
Compresión normal al área efectiva	Base	0.90	F_y	Puede usarse un metal de aportación (electrodo) con un nivel de resistencia igual o menor que el "compatible"
Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura ^d				
Cortante paralelo al eje de la soldadura	Base; electrodo de soldadura	0.75	$0.60 F_{EM}$	
Tensión normal al área efectiva	Base; electrodo de soldadura	0.90 0.80	F_y $0.60 F_{EM}$	
Soldaduras de filete				
Esfuerzo en el área efectiva	Base; electrodo de soldadura	0.75	$0.60 F_{EM}$	Puede usarse un metal de aportación (electrodo) con un nivel de resistencia igual o menor que el "compatible"
Tensión o compresión paralela al eje de la soldadura ^d	Base	0.90	F_y	
Soldaduras de tapón o muesca				
Cortante paralelo a las superficies de contacto (sobre el área efectiva)	Base; electrodo de soldadura	0.75	$0.60 F_{EM}$	Puede usarse un metal de aportación (electrodo) con un nivel de resistencia igual o menor que el "compatible"

^a Para la definición de área efectiva véase la sección J2 de las especificaciones LRFD

^b Para los metales de aportación "compatibles" Véase Tabla 4.1.1. de la AWS D1.1

^c Se permite un metal de aportación con un nivel de resistencia mayor que el "compatible"

^d Las soldaduras de filete y las soldaduras de ranura con penetración parcial que unen componentes de miembros armados como en el caso de la unión del alma a los patines de una trabe, pueden diseñarse sin considerar los esfuerzos de tensión o compresión paralelos al eje de de las soldaduras presentes en esos elementos.

^e El diseño del material conectado esta regido por la sección J4 de las especificaciones LRFD.

Tabla 4.1. Resistencias nominales de las soldaduras.

base. La tabla 4.1. (tabla J2.3) de las especificaciones LRFD) proporciona las resistencias nominales de varios tipos de soldadura incluyendo las de filete, de tapón y muesca y las de ranura con penetración completa y parcial.

La resistencia de diseño de una soldadura es el menor de los siguientes valores ϕF_w (F_w es la resistencia nominal de la soldadura) y ϕF_{bm} (F_{bm} es la resistencia nominal del metal base).

Para las soldaduras de filete las resistencia nominal por esfuerzos en el área efectiva de la soldadura es $0.60 F_{EXX}$ (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 y ϕ es igual a 0.90. La resistencia de diseño a cortante es $\phi F_n A_{ns}$ en donde $\phi = 0.75$, $F_n = 0.6 F_u$ y A_{ns} es el área neta sujeta a cortante.

Los electrodos para arco protegido se designan de la siguiente manera E60XX, E70XX, etc. En este sistema de clasificación la letra E significa electrodo y los dos siguientes dígitos designa la resistencia mínima a tensión de la soldadura en klb/plg^2 , los dígitos restantes designan la posición para soldar, corriente, polaridad, etc.

En el anexo3 se incluye una tabla de clasificación de electrodos (AWS).

Recomendaciones importantes del LRFD (sección J) aplicables a la 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. Si su longitud real es menor que este valor, el grueso de la soldadura considerada efectiva debe de reducirse a 1/4 de la longitud de la soldadura.
- 2.- El tamaño máximo de un soldadura de filete a lo largo de un material menor de 1/4 de plg (0.635cm) debe ser igual al grueso del material. Para material mas grueso, no debe ser mayor que el espesor del material menos 1/16 plg (0.16cm), a menos que la soldadura se arregle especialmente para dar un espesor completo de la garganta. Para un placa con un espesor de 1/4 plg (0.635) o mayor, es conveniente terminar la soldadura por lo menos a 1/16 plg (0.16cm) del borde para que el inspector puede ver con claridad el borde de la placa y determinar las dimensiones de la garganta.
- 3.- Los filetes permisibles mínimos según el LRFD se dan en la tabla 4.2. (tabla J2.5 de las especificaciones LRFD). Estos tamaños mínimos no se desarrollaron con base en consideraciones de resistencia si no debido a que los materiales gruesos tienen un efecto de

enfriamiento rápido en las soldaduras pequeñas y se manifiesta una pérdida de ductilidad en las soldaduras, Además el material grueso tiende a restringir los acortamientos por enfriamiento de las soldaduras y pueden aparecer grietas a lo largo de los cordones.

Espesor del material de la parte unida con mayor espesor (plg)	Tamaño mínimo de la soldadura de filete (plg)	Espesor del material de la parte unida con mayor espesor (cm)	Tamaño mínimo de la soldadura de filete (cm)
Hasta 1/4 inclusive	1/8	Hasta 0.635 inclusive	0.3175
Mayor de 1/4, hasta 1/2 inclusive	3/16	Mayor de 0.635, hasta 1.27 inclusive	0.4763
Mayor de 1/2, hasta 3/4 inclusive	1/4	Mayor de 1.27, hasta 1.905 inclusive	0.635
Mayor de 3/4	5/16	Mayor de 1.905	0.7938

El tamaño mínimo de la soldadura se refiere a la dimensión del lado de los filetes

Tabla 4.2. Tamaños mínimos de soldaduras.

4.- Siempre que se pueda, deben realizarse vueltas en el extremo (remates) para soldadura de filete. La longitud de estas vueltas no debe ser menor que dos veces el grueso nominal de la soldadura. Cuando no se usan, es práctico, restar el doble del grueso de la soldadura de la longitud efectiva de esta. Las especificaciones LRFD, sección J2.2a, establecen que la longitud de una soldadura de filete incluirá las longitudes de remate.

5.- Cuando se usan soldaduras de filete longitudinales para conexión de placas o barras, sus longitudes no deben ser menores que la distancia perpendicular entre ellas, debido al rezago de cortante. La distancia entre soldaduras de filete no debe de ser mayor de 8 plg (20.32 cm) en las conexiones de extremo a menos que el miembro se diseñe con base en el área efectiva de acuerdo con la especificación LRFD-B3 (Anexo 1).

6.- En juntas traslapadas, el traslape mínimo es igual a 5 veces el espesor de la parte delgada conectada, pero no debe ser menor de 1 plg (2.54 cm).

4.8. DISEÑO DE SOLDADURAS DE FILETE

En los siguientes ejemplos se muestran los cálculos que se deben hacer para diseñar este tipo de conexiones.

Ejemplo 4.1.

Determine la resistencia de diseño de un filete de 0.8 cm con longitud de 2.54 cm use (a) el proceso de arco metálico protegido (SAP) y (b) el de arco sumergido (SAS). Use electrodos E70 cuya resistencia mínima a la tensión F_{EXX} sea de 4.921 T/cm^2 .

Solución:

(a) Proceso de arco protegido

$$\text{Espesor de la garganta efectiva} = (0.707)(0.8) = 0.5656 \text{ cm}$$

$$\text{Resistencia de diseño} = (0.75) (0.60) (4.921) (0.5656) (2.54) = 3.1813 \text{ Ton}$$

(b) Proceso de arco sumergido

$$\text{Espesor de la garganta efectiva según la sección J2.2a} = 0.8 \text{ cm}$$

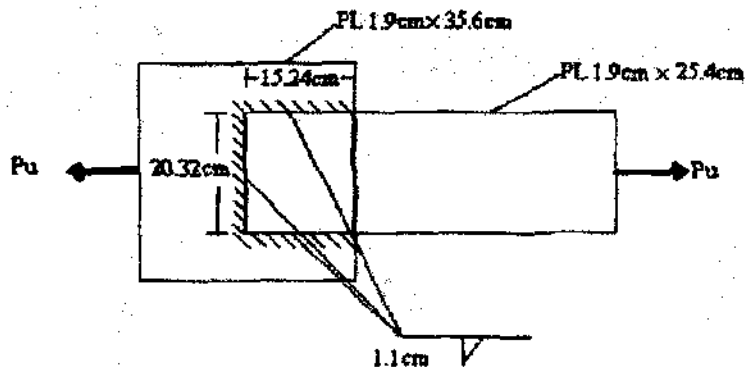
$$\text{Resistencia de diseño} = (0.75) (0.60) (4.921) (0.8) (2.54) = 4.4997 \text{ Ton}$$

Las soldaduras de filete no deben de diseñarse con un esfuerzo mayor que el esfuerzo de diseño de los miembros adyacentes a la conexión. Si la fuerza externa aplicada al miembro es paralela al eje de la soldadura, la resistencia de diseño de esta no debe de exceder la resistencia de diseño axial del miembro.

Los siguientes ejemplos ilustran los cálculos necesarios

Ejemplo 4.2.

