

UNIVERSIDAD DE SONORA

**División de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil y Minas**

**“DISEÑO POR EL MÉTODO LRFD Y ASD DE
CONEXIONES A BASE DE TORNILLOS SUJETOS A
TENSIÓN PURA Y CORTANTE PURO PARA
PERFILES LAMINADOS EN FRÍO”**

DISERTACIÓN

**Que para obtener el Título de :
INGENIERO CIVIL**

**Presentan:
López Leyva Hiram
Higuera Martínez Alonso**

Hermosillo, Sonora

Mayo de 2002

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

CONTENIDO

	Pagina
1.- INTRODUCCIÓN.....	1
2.- PERFILES LAMINADOS EN FRÍO.....	2
2.1.- Definición.....	2
2.2.- Ventajas principales de los perfiles laminados en frío.....	4
2.3.- Tipos y usos de los perfiles laminados en frío.....	7
2.4.- Métodos de fabricación de perfiles laminados en frío.....	15
3.- CONEXIONES ATORNILLADAS SUJETAS A TENSIÓN PURA Y CORTANTE PURO.....	20
3.1.- Definición de términos generales.....	20
3.2.- Especificaciones aplicadas del AISI 1999 (ASD y LRFD).....	37
3.3.- Solución de problemas numéricos con ayuda de diagramas de flujo.....	59
3.4.- Problemario.....	113
4.- CONCLUSIONES.....	117
5.- BIBLIOGRAFÍA.....	118

El presente trabajo tiene como objetivo dar a conocer los procedimientos de diseño por el Método de Esfuerzos Admisibles, por sus siglas del inglés ASD ("Allowable Stress design") y Diseño por Factor de Carga y Resistencia, por sus siglas del inglés LRFD ("Load and Resistance Factor Design") de conexiones a base de tornillos sujetos a tensión y cortante puro, según las especificaciones del Instituto Americano del Hierro y Acero, por sus siglas del inglés AISI ("American Iron and Steel Institute") 1996 y su actualización en 1999.

En el desarrollo de este trabajo se presenta una definición amplia de los perfiles laminados en frío, sus ventajas principales, tipos y sus usos en la construcción, así como los métodos utilizados para su fabricación.

También se incluye información acerca de términos generales y conceptos fundamentales necesarios para la comprensión del tema, así como las especificaciones aplicables del AISI para el diseño de conexiones por el método ASD y LRFD. Con la ayuda de diagramas de flujo se resuelven problemas numéricos típicos de conexiones en perfiles laminados en frío. Así mismo, se presenta una serie de problemas prácticos sin resolver.

En las conclusiones del trabajo, se hace mención de los resultados obtenidos, aspectos que se lograron concretar, dificultades presentadas en el desarrollo del tema y sugerencias para el desarrollo de temas semejantes o relacionados con este trabajo.

2.1 Definición.

En el transcurso de los siglos, el desarrollo de los procedimientos de fabricación de los metales ha estado siempre estrechamente ligado a los progresos de la metalurgia. De una forma completamente natural, los metales dúctiles fueron los primeros que se trabajaron en frío, el oro, el plomo y el estaño han sido transformados en hojas de metal desde la antigüedad por ser dúctiles. La metalurgia del hierro tuvo mayores dificultades para desenvolverse, debido probablemente a la dificultad de reducción del mineral y a la alterabilidad del metal, sin embargo las técnicas se han ido perfeccionando al igual que su calidad.

Hoy en día el acero juega un papel de suma importancia en la construcción moderna, tal es el caso del acero estructural en el ramo de la construcción donde, para lograr estructuras ligeras y resistentes, se observa el uso de dos tipos de perfiles estructurales, los perfiles laminados en frío y los perfiles laminados en caliente. Con la combinación de estos dos tipos de perfiles se pueden obtener estructuras ligeras y resistentes haciéndolas económicamente viables. (Fig. 2.1 y 2.2).



Fig. 2.1. Centro comercial construido a base de combinación de perfiles laminados en frío y laminados en caliente.

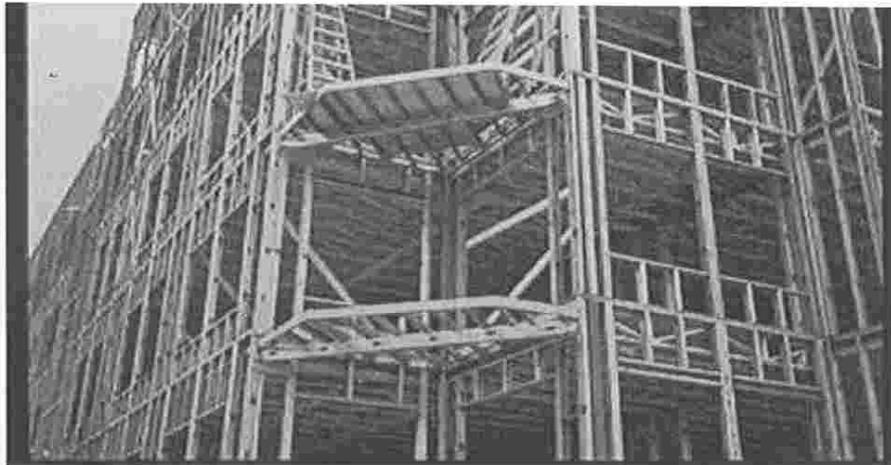


Fig. 2.2. Edificio residencial a base de combinación de perfiles laminados en frío y perfiles laminados en caliente.

Los perfiles laminados en frío son elementos estructurales formados a partir de láminas de acero y su proceso de formación se lleva a cabo a temperatura ambiente. Estos perfiles son ligeros, económicos, además de ser resistentes. El proceso de formación de los perfiles laminados en caliente por lo contrario se lleva a cabo a altas temperaturas.

Aunque ambos tipos de perfiles, laminados en frío y laminados en caliente, colaboran de manera integral para desarrollar la resistencia y rigidez de la estructura, su comportamiento individual bajo cargas suele ser significativamente diferente. En el caso de los perfiles laminados en frío se ve influido de manera determinante por los efectos del laminado en frío del material, así como por el uso predominante de elementos esbeltos (espesores típicos de 0.4 mm hasta 6.4 mm). El Instituto Americano del Hierro y Acero (AISI) se ha preocupado por publicar especificaciones para el diseño de perfiles laminados en frío, su última edición la presentó en 1996, actualizándola en 1999.

La capacidad de carga de los perfiles laminados en frío depende del material constitutivo y de su configuración geométrica. Una lámina delgada de acero no puede soportar una carga considerable, pero si esta se dobla, formando un perfil estructural, los dobleces actúan como atezadores, incrementando considerablemente la capacidad de carga de la lámina original. Debido a que gran parte de la resistencia y rigidez de la sección depende de su configuración y no de su espesor, las relaciones de resistencia-peso pueden llegar a ser muy favorables.

Las ventajas que ofrecen los perfiles laminados en frío son:

- a). En comparación con los perfiles laminados en caliente, que son más pesados, los perfiles laminados en frío son más económicos para cargas livianas y claros cortos.
- b). Se pueden producir económicamente secciones con configuraciones poco comunes para amoldarse a condiciones de uso muy particulares sin incremento en peso propio, obteniendo una relación resistencia-peso más favorable. Esto da como resultado reducciones considerable en peso por metro cuadrado de estructura, y en consecuencia un ahorro en material.
- c). Economía en el manejo y transporte. La ligereza de los perfiles reduce los costos de flete y evita el uso de grúas pesadas en las maniobras de descarga y almacenaje. Además la mayoría de los perfiles se pueden estibar logrando empaques compactos para su transporte (ver Fig. 2.3 y 2.4).

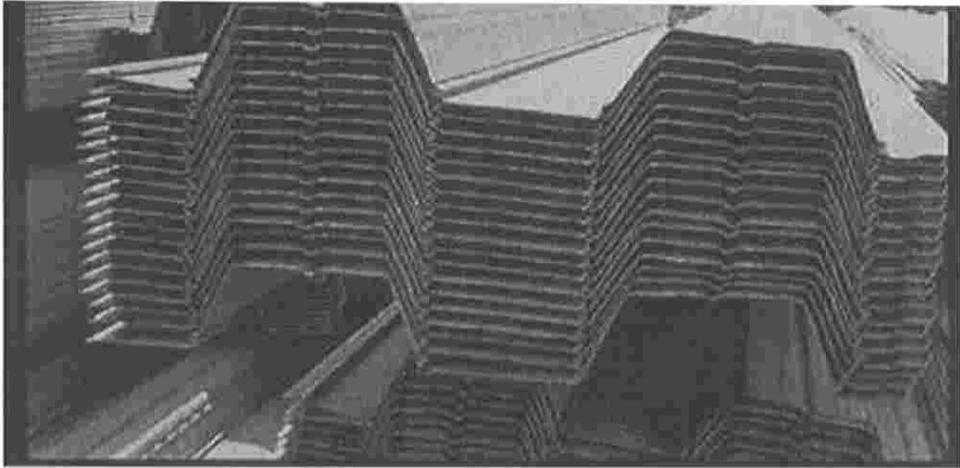


Fig. 2.3. Estibado de lámina galvanizada.

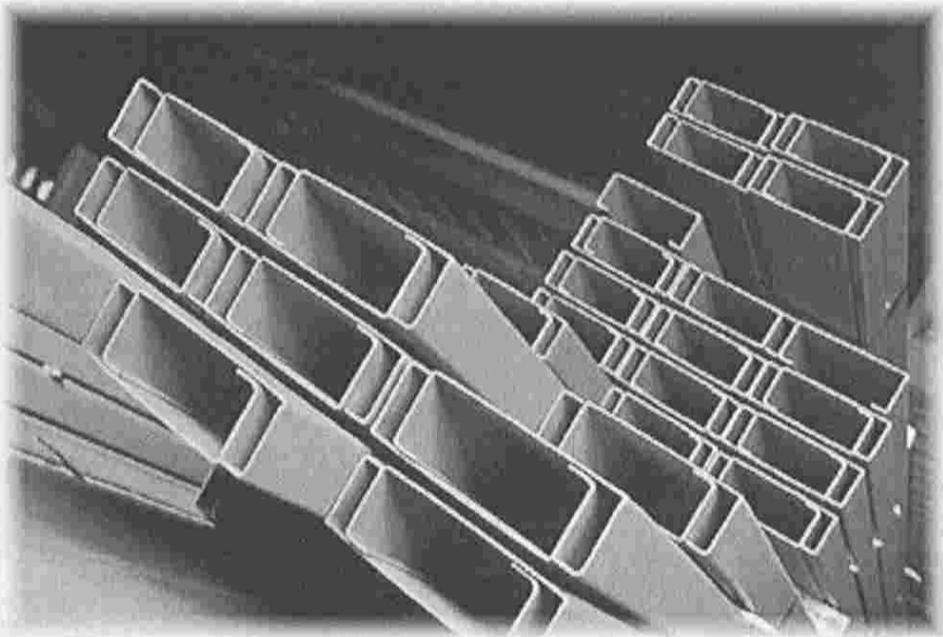


Fig. 2.4. Estibado de polinería.

d). Producción en masa y control de calidad. Como los procesos de laminado en frío se realizan con maquinaria automatizada de producción en serie, los costos se minimizan y la calidad de producción es consistente. Esto permite minimizar la variabilidad de las propiedades geométricas y del material, obteniendo una mayor confiabilidad y precisión en la predicción del comportamiento estructural.

prefabricados está basada prácticamente en el uso de perfiles laminados en frío. Se puede fabricar en taller y a la medida necesaria, la polinería de cubierta y muros con todo los barrenos para la tornillería. Así mismo se pueden prefabricar sistemas de panel de muro a base de dos caras de lámina corrugada con aislamiento térmico integrado. Todo esto permite minimizar los trabajos de habilitado en campo y mantener un mejor control de calidad de la construcción. (Fig. 2.5).