Determine la resistencia de diseño de la conexión mostrada en la siguiente figura, considere acero A36 y electrodos E70. Los filetes de 1.1 cm se hicieron mediante el proceso SAP.



Solución:

$$\text{Espesor de la garganta efectiva} = (0.707) (1.1) = 0.7777 \text{ cm}$$

$$\text{Capacidad de soldadura por cm} = (0.75) (0.60) (4.921) (0.7777) (1) = 1.72 \text{ T/cm}$$

$$\text{Capacidad total de la soldadura} = (1.72) (50.8) = 87.376 \text{ Ton}$$

$$\text{Resistencia de diseño de la placa} = (0.90) (2531) (1.9) (25.4) = 109.93 \text{ Ton}$$

Capacidad de diseño = 87.376 Ton

Ejemplo 4.3.

Repita el ejemplo anterior, pero considere el proceso SAS.

Solución:

Espesor de la garganta efectiva = $(0.707) (1.1) + (0.2794) = 1.0571 \text{ cm}$

Capacidad de la soldadura por cm = $(0.75) (0.6) (4.921) (1.0571) (1) = 2.34 \text{ Ton}$

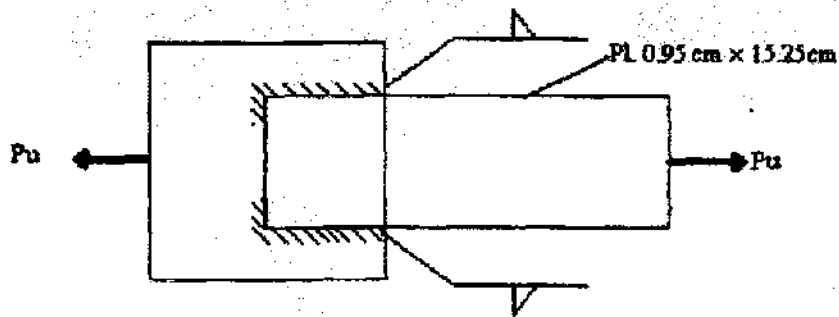
Capacidad total de la soldadura = $(2.34) (50.8) = 118.872 \text{ Ton}$

Resistencia de diseño de la placa = 109.93 Ton

Capacidad de diseño = 109.93 Ton

Ejemplo 4.4.

Usando acero A36 y electrodos E70 diseñe las soldaduras de filete (SAP) para resistir la carga de capacidad plena de la barra de 0.95cm por 15.25cm mostrada en la siguiente figura.



Solución:

$P_u = (0.9) (2531) (0.95) (15.25) = 33.001 \text{ Ton}$

Tamaño máximo de la soldadura = $0.95 - 0.16 = 0.79 \text{ cm}$

Tamaño mínimo de la soldadura = 0.4763 cm

Use soldadura de 0.79 cm

Espeor de la garganta efectiva = $(0.707) (0.79) = 0.56\text{cm}$

Capacidad de la soldadura por cm = $(0.75) (0.6) (4.921) (0.56) (1) = 1.24 \text{ Ton / cm}$

Longitud necesaria = $33.001 / 1.24 = 26.61 \text{ cm}$

Use remates no menores $(2) (0.79) = 1.58 \text{ cm}$ digamos de 2 cm

En algunas ocasiones, la longitud de la soldadura disponible no es suficiente para resistir las cargas. En algunos casos se puede soldar en la espalda de los miembros si es que el espacio lo permite. Otra posibilidad es usar soldadura de muesca. Los requisitos del LRFD son los siguientes.

La especificación J2.3 dice que el ancho de una muesca no debe ser menor que el espesor del miembro, mas 5/16plg (0.8 cm) (redondeado al siguiente 1/16 plg impar, ya que los taladros estructurales se hacen con diámetros múltiplos impares) ni debe de ser menor que 2.25 veces el espesor de la soldadura. En miembros de hasta 5/8 plg (1.59 cm) de espesor, el espesor de la soldadura debe ser igual al de la placa y en miembros de mayor espesor, no debe ser menor que la mitad del espesor de la placa, ni de 5/8 plg (1.59 cm). La longitud máxima para una soldadura de muesca es de 10 veces el espesor de la soldadura.

La resistencia de una soldadura de tapón o muesca es igual a su esfuerzo de diseño ϕF_w multiplicado por su área nominal en el plano de corte. Esta área es igual al área de contacto en la base del tapón o de la muesca. La longitud de una soldadura de muesca puede determinarse con la relación siguiente:

$$L = \frac{\text{Carga}}{(\text{ancho})(\text{esfuerzo_de_diseño})} \quad \text{ecuación 4.1.}$$

El ejemplo 4.5. muestra el diseño de las soldaduras necesarias para conectar una canal a una placa.

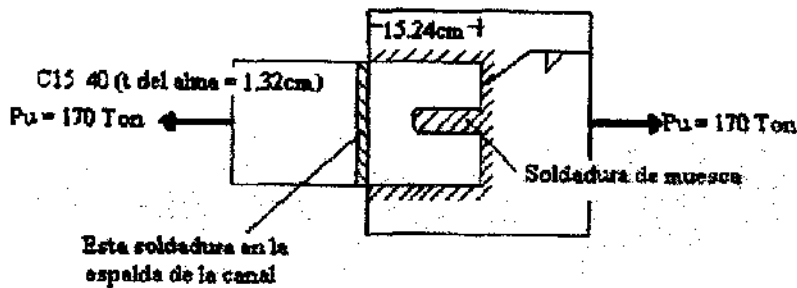
Ejemplo 4.5.

Diseñe los filetes (SAP) necesarios para conectar una C15 por 40 a la placa mostrada en la siguiente figura. La carga por resistir es de 170 Ton. Como se ve en la figura, la canal solo puede traslaparse con la placa de 15.3 cm, debido a las limitaciones de espacio. No se dispone de espacio para soldar sobre la espalda de la canal Considere electrodos E70.

Debido a la limitación de espacio use:

Máximo tamaño de soldadura = $1.32 - 0.16 = 1.16 \text{ cm}$

Espeor de la garganta efectiva = $(0.707) (1.16) = 0.82 \text{ cm}$



Capacidad de la soldadura por cm

$$= (0.75) (0.60) (4.921) (0.82) = 1.8158 \text{ Ton/cm}$$

Longitud requerida

$$= 170 \text{ Ton} / 1.8159 \text{ Ton/cm} = 93.62 \text{ cm} > \text{ a la longitud disponible de } 68.74 \text{ cm}$$

Por ello se usara soldadura adicional de muesca

$$\text{Ancho mínimo de muesca} = 1.32 + 0.8 = 2.12 \text{ cm}$$

$$\text{Ancho máximo} = 2.25 (\text{espesor de la soldadura}) =$$

$$= 2.25 (\text{espesor del alma de la canal}) = (2.25) (1.32) = 2.9304 \text{ cm}$$

(esto es aprox 17/16 plg al próximo 1/16 impar)

$$\text{Use } 15/16 \text{ plg} = 2.38 \text{ cm}$$

Capacidad del filete de 1.16 cm

$$= 1.8158 (15.32 + 15.32 + 38.1 - 2.38) = 120.5 \text{ Ton}$$

Carga a tomar de la soldadura de muesca

$$= 170 - 120.5 = 49.5 \text{ Ton}$$

Longitud requerida de la soldadura de muesca

$$= 49.5 / (2.38 (0.75) (0.6) (4.921)) = 9.39 \text{ cm}$$

digamos 9.5 cm

$$\text{Máxima longitud} = 10 (1.32) = 13.32 \text{ OK}$$

4.9. DISEÑO DE SOLDADURAS DE FILETE PARA MIEMBROS DE ARMADURAS

Los miembros en una armadura soldada pueden consistir en ángulos simples o dobles, o perfiles semejantes, y están sujetos solamente a cargas axiales estáticas, en la especificación

LRFD-J1.6 acepta que sus conexiones se diseñen mediante los métodos descritos anteriormente.

Si una conexión soldada estuviera sujeta a esfuerzos repetidos como ocurre en puentes, se considera necesario colocar las soldaduras de modo que su centroide coincida con del miembro si no, la torsión resultante debe de tomarse en cuenta en el diseño)

Para un ángulo como el que se muestra en la figura 4.3., la fuerza que actúa a lo largo de la línea L2 (designada como P2) puede determinarse tomando momentos con respecto a L1. La fuerza en el miembro y la resistencia de la soldadura deben coincidir, y los momentos de ambos con respecto a un punto cualquiera deben valer cero.