Fig. 2.5. Habilitado de perfiles en taller.

f). El uso de láminas corrugadas en sistemas de piso y cubierta provee una capacidad de carga aceptable que permite su uso como plataformas para los trabajos de construcción de dichos sistemas (Fig. 2.6). Por ejemplo las láminas usadas como refuerzo primario para losas aligeradas de concreto (conocidas como Decks) pueden resistir sin problemas los procesos de coiado, si se evitan las acumulaciones excesivas de concreto durante el proceso de colocación. De esta forma en la cimbra se puede reducir el uso de puntales en vigas y decks.

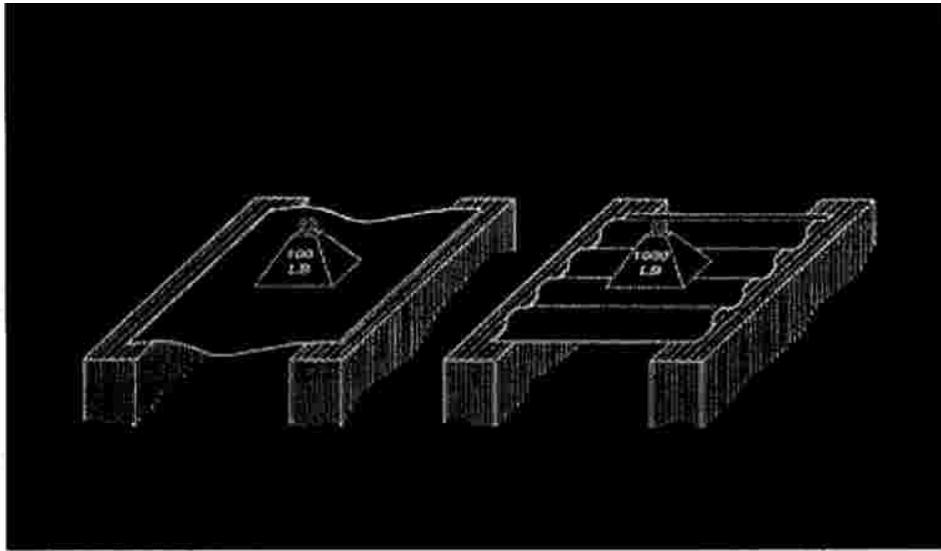


Fig. 2.6. Capacidad de carga de acuerdo a geometría del material.

g). Facilidad de montaje. La ligereza del material, el prehabilitado en taller de cortes y barrenos, así como la simplicidad típica de las conexiones usadas permiten acelerar el proceso de montaje.

h). Durabilidad. El acero laminado en frío no se contrae, no presenta flujo plástico y no es susceptible al ataque de termitas. El uso de pinturas anticorrosivas aplicadas en taller o el uso de galvanizados minimiza los problemas de corrosión. El acero no propaga el fuego y puede recibir recubrimientos adicionales a prueba de fuego.

2.3 Tipos y usos de perfiles laminados en frío.

Existen dos grupos principales de perfiles laminados en frío: los miembros estructurales individuales y los paneles y decks.

2.3.1 Miembros estructurales individuales. Los perfiles comúnmente usados en arreglos estructurales típicos son los perfiles "C" o canal, los perfiles "Z", los angulares, los perfiles "sombbrero", los perfiles "I", y los perfiles tubulares. La figura 2.7 muestra los tipos de perfiles utilizados comúnmente.

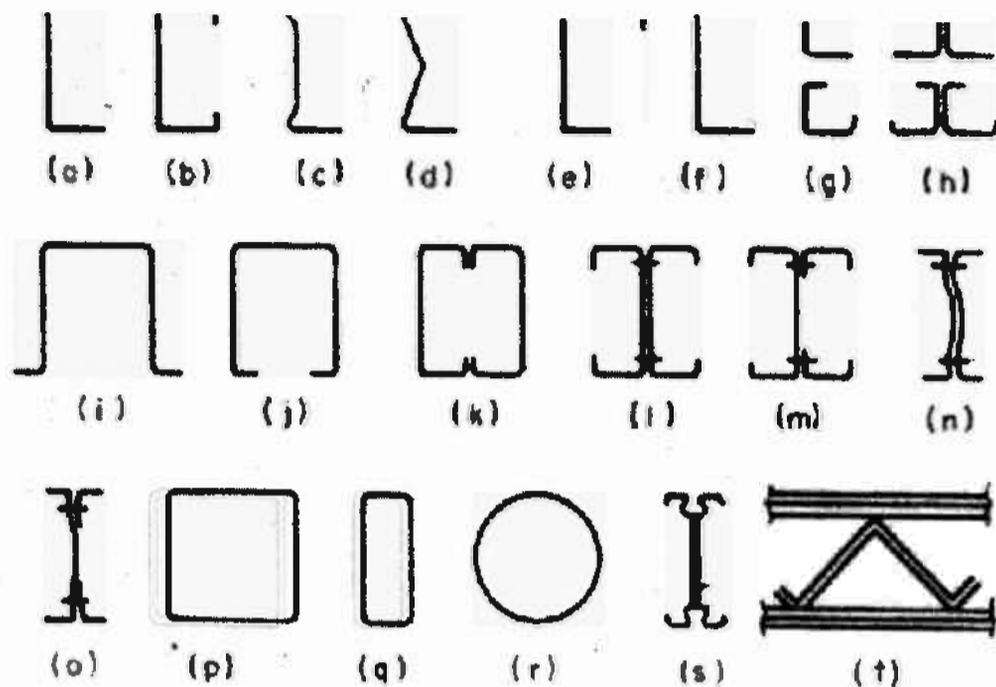


Fig. 2.7. Tipos de perfiles utilizados comúnmente.

En el mercado actual existe una amplia variedad de perfiles y las dimensiones típicas de estos pueden variar de 2 a 12 pulg. (51 a 305 mm) de peralte y de 0.048 a 0.25 pulg. (1.2 a 6.4 mm) de espesor, sin embargo se producen en la actualidad perfiles con peralte de hasta 18 pulg. (457 mm) y los espesores pueden llegar a 0.5 pulg. (13 mm).

Los miembros estructurales pueden clasificarse en miembros primarios y secundarios, dependiendo de su importancia en la preservación de la integridad estructural. En general, se consideran miembros primarios las trabes y columnas que forman los marcos principales de la estructura, y miembros secundarios a los polines, contravientos, contraflambeos (sag-rods), láminas de cubierta y muros, etc. Se han usado perfiles laminados en frío como elementos primarios en edificios de baja altura de uno a tres niveles (ver Fig. 2.8). En edificios industriales con claros libres considerables, los elementos principales son típicamente perfiles laminados en caliente y los elementos secundarios son típicamente perfiles

los perfiles laminados en frío trabajan en colaboración, aprovechando las ventajas de ambos para producir un diseño integral económico.

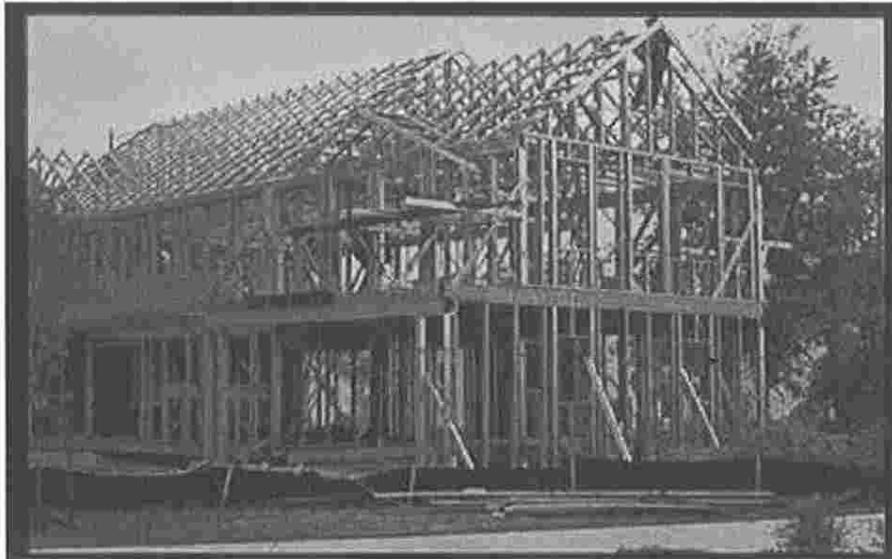


Fig. 2.8. Elementos primarios a base de perfiles laminados en frío en un edificio residencial de baja altura.

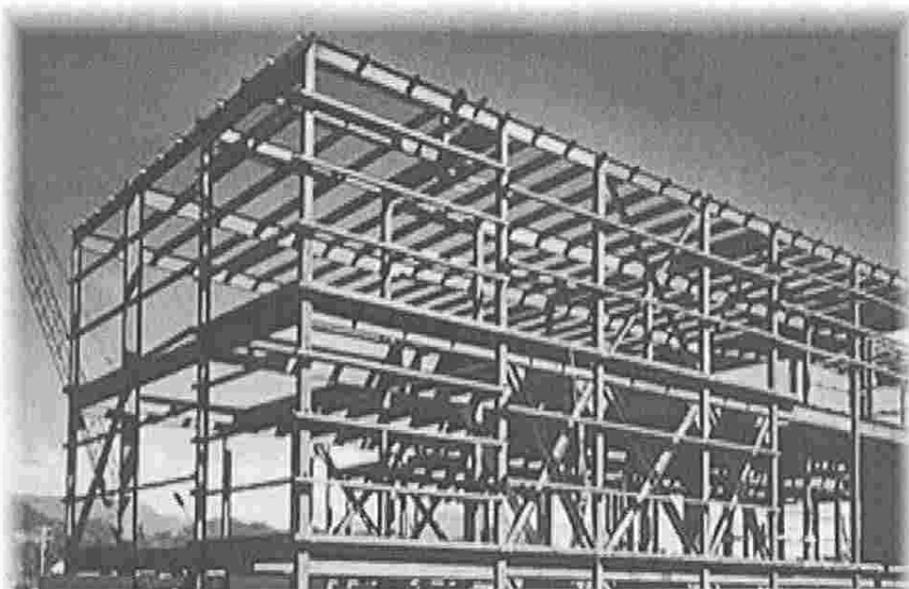


Fig. 2.9. Combinación de perfiles laminados en caliente y perfiles laminados en frío en un edificio industrial de mayor altura.

mas común. Estos agujeros son realizados por el fabricante con dimensiones y espaciamientos estandarizados. Los agujeros son convenientes para paso de instalaciones que están ocultas en pisos y muros (ver Fig. 2.10). En el caso de perfiles para formar estantes industriales o "racks", los agujeros se usan para efectos de ensamble (ver Fig. 2.11).



Fig. 2.10. Instalación de perfiles con agujeros.

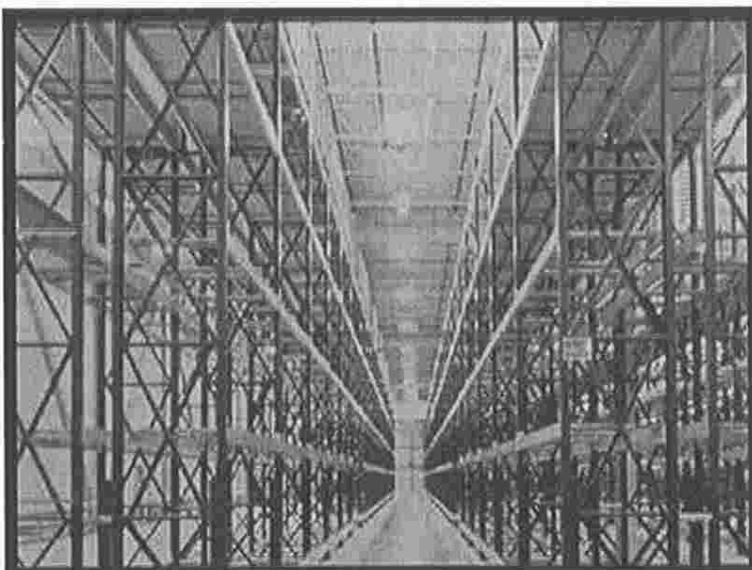


Fig. 2.11. Estantes Industriales (racks).

y diagonales de estructuras modelicas y estructuras principales en cubiertas cilíndricas. (ver Fig. 2.12 y Fig. 2.13).