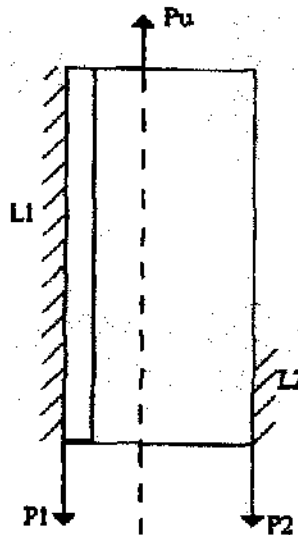


Figura 4.3 Soldadura de filete en una armadura.

En el siguiente ejemplo se ilustra el diseño de soldaduras de filete de este tipo:

Ejemplo 4.6.

Utilizando acero A36, electrodos E70 y el proceso SAP, diseñe las soldaduras de filete para el miembro a tensión trabajando a capacidad plena constituido por un ángulo mostrado en la siguiente figura. Suponga que el miembro estará sujeto a una variación repetida de esfuerzos, volviendo inconveniente cualquier excentricidad en la conexión. revise la resistencia del miembro por bloque cortante.

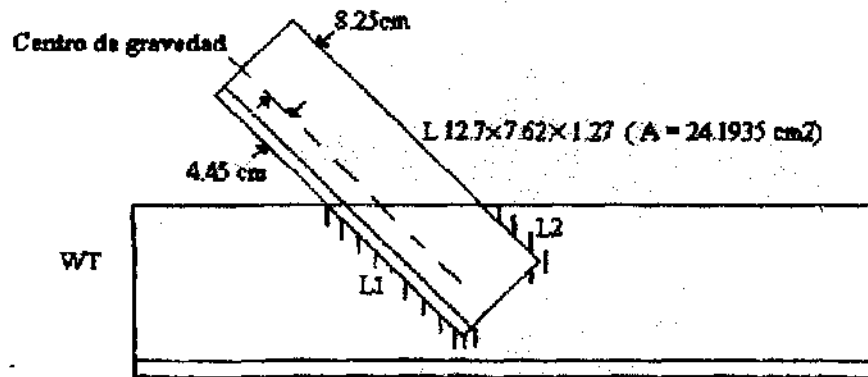
Solución:

Capacidad a tensión del ángulo

$$P_u = (0.9) F_y A_g = (0.9) (2531) (24.1935) = 55.11 \text{ Ton} \leftarrow$$

o bien

$$P_u = (0.75) F_u A_g = (0.75) (4077) (24.1935) = 73.97 \text{ Ton}$$



$$\text{Tamaño máximo de la soldadura} = 1.27 - 0.16 = 1.11 \text{ cm}$$

(esto equivale a 7 / 16 plg , pero usaremos el impar inmediato inferior 5 / 16 plg, es decir 0.7937 cm)

$$\text{Espesor de la garganta efectiva} = 0.707 (0.7937) = 0.5611 \text{ cm}$$

$$\text{Capacidad de la soldadura por cm} = (0.75) (0.6) (4.921) (0.5611) (1) = 1.2426 \text{ Ton/cm}$$

$$\text{Longitud total requerida} = 55.11 / 1.2426 = 44.35 \text{ cm}$$

Tomando momentos con respecto a L1 determinamos P2

$$(55.11) (4.45) - (12.7)P_2 = 0$$

$$P_2 = 19.31 \text{ Ton}$$

$$P_1 = P - P_2 = 55.11 - 19.31 = 35.8 \text{ Ton}$$

$$L_1 = 35.80 / 1.2426 = 28.81 \text{ cm digamos } 23 \text{ cm}$$

$$L_2 = 19.31 / 1.2426 = 15.54 \text{ cm digamos } 16 \text{ cm}$$

Usamos remates de $= (0.7937) (2) = 1.59 \text{ cm}$ digamos de 2cm ,entonces esta se puede restar de la longitud de los cordones quedando estos en 21 cm y 14 cm, respectivamente

Revisión del bloque de cortante con las dimensiones de soldadura anterior:

$$(1) P_{bs} = \phi (F_u A_{nt} + 0.6 F_y A_{vg})$$

$$P_{bs} = 0.75 [(4077) ((12.7)(1.27)) + (0.6) (2531) (39)] =$$

$$P_{bs} = 93.74 \text{ Ton} > 55.11 \text{ Ton OK}$$

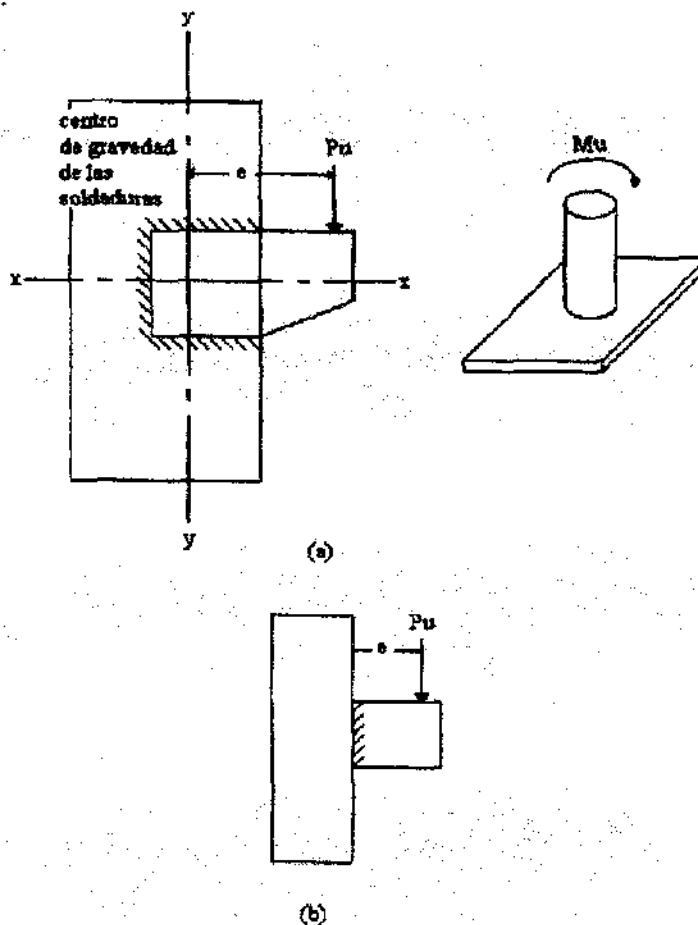
$$(2) P_{bs} = \phi (F_y A_{tg} + 0.6 F_u A_{ns})$$

$$P_{bs} = 0.75 [(2531) ((12.7)(1.27)) + (0.6) (4077) (39)] =$$

$$P_{bs} = 102.17 \text{ Ton} > 55.11 \text{ Ton OK}$$

4.10. CORTANTE Y TORSION

Las soldaduras de filete se someten a menudo a cargas aplicadas excéntricamente, por lo que quedan sujetas a combinaciones de cortante y torsión o bien, cortante y flexión en la figura 4.4. se muestran las dos situaciones, en esta sección trataremos dos métodos para tratar cortante y torsión.



(a) Soldaduras sometidas a cortante y torsión. (b) Sometidas a cortante y flexión.

Figura 4.4 Soldaduras sometidas a combinaciones de carga.

Método elástico:

Este método es muy conservador. En este método la fricción o resistencia al deslizamiento entre las partes conectadas se ignora y se suponen totalmente rígidas.

Consideremos la ménsula soldada de la parte (a) de la figura 4.4. Se supone las piezas conectadas perfectamente rígidas, como si fueran conexiones remachadas. El efecto de esta hipótesis es que toda la deformación ocurre solo en toda la soldadura. El esfuerzo ocasionado por la torsión puede calcularse a partir de la expresión ya conocida:

$$f = \frac{Td}{J} \quad \text{ecuación 4.2.}$$

En esta expresión T es el par de torsión, d es la distancia del centro de gravedad de la soldadura al punto que se considera, y J es el momento polar de inercia de la soldadura. es conveniente descomponer la fuerza en sus componentes horizontal y vertical. En la siguientes expresiones h y v son las componentes horizontal y vertical de la distancia d.

$$f_h = \frac{Tv}{J} \quad f_v = \frac{Th}{J} \quad \text{ecuación 4.3. y 4.4.}$$

Estas componentes se combinan con el esfuerzo directo de corte usual, que es igual a la reacción dividida entre la longitud de la soldadura. Para el diseño de soldaduras a cortante y torsión es conveniente considerar una soldadura de 1 cm, y calcular los esfuerzos en una soldadura de esa dimensión. Si la soldadura considerada esta sobreesforzada, se necesitara una soldadura mas grande y si esta sub esforzada se necesitara una soldadura mas pequeña.