Fig. 2.12. Estructura triodética a base de perfiles laminados en frío.



Fig. 2.13. Cubierta cilíndrica.

Las dimensiones típicas de paneles y decks varían de 1.5 a 7.5 pulg. (38 a 191 mm) de peralte y de 0.018 a 0.075 pulg. (0.5 a 1.9 mm) de espesor. En láminas corrugadas las distancias típicas entre centros de valle de corrugaciones son de 1.5 a 3 pulg. (38 a 76 mm) y los peraltes varían de 0.25 a 1.0 pulg. (6.4 a 25 mm). (Fig. 2.14).

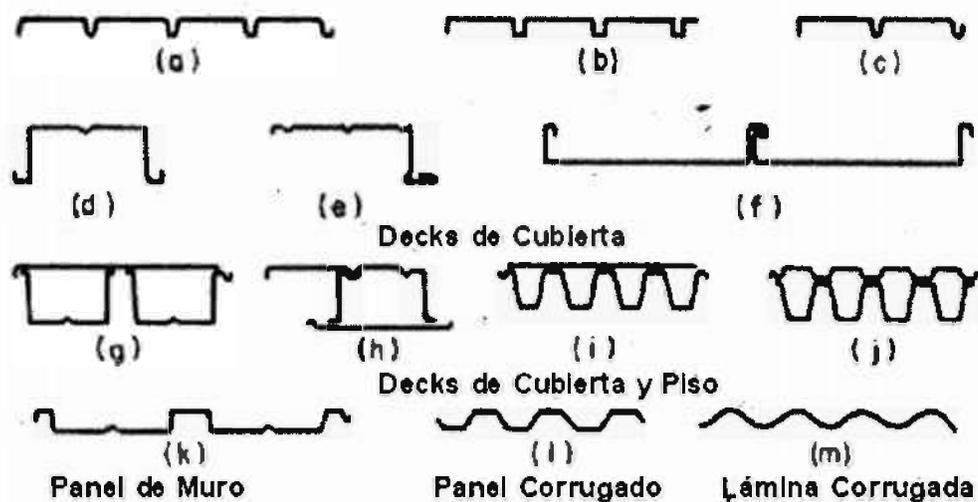


Fig. 2.14. Diferentes tipos de paneles y decks.

Estos perfiles aparte de resistir cargas, también pueden servir como plataformas de trabajo para colar pisos. En estos casos el deck trabaja como esfuerzo primario a flexión para sistemas de piso de concreto como lo muestra la Fig. 2.15.



Fig. 2.15. Deck utilizado como plataforma para colar piso.

En el caso de decks para cubiertas, se han desarrollado sistemas a base de hipérbolas paraboloides de láminas cilíndricas, láminas dobladas y láminas engargoladas con costuras sobresalientes. Los sistemas a base de hipérbolas, láminas dobladas y algunas láminas cilíndricas se pueden diseñar para trabajar como membranas o cascarones. Es decir pueden transmitir las cargas de la cubierta directamente a los apoyos (columnas, muros, cimentación, etc.) sin necesidad de una estructura principal (marcos, armaduras) o secundaria (polinería), como podemos observar en la Fig. 2.16.

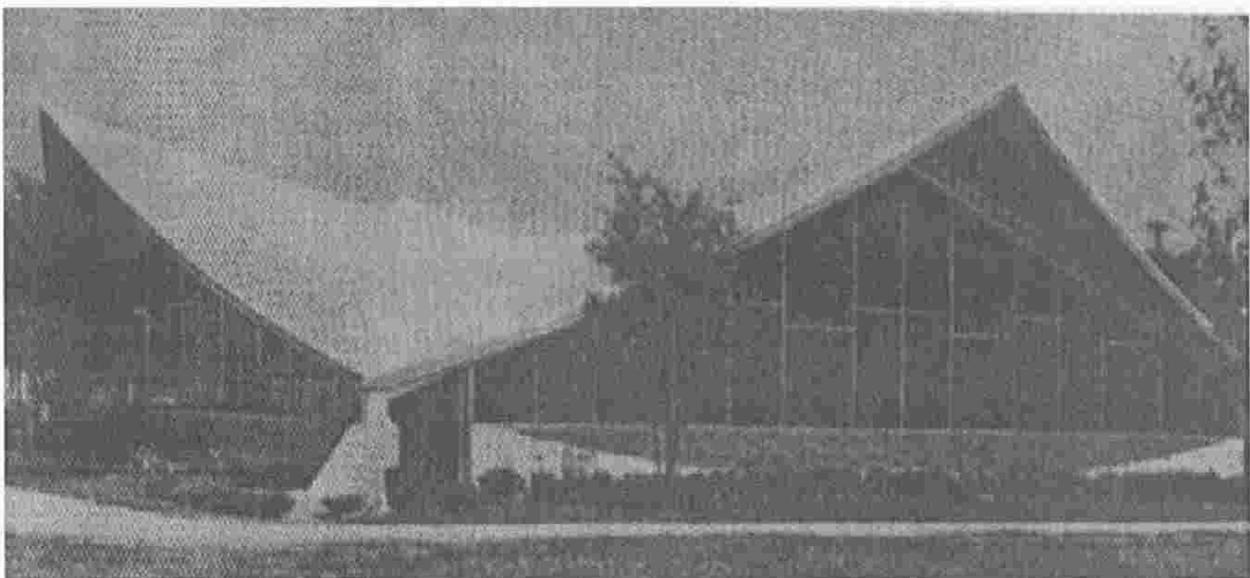


Fig. 2.16. Cubierta a base de sistema de hipérbola paraboloides.

de los edificios (ver Fig. 2.17), o parcialmente a partir de una cierta altura. La parte inicial del muro puede ser de otro material más durable y que resista mejor el impacto, como el concreto, block o ladrillo (ver Fig. 2.18). Este tipo de muros se usa comúnmente en edificios de manufactura, donde el constante tráfico de montacargas y el continuo contacto del personal pueden generar serios problemas de mantenimiento para muros de lámina que inician desde el piso.

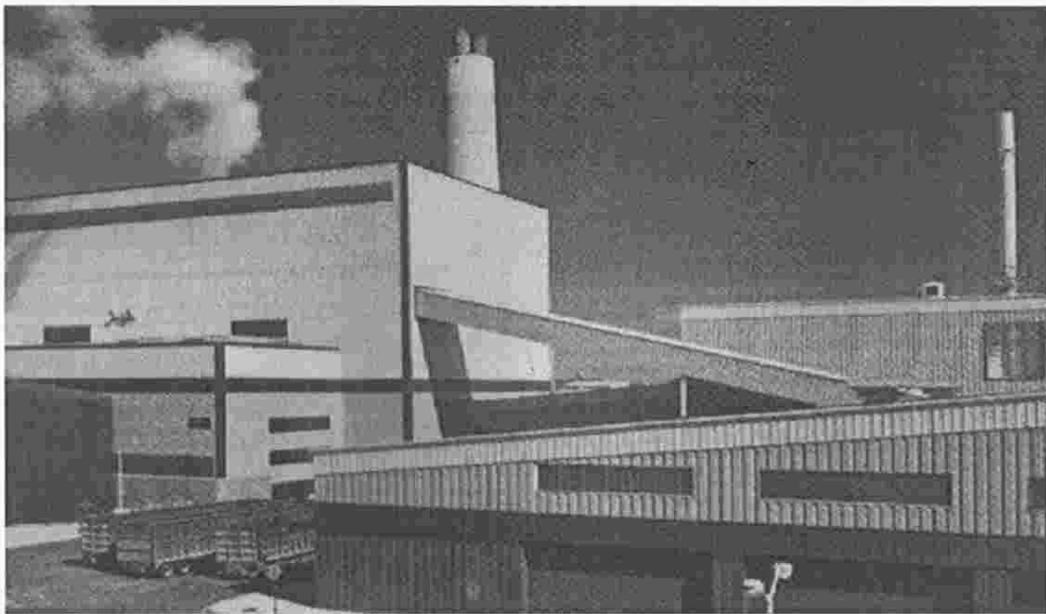


Fig. 2.17. Nave industrial cubierta en su totalidad con lámina.

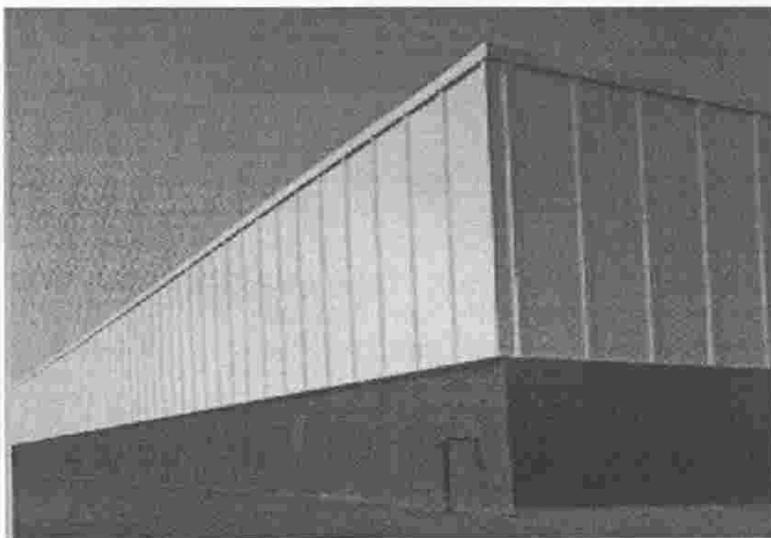


Fig. 2.18. Nave cubierta parcialmente con lámina y muros de block.

de elementos de fibra de vidrio que se instala en la parte interior de la lámina, o del tipo rígido que se instala en medio de dos láminas para formar un panel tipo "sándwich" (ver Fig. 2.19).

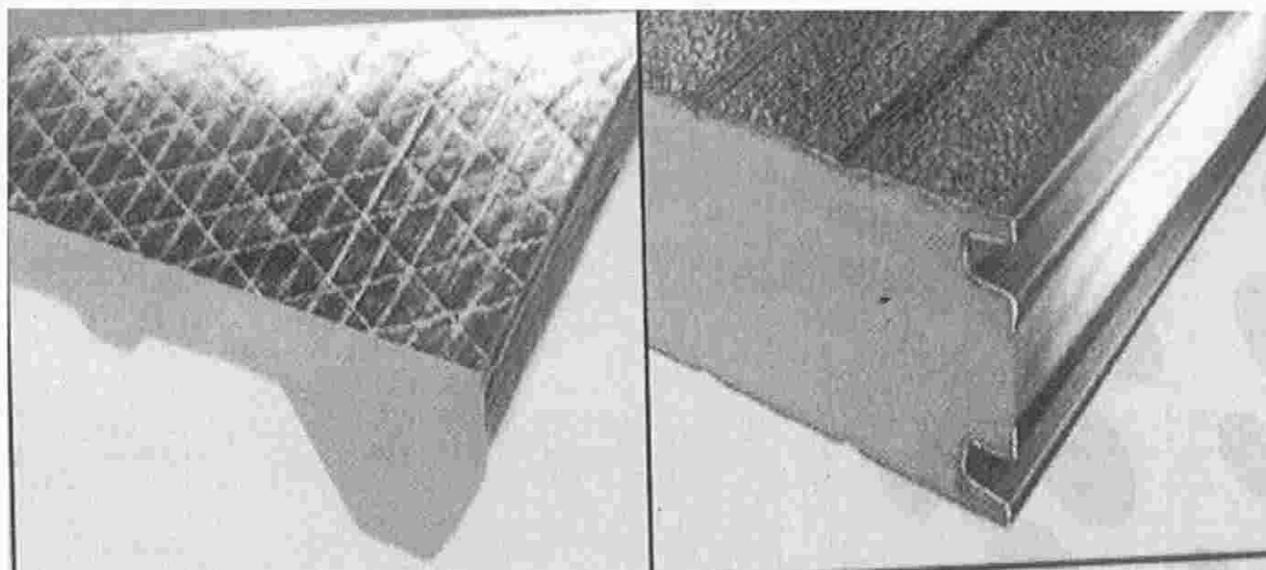


Fig. 2.19. Panel de lámina tipo "sándwich".