Para simplificar mas el problema, las soldaduras se consideraran localizadas en los bordes donde se colocan los filetes, y no en los centros de sus gargantas efectivas, como las dimensiones de las gargantas son pequeñas cambian poco los resultados.

En el siguiente ejemplo se muestran los cálculos para realizar uno de estos diseños

Ejemplo 4.7.

Para la ménsula mostrada en la siguiente figura, determine el tamaño de la soldadura de filete requerido si se usan electrodos E70, el proceso SAP y las especificaciones LRFD

Solución : Suponemos una soldadura de 1 cm como se muestra en la figura

$$A = 18 \text{ cm}^2$$

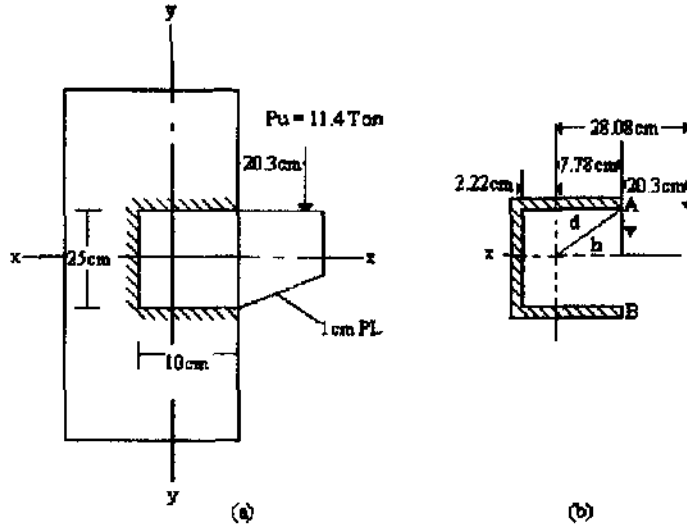
$$\bar{x} = (10)(5)(2) / 18 \text{ cm}^2$$

$$I_x = (1/12)(1)(25)^3 + (2)(1/12)(10)(1)^3 + (2)(10)(12.5)^2 = 4428.75 \text{ cm}^4$$

$$I_y = (2)(1/12)(1)(10)^3 + (1/12)(25)(1)^3 + (2)(10)(2.78)^2 + (25)(2.22)^2 =$$

$$I_y = 446.52 \text{ cm}^4$$

$$J = 446.52 + 4428.75 = 4875.27 \text{ cm}^4$$



Las porciones mas esforzadas de la soldadura son las mas alejadas del centro de gravedad de la soldadura (A y B en la figura de este ejemplo).

$$f_h = T_v / J = ((28.08) (11.34)) (12.5) / 4875.27 = 0.8164$$

$$f_v = T_h / J = ((28.08) (11.34)) (7.78) / 4875.27 = 0.5081$$

$$f_s = f_{\text{cortante}} = 11.4 / 45 = 0.2533$$

$$f_r = f_{\text{resultante}} = [(0.5081 + 0.2533)^2 + (0.8164)^2]^{1/2} = 1.1163 \text{ Ton/cm}^2$$

$$\text{Capacidad de diseño de un filete de 1 cm (electrodo E70)} = (0.75) (0.6) (4.921) (1) (1) = \\ = 2.2144 \text{ Ton/cm}^2$$

Tamaño requerido de soldadura

$$= 1.1163 / 2.2144 = 0.5041 \text{ cm}$$

Use soldadura de filete de 0.6 cm

Método de resistencia ultima:

El método de resistencia ultima da resultados mas precisos que el método elástico, en este método se supone que las cargas tienden a ocasionar una rotación y una traslación relativas entre las partes conectadas.

Aun si, la carga excéntrica es de tal magnitud que ocasione fluencia en la parte mas esforzada de la soldadura, la conexión entera no fluirá. La carga puede incrementarse y las fibras menos esforzadas empezaran a tomar mayor carga hasta que todas fluyan.

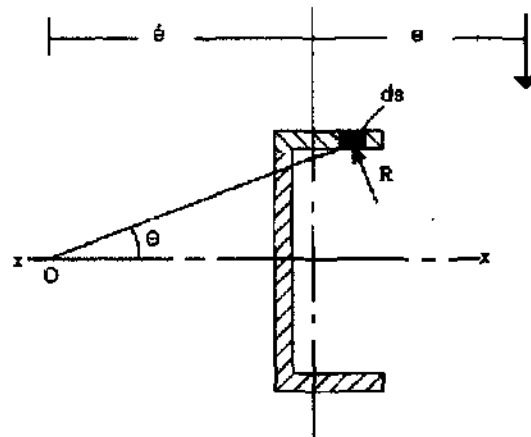


Figura 4.5. Centro instantáneo de rotación "O".

La soldadura tendera a rotar alrededor de su centro instantáneo de rotación. La posición de este centro depende de la posición de la carga, de la distribución geométrica de la soldadura y de las deformaciones de los diferentes elementos de la soldadura.

Si la carga excéntrica P_u es vertical y si la soldadura, es simétrica respecto a un eje horizontal que pase por su centro de gravedad, el centro de gravedad quedara localizado sobre el eje x . Cada elemento diferencial proporcionara a la soldadura una resistencia R , como se muestra en la figura cada una de estas fuerzas resistentes se supone actúan perpendicularmente a una línea trazada entre el centro instantáneo de rotación y al centro de gravedad del elemento diferencial en cuestión. La suma de los momentos resistentes de todos los elementos de la soldadura respecto al punto O debe ser igual y opuesto al momento de la carga excéntrica respecto al mismo punto. En la expresión que sigue R es la fuerza cortante ultima de un solo elemento de soldadura, Sujeto a corte excéntrico, en tanto que R_{ult} es la fuerza cortante ultima pura de un solo elemento.

$$R = R_{ult} (1 - e^{-k(\Delta/\Delta_0)})^{k_2} \quad \text{ecuación 4.5.}$$

Las otras literales se obtienen de la manera siguiente:

$$\Delta_{max} = \Delta_0 \left(\frac{\theta}{5} + 1 \right)^{-0.47} \quad \text{ecuación 4.6.}$$

Δ_0 es igual a la máxima deformación para el ángulo en grados formado entre el eje x y la línea entre el centro instantáneo de rotación al punto de aplicación de R . Algunos datos obtenidos del manual LRFD son:

ángulo	deformación
0	0.11
10	0.072
30	0.049
90	0.032

La deformación de los otros elementos diferenciales será directamente proporcional a la distancia al centro instantáneo de rotación

$$\Delta = \frac{r}{r_{max}} \Delta_{max}$$

ecuación 4.7.

Los valores de R_{ult} , k_2 , y k_1 dependen del valor del ángulo y pueden ser obtenidos de las siguientes relaciones

$$R_{ult} = \frac{(10 + \theta)}{10 + 0.582\theta} (0.791 F_{EXX} t)$$

ecuación 4.8.

$$k_1 = 8.274 e^{0.0114\theta}$$

$$k_2 = 0.4 e^{0.0146\theta}$$

F_{EXX} = Resistencia dependiendo del electrodo

t = la dimensión de la soldadura

La resistencia de diseño de una soldadura esta limitada a $0.60 F_{EXX}$

El método consiste en suponer una posición del centro instantáneo, determinar los valores R para los diferentes elementos de la soldadura y calcular Pu con la ecuación dada. Si este valor Pu no es igual a la suma de las componentes verticales de los valores R, será necesario suponer otra posición para el punto O etc...

Como se puede ver el método es un tanto tedioso por eso el manual LRFD proporciona unas tablas de valores obtenidos mediante este proceso, usando las tablas la resistencia ultima Pu de una conexión especifica puede determinarse con la expresión siguiente en la que C es un coeficiente tabular que incluye una ϕ de 0.75, C_1 es un coeficiente que depende del numero de electrodo (es igual a 1.0 para el E70XX), D es el tamaño de la soldadura en dieciseisavos de pulgada y l es la longitud de la soldadura vertical.

$$Pu = CC_1 D l$$

ecuación 4.9.

El manual incluye tablas para cargas verticales e inclinadas, se recomienda no usar interpolación entre ángulos y usar el ángulo inmediatamente inferior, si el tipo de arreglo no permite usar las tablas se recomienda usar el método elástico previamente descrito.

4.11. CORTANTE Y FLEXION

La soldadura mostrada en la figura 4.4.b y en la figura 4.6. están sujetas a una combinación de cortante y flexión.

Para soldaduras cortas de este tipo, por lo general se considera una variación uniforme del esfuerzo cortante. No obstante, si el esfuerzo de flexión esta dado por la formula de flexión, el corte no varia uniformemente para soldaduras verticales, sino en forma de parábola con un valor máximo igual a 1 y 1/2 veces el valor promedio. Esto se muestra en la figura 4.6..

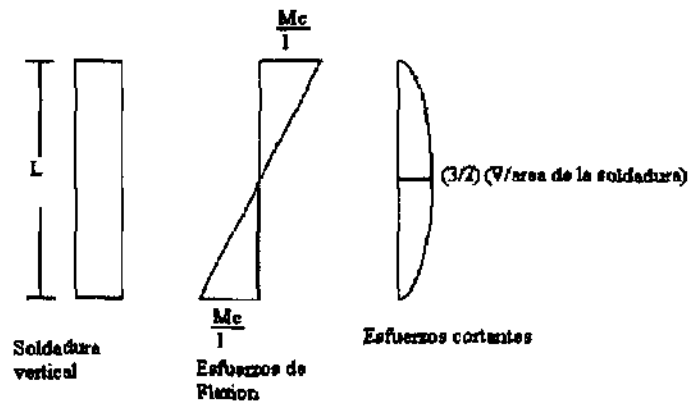


Figura 4.6. esfuerzos en soldaduras a cortante y flexión.

Ejemplo 4.8.

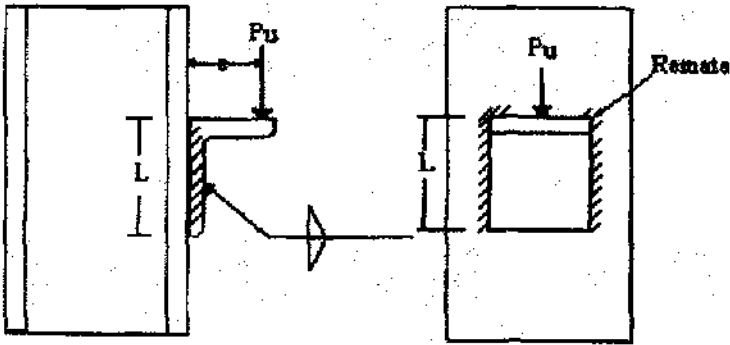
Usando electrodo E70, el proceso SAP y las especificaciones LRFD, determine el tamaño requerido de soldadura para la conexión de la fig. 14.22 si $P_u = 20.4$ Ton, $e = 6.4$ cm y $L = 20.3$ cm. Suponga que el espesor de los miembros no rige el tamaño de la soldadura.

Solución:

$$f_v = 20.4 / (2)(20.3) = 0.5024 \text{ Ton/cm}$$

$$f = (20.4)(6.4)(10.15) / [(1/12)(1)(20.3)^3(2)] = 0.9505 \text{ Ton/cm}$$

$$f_r = [(0.5024)^2 + (0.9505)^2]^{1/2} = 1.0751 \text{ Ton / cm}$$



Tamaño requerido de soldadura = $1.0751 / (0.707) (1) (0.75) (0.6) (4.921) = 0.6866 \text{ cm}$

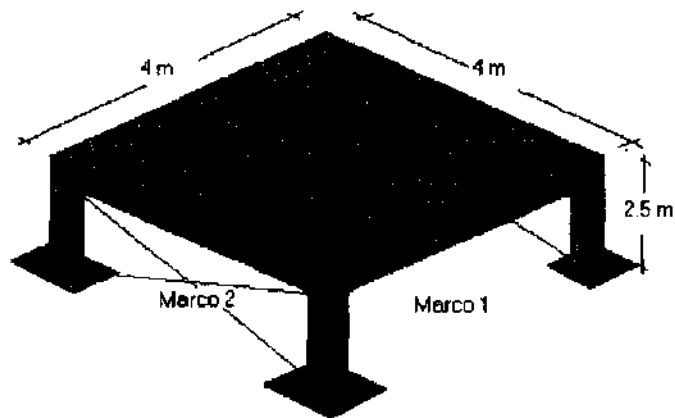
digamos de 0.7cm

5. CONEXIONES EN UNA ESTRUCTURA

5.1. EJEMPLO DE CONEXIONES EN UNA ESTRUCTURA

Ejemplo 5.1.

En la siguiente estructura una losa prefabricada con una carga total factorizada de $W = 800 \text{ kg/m}^2$ estará soportada por vigas IR.



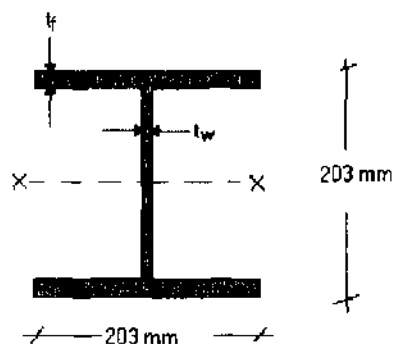
Los datos de los perfiles:

Acero A-36:

$$F_y = 2531 \text{ kg / cm}^2$$

$$F_u = 4220 \text{ kg / cm}^2$$

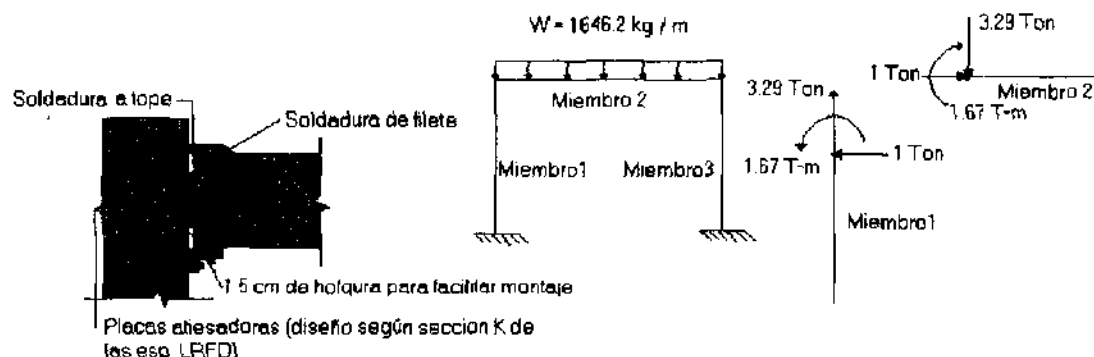
Secciones IR 203 por 46.2 :



$A = 58.9 \text{ cm}^2$	$W = 46.2 \text{ Kg/ m}$	
$t_f = 11 \text{ mm}$	$I_x = 4579 \text{ cm}^4$	$I_y = 1544 \text{ cm}^4$
$t_w = 7.2 \text{ mm}$	$S_x = 451 \text{ cm}^3$	$S_y = 152 \text{ cm}^3$
	$r_x = 8.8 \text{ cm}$	$r_y = 5.1 \text{ cm}$
	$Z_x = 498 \text{ cm}^3$	$Z_y = 231 \text{ cm}^3$

Después de una análisis estructural y una revisión de las secciones, se procede a diseñar las conexiones, y empezaremos con las conexiones del marco 1:

Se propone lo siguiente:



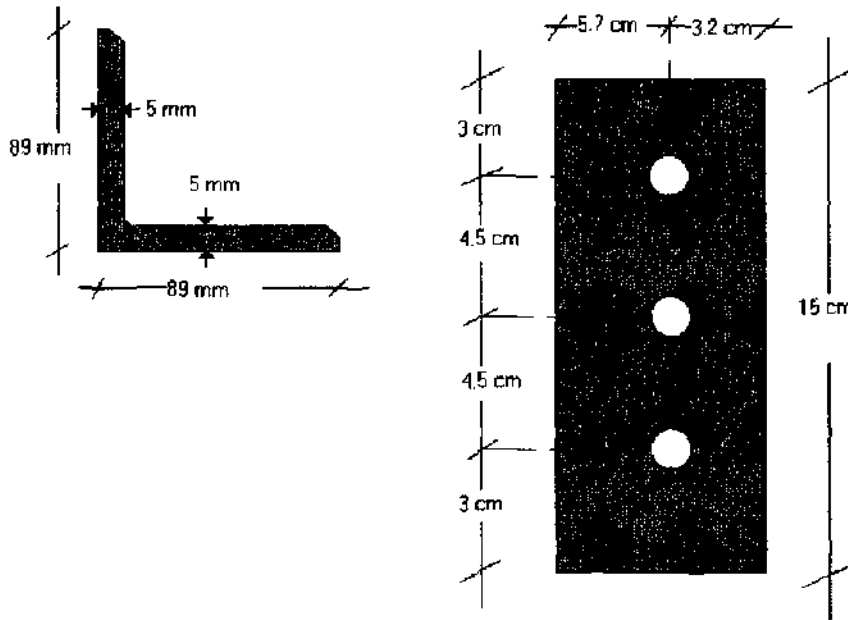
La tensión y el cortante obtenido en el análisis de la estructura serán soportados por el ángulo central, que estará soldado y atornillado. La fuerza de tensión y compresión provocados por el momento serán transmitidas por medio de un ángulo inferior y una placa superior como se muestra en la figura anterior.