2.4 Métodos de laminado en frío.

Existen básicamente dos tipos de laminados en frío: el método de la prensa y el método de rolado. A continuación se presentan ambos métodos.

2.4.1 Método de la Prensa. Este método consiste en el uso de una prensa donde la longitud de las plantillas o moldes es mucho mayor que el ancho. La plantilla usualmente se coloca en una cama estacionaria, y la prensa baja sobre la lámina hasta formar la geometría indicada en la plantilla, aunque existen casos donde una parte de la plantilla se coloca sobre la prensa. Secciones simples como perfiles "C", "Z" y angulares se pueden formar con el método de prensa a partir de láminas, barras, placas o cintas en no más de dos movimientos de la prensa. Sin embargo perfiles mas complicados pueden requerir de varias operaciones. La figura 2.20 y 2.21 nos muestra el laminado en frío por el método de la prensa.

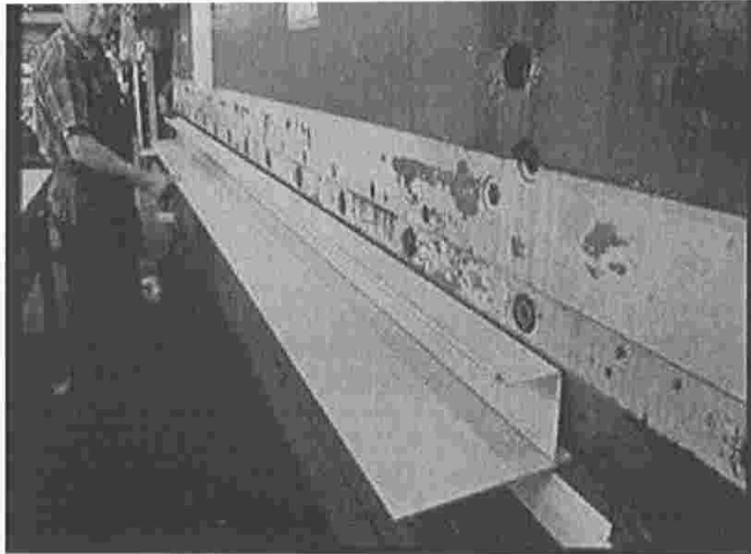


Fig. 2.20. Formado de un perfil por el método de prensa.

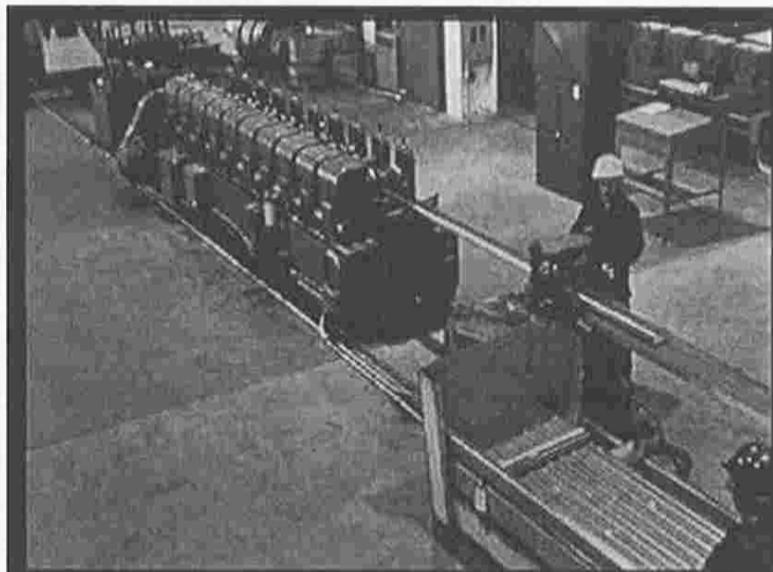


Fig. 2.21. Prensa para laminar perfiles en frío.

El método de la Prensa resulta económico si se cumplen las siguientes condiciones:

- a). La sección tiene una configuración sencilla que no requiera más de dos movimientos de la prensa para su formación definitiva.
- b). La cantidad de producción requerida es menor de 92 metros por minuto.

puigauas). Por ejemplo, secciones para decks y paneles.

2.4.2 Método de Rolado. En este método el acero se alimenta longitudinalmente a través de una serie de rodillos, cada uno de los cuales dobla progresivamente la lámina hasta alcanzar la configuración deseada. Una sección sencilla puede requerir de seis pares de rodillos, pero una sección complicada puede requerir de 15 a 20 pares. Los rodillos usualmente están hechos de acero endurecido y pueden ser colocados en disposición vertical y horizontal. La mayoría de las máquinas de rolado usan una combinación de ambas disposiciones.

Usualmente las máquinas de rolado tienen disponibles sets de rodillos para secciones estándar como las secciones "C" y "Z". Normalmente el fabricante debe cambiar el set cada vez que quiera cambiar de sección a producir. Esto puede tomar varios días por lo que el fabricante deberá de tomar en cuenta el volumen de producción requerido para minimizar el impacto de los costos de montaje del set de rodillos correspondientes sobre el costo por pieza producida (ver Fig. 2.22 y 2.23).

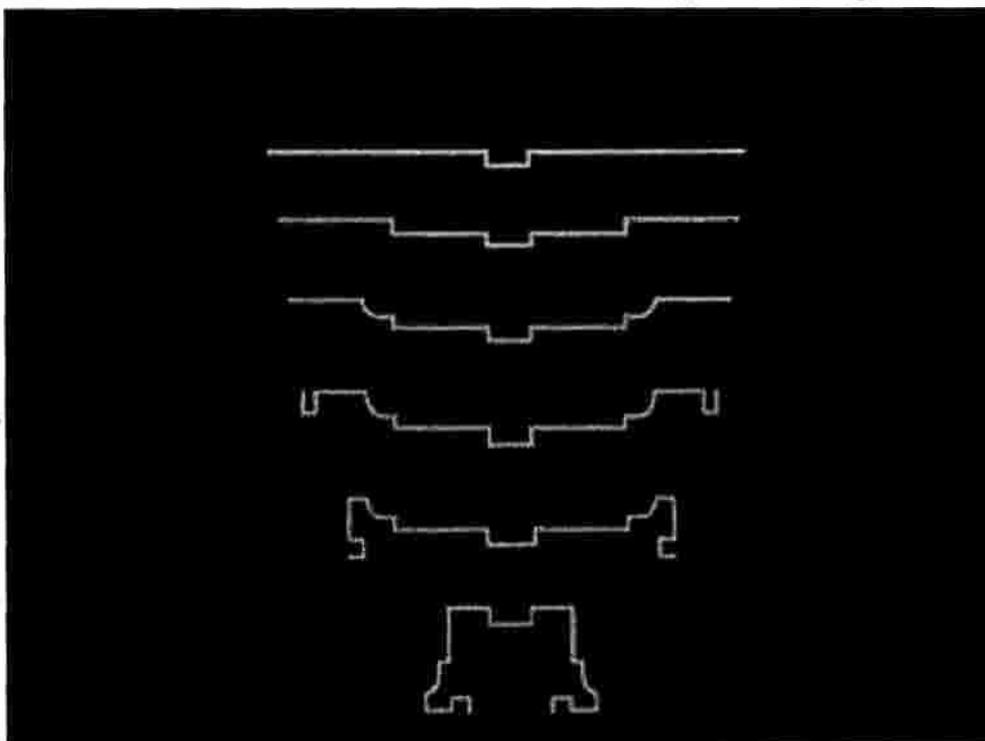


Fig. 2.22. Proceso de rolado de un perfil.

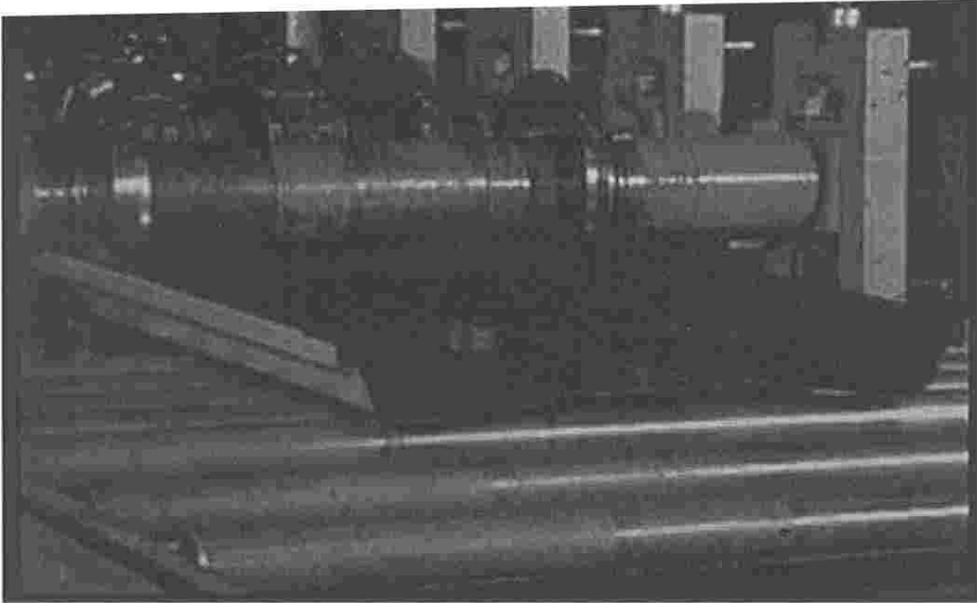


Fig. 2.23. Rodillos de una maquina roladora.

Una de las ventajas principales del método de rolado es que el acero puede ser alimentado a través de carretes de hasta 96 pulg. (244 mm) de ancho y 3000 pies (915 mt) de longitud, lo cual acelera el proceso significativamente (Fig. 2.24).

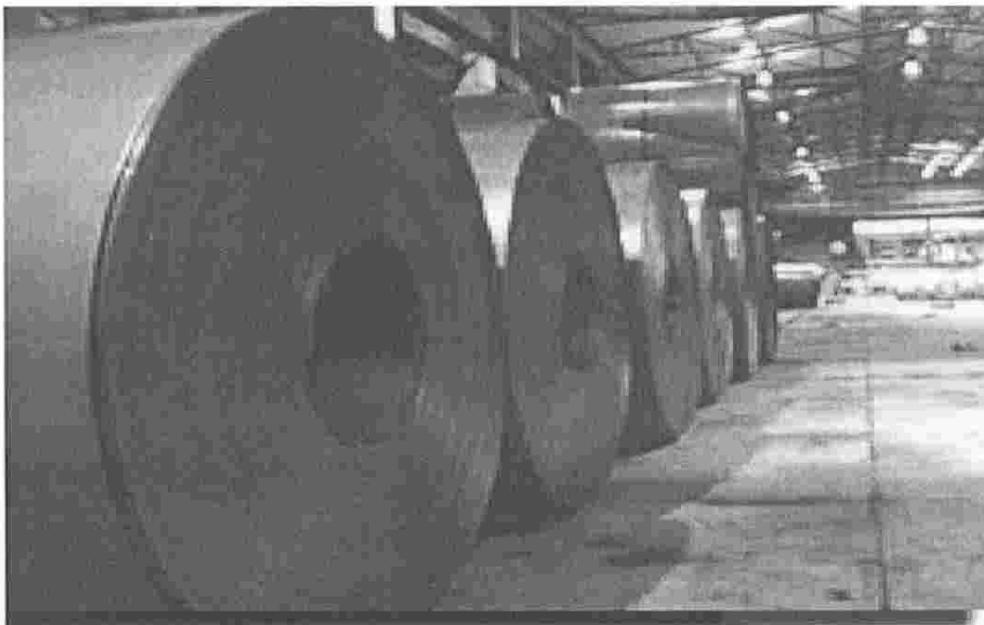


Fig. 2.24. Rollos de lámina de acero utilizados en el rolado.

velocidad usual es de 23 a 46 metros/min. En el extremo de acabado, la sección terminada usualmente se corta a la longitud requerida por una máquina de corte automática. Las longitudes máximas de corte en fábrica varían de 6 a 12 metros, aunque estas pueden variar.