Diseño del ángulo central:

El ángulo central (L1 89 por 5 mm) estará sujeto con tornillos al alma del miembro 2 y soldado al patín del miembro 1. Se usaran tres tornillos A-325 de 1/2" (13 mm) en una conexión tipo aplastamiento, agujeros tamaño estándar, cuerdas excluidas del plano de corte, distancias al borde de 1.5 d y distancias centro a centro de 3d.

Tornillos A-325 de 1/2" resistencia al corte de 1963 kg por tornillo

$$A = 1.27 \text{ cm}^2$$



Revisión del ángulo propuesto:

Bloque de cortante:

$$\text{Area del agujero} = 0.5 (1.3 + 0.32) = 0.81 \text{ cm}^2$$

$$A_{vg} = (12 \text{ cm})(0.5 \text{ cm}) = 6 \text{ cm}^2$$

$$A_{tg} = (3.2 \text{ cm})(0.5 \text{ cm}) = 1.6 \text{ cm}^2$$

$$A_{ns} = 6 \text{ cm}^2 - ((0.81)(2.5)) = 3.975 \text{ cm}^2$$

$$A_{nt} = 1.6 \text{ cm}^2 - (0.81/2) = 1.195 \text{ cm}^2$$

$$Pbs = 0.75 [(4220)(1.195) + (0.6)(2531)(6)] = 10615.9 \text{ Kg}$$

$$Pbs = 0.75 [(2531)(1.6) + (0.6)(4220)(3.975)] = 10585.72 \text{ Kg} \quad \leftarrow$$

$Pbs > 3.29 \text{ Ton OK}$

Resistencia a la tensión:

$$Ag = (15 \text{ cm})(0.5 \text{ cm}) = 7.5 \text{ cm}^2$$

$$An = (7.5 \text{ cm}^2) - ((3)(0.81 \text{ cm}^2)) = 5.07 \text{ cm}^2$$

$$Pu = 0.9(7.5)(2531) = 17084.25 \text{ Kg}$$

$$Pu = 0.75 (5.07)(4220) = 16046.55 \text{ Kg} \quad \leftarrow$$

$Pu > 1 \text{ Ton OK}$

Resistencia de los tornillos a cortante y aplastamiento sobre $t = 0.5 \text{ cm}$

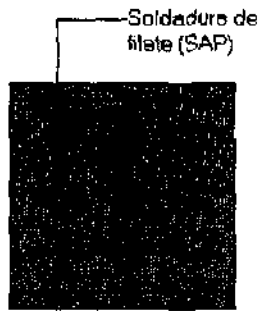
$$Pu = (1963)(3) = 5889 \text{ Kg}$$

$$Pu = [(0.75)(2.4)(1.3)(0.5)(4220)](3) = 4937.4 \text{ Kg} \quad \leftarrow$$

$$\text{Cortante Máximo} = (3.29^2 + 1^2)^{1/2} = 3.4386 \text{ T}$$

$Pu > 3.4386 \text{ T OK}$

Diseño de la soldadura de filete del ángulo al patín del miembro 1:



Tamaño máximo de la soldadura = 0.5 cm

Tamaño mínimo de la soldadura = 0.3175 cm

Tamaño seleccionado = 0.4 cm

Espesor de la garganta efectiva = $(0.707)(0.4) = 0.2828$

Resistencia de diseño = $(0.75)(0.6)(4.921)(0.2828)(15 \text{ cm}) = 9.39 \text{ Ton}$

$9.39 > 3.29 \text{ OK}$

Use remates no menores a $(2)(0.4) = 0.8 \text{ cm}$

Diseño de la placa superior:

T = fuerza por de tensión por resistirse = momento dividido entre la mitad del peralte

$T = 1.67 \text{ T-m} / 20.3 \text{ cm} = 8.2266 \text{ Ton}$

Suponiendo una placa de 5mm de espesor, se requiere un ancho de placa de:

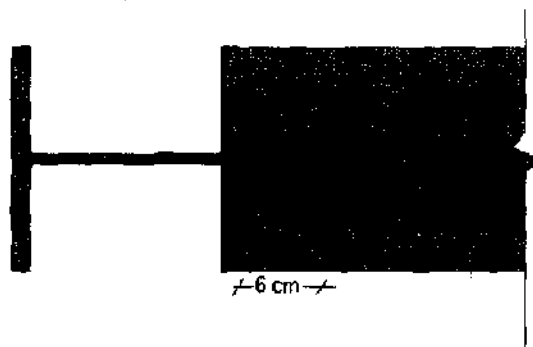
$8226.2 / [(0.5)(0.9)(2531)] = 7.22 \text{ cm de soldadura a tope al 100\%}$

Tomaremos un ancho de 10 cm

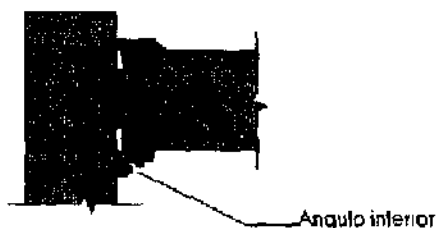
Suponiendo una soldadura de filete de 0.5 cm se requiere una longitud de

$= 8.2266 / [(0.5)(0.707)(0.75)(0.6)(4.921)] = 10.5090 \text{ cm}$

Usaremos remates mínimos de $(2)(0.5 \text{ cm}) = 1 \text{ cm}$



Diseño del ángulo inferior:



$C = \text{Fuerza por resistirse} = T = 8.2266 \text{ Ton}$

Se usara una L1 89 por 5mm

Tornillos A-325 de 3/4" (19 mm) conexión por aplastamiento, plano de corte en sección completa, distancias al borde de 1.5d y distancias centro a centro de 3d

Resistencia de tornillos a cortante y aplastamiento (se usaran dos tornillos):

$$P_u = (4406) (2) = 8812 \text{ Kg OK}$$

$$P_u = [(0.75)(2.4)(1.9)(0.5)(4220)] (2) = 14432.4 \text{ Kg OK}$$

En el caso de los tornillos inferiores se usaran los mismos.

Nota: para el marco 2 se usara una conexión como la del ángulo central de este ejemplo ya que se encuentra sujeto solo a cargas de corte y tensión debido al contraventeo.

CONCLUSIONES

Mediante este trabajo podemos observar que el acero es un material noble, con muy buenas características, como su elasticidad, ductilidad, y su continuidad etc. por eso es importante aprovechar al máximo estas y otras características en construcciones o estructuras, un aspecto importante en las estructuras de acero son las conexiones de sus miembros. En este trabajo se presenta una clasificación de las conexiones y los conectores tomando en cuenta los aspectos mas importantes de las mismas para poder seleccionar con mayor facilidad el sistema mas adecuado, así como también métodos y ecuaciones aplicables en unidades internacionales para facilitar el diseño y revisión de las conexiones y conectores ante diferentes condiciones de carga y combinaciones.

De manera mas particular se pudo observar que, los tornillos estructurales comunes, son económicos para estructuras sometidas a cargas estáticas pequeñas.

El atornillado en campo es rápido y no se necesita mano de obra muy especializada, pero los tornillos de alta resistencia no son muy económicos.

Cuando existen cargas de fatiga, los tornillos de alta resistencia completamente tensados y la soldadura ofrecen buena resistencia.

La soldadura requiere menor cantidad de acero, contribuye al mejor aspecto de las juntas y tiene mayor aplicación en los diferentes tipos de conexiones.

Para conexiones continuas y resistentes a momentos la mejor opción es la soldadura.

La soldadura es satisfactoria para el trabajo en planta, pero para el trabajo en campo son más confiables los tornillos por que no requieren de mucha supervisión.

Y con todo esto podremos seleccionar la opción mas adecuada para conectar los miembros de una estructura.

REFERENCIAS

- Manual of steel construction, First Edition, "*(LRFD) Load And Resistance Factor Design*", AISC, American Institute of Steel Construction.
- McCormac J.,(1983), "*Diseño de estructuras metalicas*",Representaciones y servicios de ingenieria, S.A., Mexico
- McCormac J.,(1996), "*Diseño de estructuras de acero*",ALFAOMEGA, Mexico
- Bresler B., Lin T., Scalzi J., (1987), "*Diseño de estructuras de acero*", LIMUSA, Mexico
- Popov E., (1994), "*Introduccion a la mecanica de solidos*",LIMUSA
- Instituto Mexicano de la Construccion del Acero, (IMCA), (1987),"*Manual de construccion de acero*", LIMUSA
- Altos Hornos de Mexico, S.A. de C.V. (AHMSA), (1995), "*Manual AHMSA*".