En el método de rolado se permiten tolerancias, las cuales están en función del tamaño, tipo de sección y espesor del material. La industria toma por estándar los siguientes límites:

- Longitud de pieza, usando máquina automática de corte: $\pm 1/16$ a $1/8$ pulg. (0.4 a 3.2 mm).
- Rectitud o Torcedura: $\pm 1/16$ a $1/8$ pulg. (0.4 a 3.2 mm) en 10 pies (3 metros).
- Dimensiones de la Sección:
 - Fraccional: $\pm 1/64$ a $1/16$ pulg. (0.4 a 1.6 mm).
 - Decimal: ± 0.005 a 0.015 pulg. (0.1 a 0.4 mm).
- Ángulos: ± 1 a 2 grados.

CORTANTE PURO.

3.1 Definición de términos generales y conceptos fundamentales.

3.1.1 Método LRFD. El método LRFD está basado en el criterio de estados límites, es por esto que también se le conoce como método de diseño por estados límites o LSD (por sus siglas del inglés: "Limit States Design"). Un estado límite define la condición ante la cual un elemento o miembro estructural bajo carga se ve afectado a tal grado que deja de ser seguro para los ocupantes de la estructura, o dicho elemento deja de desarrollar la función para la cual se diseñó.

Entre los estados límites comunes en perfiles laminados en frío se incluye, el alcanzar la resistencia por fluencia, por pandeo, por postpandeo, desarrollar deformaciones o vibraciones excesivas, etc. Estos estados límites se han establecidos ya sea por experiencia en la práctica profesional o en experimentos de laboratorio y una vez investigados extensamente, han sido documentados en la literatura especializada.

Los estados límites establecidos por el método LRFD son:

- a). *Estado Límite de Falla.* Define el alcance de la resistencia de un elemento estructural bajo cargas extremas.
- b). *Estado Límite de Servicio.* Define el alcance del límite de la habilidad de un elemento estructural a desarrollar la función para la cual fue diseñado.

Los estados límites de falla son aquellos asociados con el colapso de una estructura o con otro modo de falla, que pone en peligro la vida humana.

Los estados límites de falla, que deben considerarse, incluyen:

- a).- Pérdida de equilibrio de la estructura o parte de ella, considerada como cuerpo rígido.
- b).- Pérdida de la capacidad de carga, debido a rotura, inestabilidad, fatiga u otro estado límite que pueda definir la resistencia de la estructura.

Los estados límites de servicio corresponden a estados más allá de los cuales dejan de ser satisfechos los criterios de funcionalidad especificados en el proyecto. Estos incluyen:

- c).- Deformaciones o flechas que pueden afectar la apariencia o el uso efectivo de la estructura (incluyendo el mal funcionamiento de máquinas o servicios) o que pueden causar daño a los elementos de acabados o no estructurales.
- d).- Vibraciones que pueden causar molestias a la gente, daño al edificio o a su contenido o bien limita su eficacia funcional.

En general, un elemento estructural tendrá diferentes estados límites. Para una viga, por ejemplo: la resistencia a la flexión, el pandeo lateral, la resistencia al corte, la deformación vertical, etc. Cada estado límite está asociado a un valor de resistencia nominal R_n , la cual define los límites de la aplicación estructural de un elemento.

3.1.1.1 Formato general de LRFD. El método LRFD, según especificaciones del AISI 1996, puede ser expresado condensadamente mediante la expresión:

$$\sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n \quad \text{Ec. (3.1)}$$

resistencia de distintos efectos (de la misma índole) debido a las cargas Q_i , multiplicado por sus respectivos factores de carga γ_i . La resistencia de cálculo (Estado límite de falla o de servicio) en el lado derecho es igual a la resistencia nominal o resistencia R_n (basada en las propiedades nominales del material y de la sección), multiplicada por un factor de resistencia ϕ . Los valores de ϕ y R_n para columnas, vigas, etc. se obtienen de las especificaciones de LRFD. El producto ϕR_n representa, dicho de otro modo, la resistencia de diseño que provee el componente estructural considerado.

Fundamentos de LRFD:

El método LRFD está basado en:

- a).- Un método probabilístico.
- b).- Una calibración del nuevo criterio con respecto al método ASD.
- c).- La evaluación de los criterios resultantes mediante el análisis de estudios comparativos de estructuras representativas.

Una de las características del método probabilístico utilizado en el desarrollo de la LRFD es que, seleccionando diversos factores de carga γ_i y resistencia ϕ , las variaciones de β (índice de confiabilidad o seguridad) pueden ser reducidas a valores específicos predeterminados. El índice de confiabilidad es una medida relativa de la seguridad del diseño. Cuando se comparan dos diseños, el diseño que tenga el mayor valor de β será el más confiable. El concepto de β ha sido usado para determinar la confiabilidad relativa inherente en los procedimientos de diseño existentes.

Una manera usada para representar las distribuciones de probabilidad de Q y R se ilustra en la Fig. 3.1. En este caso, se excede un estado límite cuando $I_n(R/Q) \leq 0$ y el área sombreada bajo $I_n(R/Q) \leq 0$ equivalen a la probabilidad de exceder dicho estado límite. El tamaño de esta área depende de la distancia entre

Q_m , σ_R (desviación estándar de R), σ_Q (desviación estándar de Q), el área bajo $I_n(R/Q) \leq 0$ puede ser modificada cambiando el valor de β (ver Fig. 3.1), ya que $\beta \sigma_n(R/Q) = I_n(R/Q)_m$ de donde se puede aproximar el siguiente valor para β :

$$\beta = I_n(R_m/Q_m) / \left(\sqrt{V_R^2 + V_Q^2} \right) \quad \text{Ec. (3.2)}$$

Donde:

- R_m = Valor medio de la resistencia.
- Q_m = valor medio del efecto de cargas.
 $= R_n(P_m M_m F_m)$.
- V_R = coeficiente de variación de la resistencia = σ_R / R_m
 $= (V_P^2 + V_M^2 + V_F^2)^{1/2}$
- V_Q = coeficiente de variación del efecto de cargas = σ_Q / Q_m .
- P_m = relación media entre el valor de la carga última determinada experimentalmente con respecto a la carga última teórica de un espécimen de laboratorio.
- M_m = relación media entre las propiedades materiales probadas con respecto a los valores mínimos especificados.
- F_m = relación media de las propiedades de sección reales con respecto a los valores nominales.
- V_P = coeficiente de variación de la relación P .
- V_M = coeficiente de variación de la relación M .
- V_F = coeficiente de variación de la relación F .

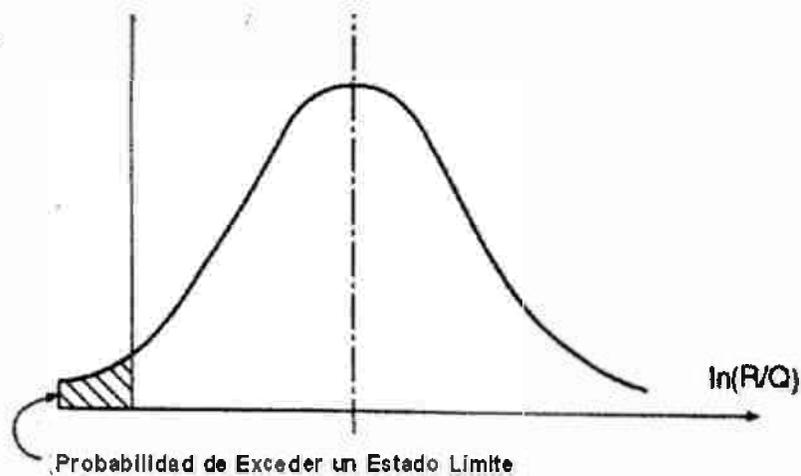


Fig. 3.1. Definición del índice de confiabilidad.

Basado en diversas investigaciones, para LRFD fueron seleccionados los siguientes valores de β :

- ◆ Para carga permanente + sobrecarga útil y/o nieve, $\beta = 3.0$ en barras y $\beta = 4.5$ para conexiones.
- ◆ Para carga permanente + sobrecarga útil + viento, $\beta = 2.5$ para barras.
- ◆ Para carga permanente + sobrecarga útil + sismo, $\beta = 1.75$ para barras.

El mayor valor de $\beta = 4.5$ para uniones refleja el hecho de que se espera que las uniones sean más fuertes que los miembros estructurales que unen.

3.1.1.2 Factores de carga γ_i . De acuerdo a LRFD, la expresión $\sum \gamma_i Q_i$ es el máximo (en valor absoluto) de las combinaciones siguientes:

- a). $1.4D$
- b). $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$
- c). $1.2D + 1.6(L_r \text{ o } S \text{ o } R) + (0.5L \text{ o } 0.08W)$
- d). $1.2D + 1.3W + 0.5L(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$
- e). $1.2D + 1.5E + (0.5L \text{ o } 0.2S)$
- f). $0.9D - (1.3W \text{ o } 1.5E)$

D = Carga muerta que consiste en:

- a).- Peso propio del elemento
- b).- Peso del material de construcción.
- c).- Peso del equipo permanente.

E = Carga sísmica.

W = Carga de viento.

L = Carga viva de azotea o cubierta.

S = Carga debido a acumulación de nieve.

R = Carga debido a lluvia.

L = Carga viva debido al uso deseado del edificio.

Los factores de carga de LRFD están basados en valores estadísticos de las cargas. Siendo estos independientes del material y son aplicables a estructuras de cualquier tipo.

3.1.1.3 Factores de Resistencia. Los factores de resistencia son en general menores a la unidad y tienen en cuenta:

- a). La variación de la resistencia del material (F_y) y el módulo de elasticidad (E).
- b). Las incertidumbres relacionadas con la fabricación, incluyendo las variaciones en las propiedades geométricas producidas por el laminado, tolerancias de fabricación y de soldadura, distorsiones iniciales, efectos producidos en el montaje, etc.
- c). Las incertidumbres de las hipótesis utilizadas al determinar la resistencia a partir de los modelos de cálculo. Estas incertidumbres pueden ser el resultado del uso de aproximaciones en lugar de fórmulas teóricas exactas y de hipótesis tales como elasticidad perfecta, plasticidad perfecta, homogeneidad, etc.

Los factores de resistencia ϕ para cada resistencia fueron determinados a partir de numerosos datos de ensayo. Cuanto mayor es la dispersión en los datos para una resistencia dada, el valor del factor ϕ debe ser menor, esto con el fin de obtener una confiabilidad uniforme.

Los siguientes son algunos de los factores de resistencia representativos de LRFD, para elementos estructurales:

$\phi = 0.90$ para fluencia en tensión.

$\phi = 0.75$ para rotura en tensión.

$\phi = 0.85$ para compresión.

$\phi = 0.90$ para flexión.

$\phi = 0.90$ para fluencia por corte.

3.1.2 Método ASD. El método de esfuerzos admisibles ASD puede ser representado mediante la ecuación:

$$\sum Q_i \leq R_n / FS \quad \text{Ec. (3.3)}$$

El lado izquierdo se denomina resistencia requerida, y es la sumatoria de los efectos Q_i de igual índole debido a las causas (cargas, variaciones, temperatura, etc.) y sus combinaciones, determinados mediante un procedimiento de análisis estructural. El lado derecho representa la resistencia del cálculo (o de diseño) y es la resistencia nominal R_n o resistencia que provee el elemento o unión (capacidad resistente a la flexión, esfuerzo axial, corte, etc.) con su estado límite claramente definido, dividido por un factor de seguridad FS .

Cuando se dividen ambos miembros de la ecuación por una característica geométrica adecuada (por ejemplo: áreas o módulos de la sección), el lado

combinaciones que se desarrolla en términos de la izquierda tomando como base la AISC (ASD), $\sum Q_i$ será el máximo valor absoluto de las siguientes combinaciones:

$$D+L'$$

$$(D+L'+W).0.75$$

$$(D+L'+E).0.75$$

$$D-W$$

$$D-E$$

En las cuales D , L' , W y E son respectivamente los efectos de las cargas muertas o permanentes, vivas o sobrecargas útiles, cargas accidentales de viento y sismo; la carga viva total es:

$$L = L + (L_r \text{ o } S \text{ o } R)$$

L = carga viva debida a la ocupación y equipos movibles.

L_r = carga viva de cubierta.

S = carga de nieve.

R = carga nominal debida a lluvia inicial o hielo producida por el efecto exclusivo del estancamiento o encharcado.

3.1.3 Diferencias entre los métodos LRFD y ASD. El método LRFD utiliza factores separados para cada carga y para cada tipo de resistencia. Para establecer esos factores apropiados fue necesario realizar una considerable cantidad de investigaciones. Mediante este método es posible lograr una confiabilidad más uniforme, porque los diferentes factores (de carga y resistencia) mencionados, reflejan el grado de incertidumbre de las diferentes cargas y de sus combinaciones y de la exactitud del tipo de resistencia pronosticada.

uso de cargas de trabajo (de valores nominales fijados por los códigos) no factorizadas, con la adopción simultánea de un coeficiente o factor único de seguridad (FS) aplicado a la resistencia nominal (media o característica).

Debido a la gran variabilidad y por lo tanto a lo impredecible de las cargas vivas y de las cargas accidentales en comparación con las cargas permanentes, sumado a los valores distintos de los coeficientes de variación (que indican la dispersión de los resultados) que presentan las diversas resistencias nominales que corresponden a cada sollicitación, no resulta posible mediante este método obtener una confiabilidad uniforme para toda la estructura.

El concepto del estado límite no es de uso exclusivo de LRFD. En ASD, la ecuación fundamental de diseño, define un estado límite de resistencia (permisible). En el caso de los estados límite de servicio, la sección A8 del AISI de 1996, no establece diferencias entre los métodos ASD y LRFD.

Es evidente que el método LRFD representa un avance notable sobre el ASD, ya que permite tomar en cuenta en el diseño los diversos grados de incertidumbre y variabilidad en la estimación de resistencias y cargas. El método LRFD, permite el reconocimiento explícito en las ecuaciones de diseño del grado de incertidumbre y variabilidad en las cargas al prescribir factores de carga diferentes para cargas muertas, vivas, sísmicas y de viento. Inclusive prescribe valores distintos para los factores de carga, dependiendo de la combinación de carga considerada, permitiendo establecer un modelo de carga más realista. Así mismo, el método LRFD puede considerar el grado de predicción de los diversos modelos analíticos usados para calcular la resistencia, al prescribir factores de resistencia menores a los modelos que exhiben predicciones más consistentes. Otro avance importante del método LRFD sobre el ASD es la incorporación de modelos probabilísticos que permiten obtener una confiabilidad más consistente

El sistema que se que puede proveer a AOB.

3.1.4 Tipos de conexiones. En las conexiones de acero laminado en frío se usa generalmente la soldadura, los tornillos, los remaches fríos, las pijas, la costura de metal y los adhesivos. La Sección E del AISI 1996 solo considera conexiones a base de soldadura, tornillos y pijas. Para efecto de este trabajo se considerará el diseño de conexiones a base de tornillos.

Tradicionalmente se han usado las conexiones atornilladas y soldadas para unir miembros estructurales de acero. Las conexiones atornilladas requieren del habilitado previo de agujeros en los miembros a conectar para la colocación de tornillos. El tornillo estructural típico es el tornillo de alta resistencia que consiste normalmente de una cabeza hexagonal con vástago roscado para recibir una tuerca. Las conexiones soldadas requieren de procedimientos estandarizados de aplicación de calor para fundir los extremos de los miembros a conectar, formando una unión homogénea.

Las pijas son similares a los tornillos, excepto que son más pequeñas y no requieren de tuercas para apretar la conexión. Algunas pijas son auto taladrantes, por lo que no requieren de la fabricación previa de agujeros, ya que dicho agujero lo fabrica la misma pija durante la instalación. Las pijas se usan con frecuencia para conectar las láminas de cubierta y muros a los polines correspondientes.

Los remaches calientes tienen muy poca aplicación en conexiones de perfiles laminados en frío, pero los remaches fríos son de uso común en los países desarrollados. En el caso particular de México, los remaches fríos no han logrado desplazar a las alternativas tradicionales de la soldadura, tornillos y pijas, por lo que son prácticamente desconocidos.

en caliente pero se volvieron obsoletos con el advenimiento de los tornillos de alta resistencia.

Existen dos tipos de conexiones a base de costura de metal. Las conexiones de grapas, en las cuales los extremos de las láminas se conectan con el uso de engrapadoras especiales y las conexiones engargoladas, donde las láminas se conectan por herramientas dobladoras que unen los extremos empalmándolos en patrones de dobleces estandarizados.

Como un criterio general de las especificaciones del AISI, todas las conexiones deberán diseñarse para transmitir la carga máxima en el miembro conectado considerando debidamente la excentricidad de carga.

3.1.5 Conexiones atornilladas. El comportamiento estructural de las conexiones atornilladas en perfiles de acero laminado en frío difiere del de los perfiles laminados en caliente, esto se debe en gran parte a la diferencia en espesores de las partes conectadas.

En el AISI 1986 se incluyen especificaciones para el tamaño máximo de agujeros y para los esfuerzos permisibles a tensión en tornillos. En el AISI 1996 se consideraron pequeños cambios en los factores de seguridad para calcular la tensión nominal y la resistencia a cortante de tornillos.

3.1.5.1 Comportamiento de Conexiones Atomilladas. Desde 1950 se han probado una gran cantidad de conexiones atornilladas usando láminas delgadas de acero A307 y tornillos de alta resistencia A325 en la Universidad de Cornell y otras universidades. Esto con el objeto de estudiar el comportamiento estructural de conexiones atornilladas y así contar con la información requerida para desarrollar métodos de diseño confiables.

tornillos depende del tipo de éste, tal como se muestra en la Tabla 3.1.

Diámetro del tornillo		Tornillo A307	Tornillo A325
pulg.	mm.	Torque (kg-cm)	Torque (kg-cm)
0.250	6.350	70	155
0.375	9.525	195	520
0.500	12.700	555	1315
0.625	15.875	695	2630
0.750	19.050	1525	4635
1.000	25.400	3460	10380

Tabla 3.1 Valores de torques usados para instalar tornillos A307 y A325

Según los resultados obtenidos de las pruebas, en las conexiones atornilladas de perfiles laminados en frío, existen los siguientes cuatro tipos de falla:

- a). Tipo I: Corte longitudinal de la lámina a través de dos líneas paralelas (Fig. 3.2a).
- b). Tipo II: Aplastamiento o acumulación de material enfrente del tornillo (Fig. 3.2b).
- c). Tipo III: Desgarre de la lámina en la sección neta (Fig. 3.2c).
- d). Tipo IV: Corte del tornillo (Fig. 3.2d).

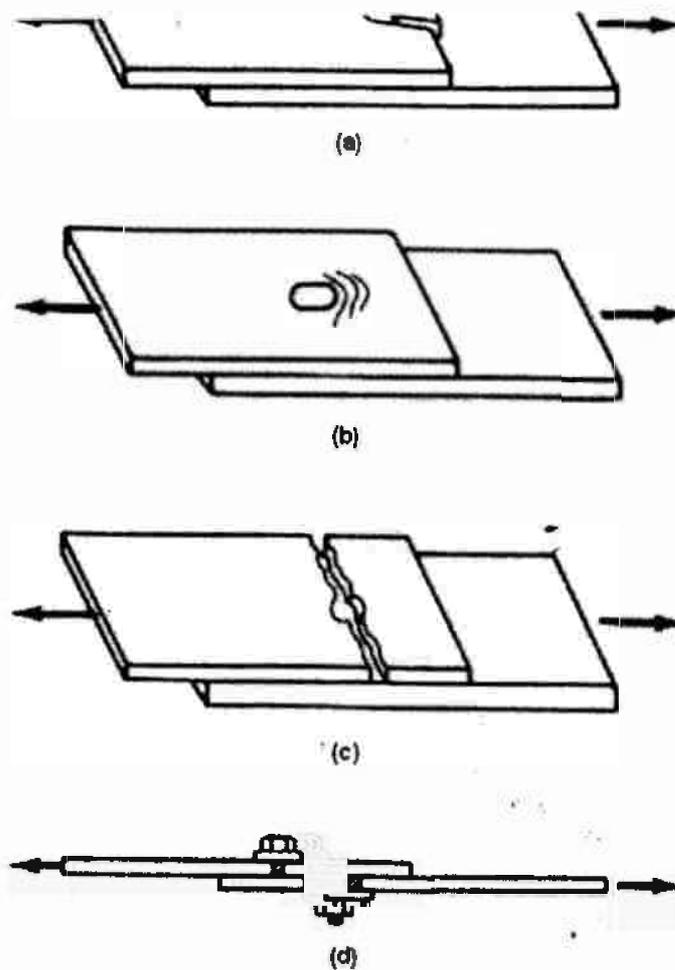


Fig. 3.2. Tipos de falla en conexiones atornilladas.

A continuación se describe con más detalle cada tipo de falla.

Corte longitudinal de las láminas de acero (falla Tipo I).

Cuando la distancia e mostrada en la Fig. 3.2a y 3.3 es relativamente pequeña, las conexiones usualmente fallan por corte longitudinal de la lámina a través de dos líneas paralelas. La información de pruebas de carga indican que para conexiones atornilladas con relaciones e/d pequeñas, el esfuerzo de falla al aplastamiento puede ser predicho por la siguiente expresión:

Donde:

σ_b = esfuerzo último al aplastamiento entre el tornillo y la pieza conectada.

F_u = resistencia a la tensión en las piezas conectadas.

e = distancia de extremo.

d = diámetro del tornillo.