ANEXO 1

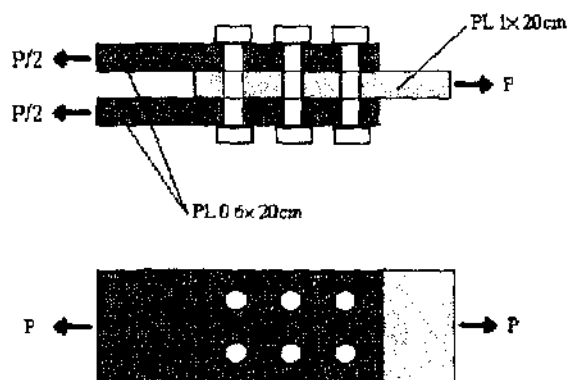
AREAS NETAS

El termino “ área neta de la sección transversal” o simplemente área neta es simplemente el área bruta de la sección transversal menos la de ranuras, muescas y agujeros.

En la fabricación de las estructuras de acero para conectar con tornillos o remaches , los agujeros se punzonan con un diámetro 1/16 “ mayor que el diámetro del conector, pero también se daña el acero del miembro alrededor del orificio punzonado, por esta razón se incrementa el área 1/16 “ mas del metal circundante, entonces el área que se resta corresponde a un diámetro mas 1/8 “ mayor que el diámetro nominal del conector

Ejemplo A.1.

Determine el área neta de la placa de 1 cm de espesor mostrada en la siguiente figura. La placa esta conectada en sus extremos con dos líneas de tornillos de 3/4 “ 1.9 cm.



Solución:

$$\text{Area neta} = (1) (20) - (2) (1.9 + [(1/8)(2.54)]) (1) = 15.56 \text{ cm}^2$$

Las conexiones de los miembros a tensión deben diseñarse de manera que se pueda evitar excentricidades.

En un miembro con simetría, su eje de simetría coincide con su eje de gravedad pero en miembros no simétricos el problema se complica, en la práctica común se colocan los miembros de tal manera que los ejes de las hileras de conectores concurren.

EFFECTO DE AGUJEROS ALTERNADOS

Si se tiene mas de una hilera de tornillos o remaches en un miembro a veces es conveniente escalonar los agujeros con el fin de tener una sección neta mayor para resistir la carga. Se ha supuesto que los miembros a tensión fallan transversalmente a lo largo de la línea AB como se muestra en la figura A.1. (a) y A.1. (b). En la figura A.1. (c) se muestra miembro en el que la falla puede ocurrir a lo largo de la línea ABCD, a menos que los agujeros tengan una separación considerable

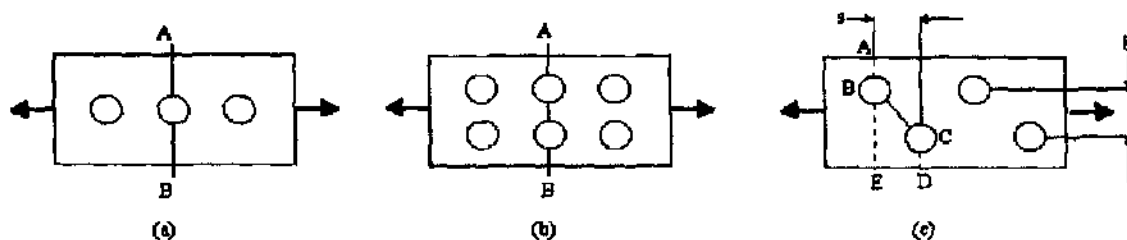


Figura A.1. Línea de falla en agujeros alternados.

Un método muy simple para calcular el ancho neto total de un miembro a tensión, consiste en considerar el ancho total del miembro sin tomar en cuenta la línea a lo largo de la cual pueda ocurrir la falla, restar el diámetro de los agujeros a lo largo sección en zigzag considerada y añadir por cada diagonal una cantidad dada por la expresión $s^2/4g$. Debe de considerarse cada una de las trayectorias posibles y usarse la que de el menor valor, y ese valor se multiplica por el espesor de la placa para obtener el área neta.

AREAS NETAS EFECTIVAS

Si un miembro que no sea placa o barra se somete a tensión axial hasta que ocurre una falla en su sección neta, el esfuerzo real de falla a tensión probablemente será menor que el obtenido en probeta, a menos que las partes conectadas estén de tal manera que la carga se transmita uniformemente en el área de la sección transversal del miembro. La causa de la reducción del miembro es la concentración de esfuerzos cortantes (retraso del cortante) en la vecindad de la conexión.

Las especificaciones LRFD estipulan que el área neta efectiva, A_e , de dicho miembro se determine multiplicando su área neta efectiva por un factor de reducción U ; este factor toma en cuenta de manera sencilla la distribución no uniforme del esfuerzo.

Los valores U dados en la especificación LRFD-B3 se calcularon a partir de la expresión empírica $1 - \bar{x}/L$, en donde L es la longitud de la conexión. Las especificación

reduce esta longitud L de la conexión a una longitud efectiva mas corta L' . El valor de U es entonces igual a L'/L o bien $1 - \bar{x}/L$. En la figura A.2. se muestran varios valores de \bar{x} . Los valores U usados en la especificación son los limites inferiores de los resultados obtenidos cuando se calcula la expresión $1 - \bar{x}/L$ para diferentes situaciones de retraso de cortante.

Si se calcula una sección W , conectada solo en sus patines, supondremos primero que la sección esta formada por dos perfiles T estructurales.

Caso general Si la fuerza se transmite directamente a cada un de los elementos de la sección transversal de un miembro por medio de conectores, el área neta efectiva A_e es igual a su área neta A_n

Miembros atornillados o remachados Si la carga se transmite por medio de tornillos o remaches a través de algunos, pero no de todos los elementos del miembro, el valor de A_e debe determinarse con la siguiente expresión

$$A_e = U A_n$$

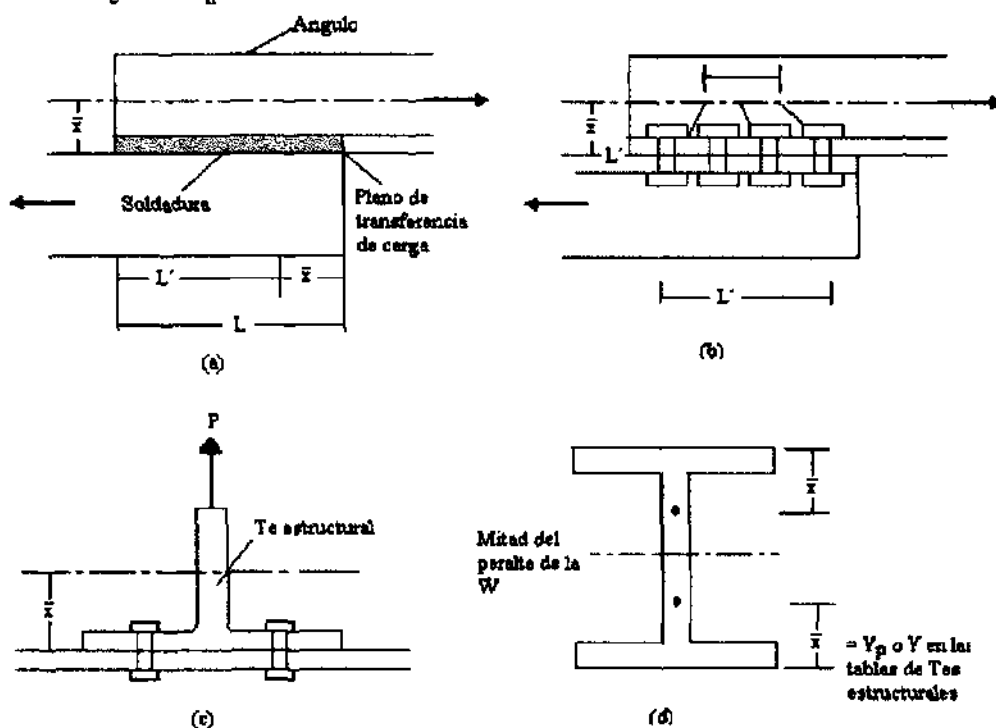


Figura A.2. Valores \bar{x} en conexiones.

- a. Los perfiles W , M o S con anchos de patín no menores que dos tercios de sus peraltes y tes estructurales cortadas de esos perfiles, siempre que la conexión sea por patines. Las conexiones atornilladas o remachadas deben tener no menos de tres conectores por hilera en la dirección de la fuerza

$$U = 0.90$$

- b. Los perfiles W, M o S que no cumplan las condiciones del párrafo a. tes estructurales cortadas de esos y otros perfiles, incluyendo secciones armadas. Las conexiones a atornilladas o remachadas deberán tener no menos de tres conectores por hilera en la dirección de la fuerza $U = 0.85$
- c. Todos los miembros con conexiones atornilladas o remachadas son solo dos conectores por hilera en la dirección de la fuerza $U = 0.75$

Miembros Soldados

1. Si la carga se transmite por medio de soldaduras a través de alguno , pero no de todos los elementos de un miembro a tensión, el área neta efectiva debe determinarse multiplicando el coeficiente de reducción U por el área total del miembro.

$$A_e = U A_g \quad \text{ecuación a. 1.}$$

2. Si una carga de tensión se transmite por medio de soldaduras transversales a algunos, pero no a todos los elementos con perfiles W, M, o S, o bien tes estructurales cortadas de esos perfiles, el área neta efectiva, A_e será igual al área de las partes directamente conectadas.

3. Las especificaciones LRFD estipulan que cuando se presenten situaciones de falla prematura por rezago de cortante, La longitud de los cordones no debe ser menor que el ancho de las placas o barras y el área neta efectiva será igual a $U A_g$. En estos casos se usaran los siguientes valores de U :

Cuando $L > 2w$	$U = 1.0$
Cuando $2w > L > 1.5w$	$U = 0.87$
Cuando $1.5 > L > w$	$U = 0.75$

En donde L = La longitud de la soldadura

w = el ancho de la placa (distancia entre cordones).

ANEXO 2

TORNILLOS DE ALTA RESISTENCIA**A-325****RESISTENCIA AL ESFUERZO****CORTANTE Y FRICCION**












Esfuerzos admisibles:

TORNILLOS A-325 Fricción = 1054 Kg/cm²Cortante = 1054 Kg/cm² Plano de corte en la cuerda.Cortante = 1546 Kg/cm² Plano de corte en la sección completa

Diám. del tornillo (mm)		Área cm ²	Fricción kg	Cortante (Kg)	
mm	Pulg.			plano de corte en la cuerda	plano de corte en la sección completa
13	1/2	1.27	1338	1338	1963
16	5/8	1.98	2087	2087	3061
19	3/4	2.85	3004	3004	4406
22	7/8	3.88	4089	4089	5998
25	1	5.06	5333	5333	7823
28	1.1/8	6.41	6756	6756	9910
32	1.1/4	7.91	8337	8337	12229
35	1.3/8	9.58	10097	10097	14811
38	1.1/2	11.39	12005	12005	17609

TORNILLOS

CARACTERISTICAS E IDENTIFICACION PARA TORNILLOS ESTRUCTURALES

ESTANDAR	Calidad	Identificación		Esfuerzo de Ruptura Mínimo en		Material
		Tornillos	Tuercas	K/cm2	PSI	
	Acero A.S.T.M. A-307 S.A.E. 2			4499	64000	
Acero A.S.T.M. 4-449 S.A.E. 5 A.S.T.M. A-325 A.S.T.M. A-354 BB	   	 	7381	105000	Acero medio en carbón o bien Baja Aleación Tratamiento Térmico	
Acero A.S.T.M. A-490 S.A.E. 8	 		10545	150000	Acero medio en carbón y con aleación Templado y Revenido	

TORNILLOS DE ALTA RESISTENCIA**A-490****RESISTENCIA AL ESFUERZO****CORTANTE Y FRICCIÓN**

Esfuerzos admisibles:

TORNILLOS A-490 Fricción = 1406 Kg/cm²Cortante = 1097 Kg/cm² Plano de corte en la cuerda.Cortante = 2250 Kg/cm² Plano de corte en la sección completa.

Diám del tornillo (mm)	Area cm ²	Fricción kg	Cortante (Kg)		
			Plano de corte en la cuerda	Plano de corte en la sección completa	
10	3/8	0.71	998	1097	1597
11	7/16	0.97	1364	1500	2182
13	1/2	1.27	1785	1963	2857
14	9/16	1.60	2249	2774	3600
16	5/8	1.98	2784	3061	4455
19	3/4	2.85	4007	4406	6412
22	7/8	3.88	5455	5998	8730
25	1	5.60	7873	8657	12600
28	1.1/8	6.41	9012	10000	14422
32	1.1/4	7.91	11121	12229	17797
35	1.3/8	9.58	13469	14811	21555
38	1.1/2	11.39	16014	17609	25627
41	1.5/8	13.38	18812	20685	30105
44	1.3/4	15.51	21807	23978	34897

ANEXO 3

ESAB

ELECTRODOS RECUBIERTOS PARA SOLDAR ACEROS AL CARBON

CLASIFICACION

(AWS) USOS Y CARACTERISTICAS	RESIST TENSION	LIMITE ELASTICO	ELONGACION	CORRIENTES OPTIMAS DE APLICACION (AMPERES) 3/32 1/8 5/32 3/16 7/32 1/4
(E6010) A5.1 ELECTRODO CELULOSICO DE PENETRACION PROFUNDA EN TODAS POSICIONES, CALIDAD RAYOS X, SE USA EN TRABAJOS ESTRUCTURALES, REPARACIONES Y UNIONES DE TUBERIAS	RT=71,000LB/PUL2	LE=62,000LB/PUL2	E=24%	60 105 155 190 CD(+)
(E6010) A 5.1 ELECTRODO CELULOSICO DISEÑADO PARA OBTENER LA MAS ALTA PENETRACION EN SOLDADURA DE TUBERIA Y RECIPIENTES SOMETIDOS A ALTA PRESION CON CALIDAD RADIOGRAFICA	RT=77,000LB/PUL2	LE=65,000LB/PUL2	E=23%	60 105 155 190 CD(+)
(E6011) A 5.1 ELECTRODO CELULOSICO DE ARCO FUERTE Y PENETRACION PROFUNDA SUELDA CON CA. Y CD. EN TODAS POSICIONES SE USA EN TRABAJOS ESTRUCTURALES, TUBERIAS, BARCOS Y REPARACIONES.	RT=73,500LB/PUL2	LE=60,000LB/PUL2	E=24%	75 105 145 175 200 245CD(+)
(E6012) A 5.1 ELECTRODO QUE SUELDA A MAS ALTAS CORRIENTES QUE LOS CELULOSICOS EN TODAS POSICIONES, SUELDA CHASSISES, TANQUES, TRAILERS, MAQUINARIA AGRICOLA Y AUTOPARTES.	RT=71,500LB/PUL2	LE=61,500LB/PUL2	E=24%	125 180 260 350 CD(-),CA
(E6013) A 5.1 ELECTRODO DE ALTO RENDIMIENTO DE FACIL APLICACION Y REMOSION DE ESCORIA, SUELDA MAQUINARIA AGRICOLA, MUEBLES METALICOS, CARROCERIAS Y REPARACIONES GENERALES.	RT=74,000LB/PUL2	LE=63,500LB/PUL2	E=22%	75 130 170 210 320 CD(-),CA

(AWS) USOS Y CARACTERISTICAS	RESIST TENSION	LIMITE ELASTICO	ELONGACION	CORRIENTES OPTIMAS DE APLICACION (AMPERES) 3/32 1/8 5/32 3/16 7/32 1/4
(7013) ELECTRODO RUTILICO DE BAJO SALPIQUE SIN SOCABADOS Y DE FACIL REMOSION DE ESCORIA, DEPOSITO, TERSO POR LO QUE SE RECOMIENDA COMO PASE FINAL POR SU EXCELENTE PRESENTACION	RT=74,000LB/PUL2	LE=62,000LB/PUL2	E=24%	85 135 170 200 300 CD,CA
(E7014)A 5.1 ELECTRODO PARA TODAS POSICIONES CON RECUBRIMIENTO DE POLVO DE HIERRO QUE PRODUCE ALTAS VELOCIDADES DE DEPOSICION Y EFICIENCIA Y FACIL REMOSIN DE ESCORIA	RT=73,000LB/PUL2	LE=61,000LB/PUL2	E=25%	85 135 180 250 375 CD(-).CA
(E7024)A 5.1 ELECTRODO PARA SOLDAR EN PLANO Y HORIZONTAL DE ALTA TASA DE REPOSICION Y GRUESO REVESTIMIENTO DE POLVO DE HIERRO, PRODUCE EXCELENTE FILETES Y PROPIEDADES MECANICAS	RT=80,000LB/PUL2	LE=72,000LB/PUL2	E=24%	160 210 270 375 CD,CA