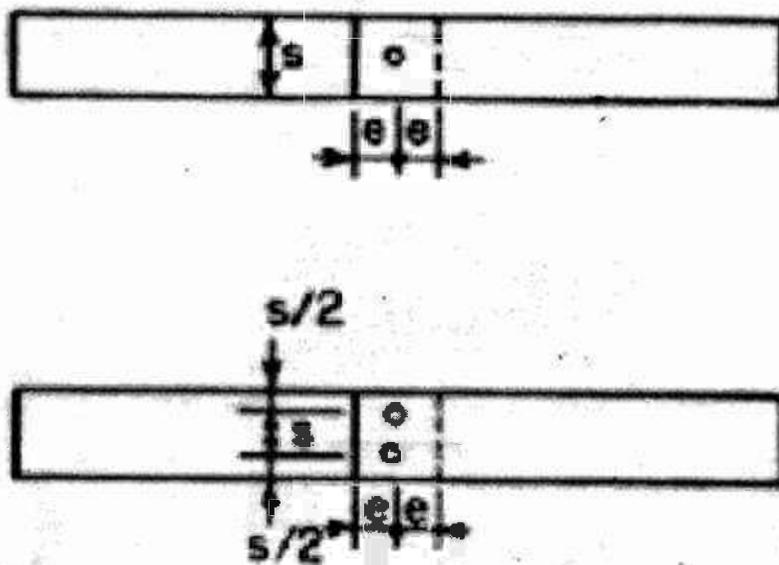


Fig. 3.3. Dimensiones de S y e usadas en conexiones atornilladas.

Substituyendo $\sigma_b = P_u / d_t$ en la Ec. (3.4), se obtiene la siguiente expresión para la distancia de extremo e :

$$e = P_u / F_u t \quad \text{Ec. (3.5)}$$

Aplastamiento de la Lámina de Acero (Falla Tipo II).

Cuando la distancia de extremo es lo suficientemente grande (o sea, para relaciones e/d grandes), la conexión puede fallar por aplastamiento o acumulación de la lámina de acero frente al tornillo, como se muestra en la Fig. 3.2b.

La resistencia de conexiones atornilladas depende de varios parámetros, incluyendo la resistencia a tensión, el espesor de las piezas conectadas, el tipo de junta (junta de traslape o de frente), la relación F_u/F_y de las piezas conectadas, el uso de rondanas, la acción catenaria de las piezas conectadas y la rotación de los tornillos.

Las Tablas 3.2 y 3.3 contienen ecuaciones para determinar el esfuerzo al aplastamiento σ_b en base a las condiciones expresas en dichas tablas.

Tabla 3.2 Resistencia al aplastamiento de conexiones atornilladas con rondanas bajo la cabeza y tuerca del tornillo.

Espesor de la lámina de acero	Tipo de junta	Relación F_u/F_y de la lámina de acero	Esfuerzo último de aplastamiento σ_b (kg/cm ²)
< 3/16 plg. (4.76 mm) pero \geq 0.024 plg. (0.61 mm)	Lámina interior de conexiones sujetas a cortante doble	≥ 1.15	$3.5F_u$
		< 1.15	$3.0F_u$
	Conexiones de una sola lámina y láminas exteriores de conexiones sujetas a cortante doble	≥ 1.15	$3.0F_u$
		< 1.15	$3.0F_u$

Tabla 3.3 Resistencia al aplastamiento de conexiones atornilladas sin rondanas bajo la cabeza y tuerca del tornillo.

Espesor de la lámina de acero	Tipo de junta	Relación F_u/F_y de la lámina de acero	Esfuerzo último de aplastamiento σ_b (kg/cm ²)
< 3/16 plg. (4.76 mm) pero \geq 0.024 plg. (0.61 mm)	Lámina interior de conexiones sujetas a cortante doble	≥ 1.15	$3.0F_u$
	Conexiones de una sola lámina y láminas exteriores de conexiones sujetas a cortante doble	≥ 1.15	$2.2F_u$

Este tipo de falla (ver Fig. 3.20) está relacionada con la concentración de esfuerzos causados por la presencia de agujeros y la fuerza concentrada local transmitida a la lámina a través de los tornillos.

Se han realizado pruebas para conexiones con rondanas bajo las cabezas y tuercas de tornillos, las cuales indican que la redistribución plástica puede eliminar las concentraciones de esfuerzos causadas por la presencia de agujeros, aun para aceros de baja ductilidad.

Sin embargo, si la concentración de esfuerzos causada por la fuerza local transmitida por el tornillo a la lámina es severa, se observa una reducción en la resistencia de la sección neta de la lámina para conexiones con separaciones entre tornillos relativamente grandes en dirección perpendicular a la de la fuerza transmitida.

Las grandes concentraciones de esfuerzos se disipan al colocar en línea mas de un tornillo, esto se demostró con un estudio realizado en la Universidad de Cornell para conexiones con múltiples tornillos. Con las siguientes ecuaciones se puede calcular el esfuerzo de falla en la sección neta:

Cuando $d/s \leq 0.30$,

$$\sigma_{neto} = [1.0 - 0.90r + 3r(d/s)] F_u \leq F_u \quad \text{Ec. (3.6)}$$

Cuando $d/s > 0.30$,

$$\sigma_{neto} = F_u \quad \text{Ec. (3.7)}$$

σ_{neto} = esfuerzo de falla en la sección neta.

r = fuerza transmitida por el tornillo o tornillos en la sección considerada, dividida entre la fuerza en el miembro en dicha sección.

d = diámetro del tornillo.

s = espaciamiento de los tornillos perpendicular a la línea de esfuerzo.

F_u = esfuerzo último a tensión de las láminas de acero.

Cuando no se usan rondanas y cuando solo una rondana es usada en conexiones atornilladas, el esfuerzo de falla en la sección neta puede ser determinado por la siguiente expresión:

$$\sigma_{neto} = [1.0 - r + 2.5r(d/s)] F_u \leq F_u \quad \text{Ec. (3.8)}$$

Corte del Tornillo (Falla Tipo IV).

En la década de 1950-60 se desarrollaron pruebas de tornillos sujetos a cortante doble y cortante sencillo, con el fin de establecer el tipo de falla causada por cortante en tornillos (ver Fig. 3.2d). En dichas pruebas quedó demostrado que la relación de resistencia cortante-tensión no depende del diámetro del tornillo y que el valor de dichas relaciones son 0.62 para cortante doble y 0.72 para cortante sencillo.

La falla por cortante de tornillos es más repentina que la de las láminas conectadas, por lo que se ha establecido una relación de resistencia cortante-tensión conservadora de 0.60 para condiciones de cortante doble y sencillo en el desarrollo de especificaciones de diseño, aun cuando el rango de valores de pruebas es 0.52 a 1.0; es decir, se considera que el tipo de falla de corte del tornillo ocurre a una resistencia equivalente a 0.60 veces la resistencia a tensión del tornillo.

3.2.1 Espesores límites. En la edición de 1996 del AISI, el espesor máximo de los perfiles laminados en frío se incrementó de 0.50 plg. (12.7 mm) a 1.0 plg. (25.4 mm), pero la Sección E3 de dicha edición se aplica solamente para diseñar conexiones a base de tornillos cuando los miembros de acero laminado en frío son de espesores menores de 3/16 plg. (4.8 mm). Esta restricción se debe a que las conexiones formadas por perfiles cuyo espesor es mayor, se comportan de una forma muy similar al de los perfiles laminados en caliente.

Para el diseño de conexiones atornilladas de estructura de perfiles laminados en frío de espesores mayores de 3/16 plg. (4.8 mm), se deberán de usar las especificaciones del AISC.

3.2.2 Tipos de tornillos, tuercas y rondanas. En ediciones anteriores, las especificaciones del AISI solo reconocía los tornillos A307 y A325. Sin embargo, con el incremento del espesor mínimo de los perfiles laminados en frío, hoy incluye los tornillos A354, A449 y A490.

El diámetro mínimo de los tornillos A325 y A490 es de 0.50 plg. (12.7 mm), cuando en alguna conexión se necesiten diámetros menores, el tornillo tipo A449 se usará como A325 y el A354 Grado BD se considerará equivalente al tipo A490.

El AISI 1996 en su Sección E3 considera los siguientes tipos de materiales para conexiones:

ASTM A194/A194M, Tuercas de Acero al Carbono y de Aleación para Tornillos bajo Condiciones de Presión y Temperatura Elevada.

Tensión de 60 ksi (4,216 kg/cm²).

ASTM A325, Tornillo Estructural de Acero Tratado. Resistencia a Tensión de 120/105 ksi (8,433/7,379 kg/cm²).

ASTM A325M, Tornillos de Alta Resistencia para Uso en Joists Estructurales de Acero (Dimensiones Métricas).

ASTM A354 (Grado BD), Tornillos, Pernos u Otros Sujetadores con Rosca Externa de Acero Templado [para diámetros de tornillos menores de 0.50 plg. (12.7 mm)].

ASTM A449, Tornillos y Pernos de Acero Templado [para diámetros de tornillos menores de 0.50 plg. (12.7 mm)].

ASTM A490, Tornillos Estructurales de Acero Tratado con Calor. Resistencia a Tensión de 150 ksi (10,542 kg/cm²).

ASTM 490M, Tornillos Estructurales, Clases 10.9 y 10.9.3 para Joists Estructurales de Acero (Dimensiones Métricas).

ASTM A563, Tuercas de Acero al Carbono y de Aleación.

ASTM A563M, Tuercas de Acero al Carbono y de Aleación (Dimensiones Métricas).

ASTM F436, Rondanas de Acero Endurecido.

ASTM F436M, Rondanas de Acero Endurecido (Dimensiones Métricas).

ASTM F844, Rondanas Planas de Acero No Endurecido para Uso General.

ASTM F959, Indicadores Compresibles de Tensión Directa Tipo Rondana para Uso en Tornillos Estructurales.

ASTM F959M , Indicadores Compresibles de Tensión Directa Tipo Rondana para Uso en Tornillos Estructurales (Dimensiones Métricas).

La resistencia de un tornillo se debe determinar de acuerdo a lo dispuesto en el Capítulo F del AISI 1996.

3.2.3 Instalación de Tornillos. Las conexiones atornilladas en estructuras de acero laminado en frío son diseñadas como conexiones al aplastamiento, en ellas se usan tornillos estándar y de alta resistencia. La resistencia de una conexión no depende en lo absoluto de la tensión inicial que se aplique a los tornillos, por lo tanto, no es necesario aplicar dicha tensión. Un tornillo que ha sido apretado con herramientas convencionales y está trabajando en condiciones normales de servicio, es decir, no se somete a vibración o fatiga, no se aflojará.

Para garantizar el desarrollo de la fuerza de tensión en tornillos según el Consejo de Investigación de Conexiones Estructurales (RCSC por sus siglas del inglés: "Research Council of Structural Connections", edición 1985 y 1988), para el tipo y tamaño de tornillo considerado en conexiones de deslizamiento crítico, se pueden usar los indicadores de tensión directa tipo rondana ASTM F959.

especificaciones el AISI considera los tamaños máximos de agujeros estándar, agujeros sobre dimensionados, agujeros alargados cortos y largos (ver Tabla 3.4).

Tabla 3.4 Tamaño Máximo de Agujeros para Tornillos.

Diámetro Nominal del Tornillo, d (mm)	Diámetro del Agujero Estándar, d (mm).	Diámetro del Agujero Sobre Dimensionado d (mm).	Diámetro del Agujero Alargado Corto, d (mm).	Diámetro del Agujero Alargado Largo, d (mm).
< 12.7	$d + 0.8$	$d + 1.6$	$D + 0.8 \times d + 6.4$	$d + 0.8 \times 2.5d$
≥ 12.7	$d + 1.6$	$d + 1.6$	$D + 1.6 \times d + 6.4$	$d + 1.6 \times 2.5d$

3.2.5 Espaciamiento y Distancia de Extremo Mínimo en la Línea de Esfuerzo.

La Sección E3.1 del AISI indica que la distancia e (ver fig. 3.3), medida en dirección de la línea de la fuerza desde el centro de un agujero estándar hasta la orilla mas cercana de un agujero adyacente o al extremo de la parte conectada hacia donde se dirige la fuerza, no podrá ser menor que el valor e_{min} que resulte de las siguientes expresiones:

Método LRFD:
$$e_{min} = (P) / (\phi F_u t) \quad \text{Ec.(3.10)}$$

Donde:

P = fuerza transmitida por el tornillo.

t = espesor de la lámina mas delgada a conectarse.

Cuando $F_u / F_{sy} \geq 1.08$ $\Omega = 2.0$ (ASD)
 $\phi = 0.70$ (LRFD)

Cuando $F_u / F_{sy} < 1.08$ $\Omega = 2.22$ (ASD)
 $\phi = 0.60$ (LRFD)

Donde F_{sy} es el esfuerzo mínimo especificado del acero. Las Ecs. (3.9) y (3.10) se obtienen a partir de la Ec. (3.5) y el uso de los factores Ω y ϕ según el método.

Otros requisitos considerados por el AISI en la Sección E3.1 para el espaciamiento entre agujeros y distancia de borde mínima en la línea del esfuerzo son los siguientes:

- a). La separación mínima centro a centro de agujeros no debe ser menor que $3d$, donde d es el diámetro nominal del tornillo.
- b). La distancia desde el centro de un agujero estándar al extremo u otra orilla del miembro no debe ser menor que $1.5d$.
- c). La distancia libre entre orillas de dos agujeros adyacentes no debe ser menor que $2d$.
- d). La distancia entre la orilla del agujero y el extremo del miembro no debe ser menor que d .

de dos agujeros adyacentes y la distancia medida desde la orilla del agujero al extremo u otra orilla del miembro conectado en la línea del esfuerzo no debe ser menor que el valor $e_{min} - 0.5d_h$, donde e_{min} es la distancia requerida calculada con las Ecs. (3.9) y (3.10), y d_h es el diámetro de un agujero estándar definido según la Tabla 3.4.

3.2.6 Ecuaciones de diseño. Si el esfuerzo neto (σ_{neto}) de las Ecs. (3.6) o (3.8) se convierte en una fuerza al multiplicarlo por el área neta A_n , ya que el AISI 1996 no considera el concepto de esfuerzo; o sea $P_u = \sigma_{neto} A_n$. El diseño de conexiones atornilladas queda representado por las siguientes ecuaciones:

$$\text{Método ASD:} \quad P_u = P_n / \Omega \geq \sum P_i \quad \text{Ec. (3.11)}$$

$$\text{Método LRFD:} \quad \phi P_n \geq \sum \gamma_i P_i \quad \text{Ec. (3.12)}$$

Donde P_u = resistencia permisible del tornillo.

Ω = factor de seguridad de la conexión atornillada.

$\sum P_i$ = combinación aplicable debido a cargas de servicio.

ϕ = factor de resistencia de la conexión atornillada.

γ_i = factor de carga correspondiente a la carga P_i .

$\sum \gamma_i P_i$ = combinación aplicable de cargas factorizadas.

P_n = resistencia nominal de compresión axial determinada según la Sección E3.

Sección E3.1 Cortante. Para el valor de la resistencia nominal por cortante, P_n , de la lámina conectada tomando en cuenta el espaciamiento y distancia de extremo existente en dirección a la carga aplicada, se obtendrá despejando P_u de la Ec. (3.5), donde $P_u = P_n$, entonces:

$$P_n = teF_u \quad \text{Ec. (3.13)}$$

Cuando $F_u/F_{sy} \geq 1.08$: $\Omega = 2.00$ (ASD)
 $\phi = 0.70$ (LRFD)

Cuando $F_u/F_{sy} < 1.08$ $\Omega = 2.22$ (ASD)
 $\phi = 0.60$ (LRFD)

tension.

De acuerdo al Suplemento 1999 del AISI, los miembros sujetos a tensión axial pueden fallar por fluencia o fractura de la sección alejada de conexiones o por fractura de la sección en las conexiones.

Resistencia Nominal de Miembros Sujetos a Tensión Axial. La Sección C2 del Suplemento 1999 establece que la resistencia nominal a tensión, T_n , queda regida por el valor menor de los tres estados límites de falla:

(1) Fluencia de la sección bruta (A_g):

$$T_n = F_y A_g \quad \text{Ec. (3.14)}$$

$$\Omega_t = 1.67 \text{ (ASD)}$$

$$\phi_t = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

(2) Fractura de la sección neta (A_n) alejada de conexiones:

$$T_n = F_u A_n \quad \text{Ec. (3.15)}$$

$$\Omega_t = 2.00 \text{ (ASD)}$$

$$\phi_t = 0.75 \text{ (LRFD)}$$

(3) Fractura de la sección neta efectiva (A_e) en la conexión:

$$T_n = F_u A_e \quad \text{Ec. (3.16)}$$

está dado por la siguiente expresión:

$$A_e = UA_n \quad \text{Ec. (3.17)}$$

$$U = 1 - C \left(\frac{X}{L} \right) \leq 0.90 \quad \text{Ec. (3.18)}$$

Donde:

C = constante definida en la Sección E2.7 y E3.2(3) del Suplemento 1999.

X = distancia del plano de corte al centroide del perfil.

L = longitud de la conexión en la dirección de la carga.

A_n = área neta calculada según la Sección E2.7 y E3.2 del Suplemento 1999.

Para el cálculo del área neta de la sección, A_n , es necesario considerar la presencia de los tornillos y su distribución. Si la colocación de tornillos en dirección de la carga es en una sola línea o en mas de dos líneas con tornillos alineados verticalmente, el área neta se obtiene con la siguiente expresión:

$$A_n = A_g - n_b d_h t \quad \text{Ec. (3.19)}$$

Donde A_g = área bruta de la sección.

n_b = número de tornillos en la sección de la conexión analizada.

d_h = diámetro del agujero estándar según la Tabla 3.4.

t = valor menor del espesor de las láminas conectadas.

Para el caso en donde los tornillos se colocan en dos o mas líneas de forma alterna, los esfuerzos de tensión perpendiculares y paralelos forman una

línea, pudiendo la línea de fractura seguir esta trayectoria. Esto no siempre será un problema, ya que el área neta de la posible fractura se incrementa por su posición diagonal.

De acuerdo al AISI, el área neta se determina con la siguiente expresión:

$$A_n = 0.90 \left[A_g - n_b d_h t + \left(\sum \frac{s'^2}{4g} \right) t \right] \quad \text{Ec. (3.20)}$$

Donde s' = espaciamiento longitudinal centro a centro entre dos agujeros consecutivos.
 g = espaciamiento transversal centro a centro entre líneas de tornillos.

Sección E3.2 Resistencia a Tensión de Miembros en la Sección Coincidente con una Conexión Atornillada.

Para los casos de fractura y/o fluencia de la sección neta efectiva, de acuerdo a la Sección C2, la resistencia nominal, P_n , debe calcularse considerando las siguientes condiciones:

(1) Para conexiones de placas planas sin agujeros alternados:

$$P_n = A_n F_t \quad \text{Ec. (3.21)}$$

$$F_t = (1.0 - 0.90r + 3rd / s) F_u \leq F_u \quad \text{Ec. (3.22)}$$

Para cortante doble: $\Omega_t = 2.00$ (ASD)

$$\phi_t = 0.65 \text{ (LRFD)}$$

Para cortante simple: $\Omega_t = 2.22$ (ASD)

$$\phi_t = 0.55 \text{ (LRFD)}$$

(b) Sin rondanas o con una sola rondana bajo la tuerca o cabeza del tornillo, de la Ec. (3.8) se deriva:

$$F_t = (1.0 - r + 2.5rd / s) F_u \leq F_u \quad \text{Ec. (3.23)}$$

$$\Omega_t = 2.22 \text{ (ASD)}$$

$$\phi_t = 0.65 \text{ (LRFD)}$$

Donde:

A_n = área neta dada por la Ec. (3.19)

r = fuerza transmitida por el tornillo o tornillos en la sección analizada, dividida entre la carga a tensión del miembro en dicha sección. Si $r < 0.20$, asuma $r = 0$.

s = espaciamiento de tornillos perpendiculares a la dirección del esfuerzo; o ancho bruto de la lámina para una sola línea de tornillos.

d = diámetro nominal del tornillo.

(2) Para otros perfiles de placas planas con agujeros alternados.

$$P_n = A_n F_t \quad \text{Ec. (3.24)}$$

$$\Omega_t = 2.22 \text{ (ASD)}$$

$$\phi_t = 0.65 \text{ (LRFD)}$$

- (a) Con rondanas bajo la tuerca y cabeza del tornillo, F_t se calcula según la Ec. (3.22).
- (b) Sin rondanas o con una sola rondana bajo la tuerca o cabeza del tornillo, F_t se calcula según la Ec. (3.23).

Donde:

A_n = área neta dada por la Ec. (3.20).

s = ancho de la lámina dividida entre el número de tornillos en la sección analizada.

(3) Para otros perfiles diferentes a placas planas:

$$P_n = F_u A_e \quad \text{Ec. (3.25)}$$

$$\Omega_t = 2.50 \text{ (ASD)}$$

$$\phi_t = 0.60 \text{ (LRFD)}$$

Donde:

$A_e = U A_n$, donde U y A_n se calculan de la siguiente manera:

A_n = área neta dada por la Ec. (11) o (12), dependiendo si los tornillos se encuentran alternados o no, respectivamente, en la sección analizada.

$U = 1.0$ si la carga es transmitida por la totalidad de los elementos del perfil. De lo contrario U se determinará de la siguiente manera:

(a) Para perfiles angulares:

$$U = 1.0 - 1.20(X/L) \leq 0.90 \quad \text{Ec. (3.26)}$$

donde $U \geq 0.40$

(b) Para perfiles C:

$$U = 1.0 - 0.36(X/L) \leq 0.90 \quad \text{Ec. (3.27)}$$

donde $U \geq 0.50$

X = distancia del plano de corte al centroide del perfil.

L = longitud de la conexión.

En la Fig. 3.4, se ilustran los valores de X y L .

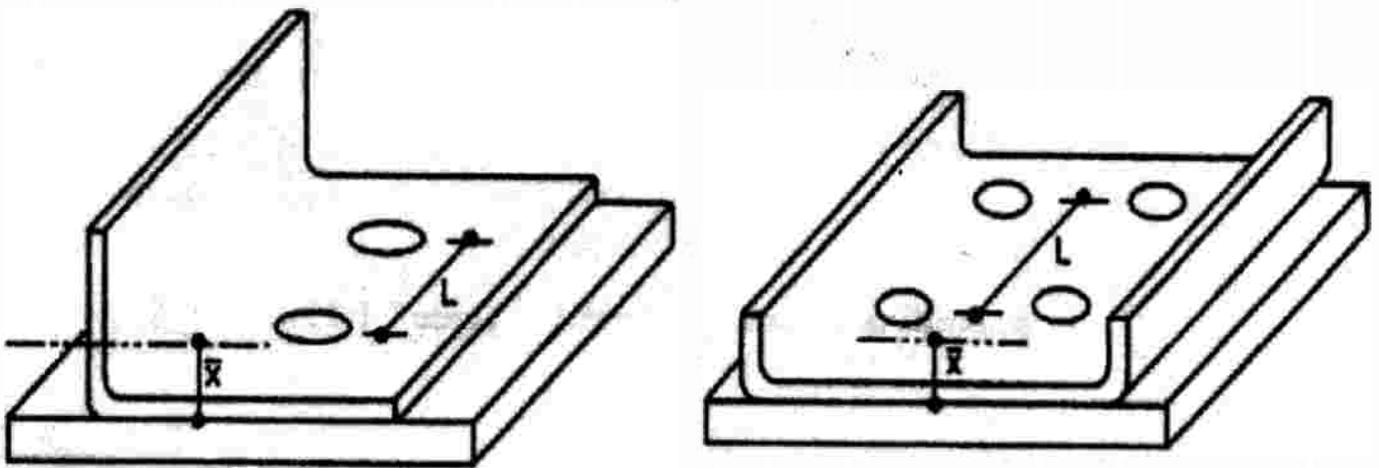


Fig. 3.4. Definición de X y L para conexiones atornilladas.

La resistencia nominal de un tornillo, P_n , como resultado de cortante, tensión, o una combinación de ambos se obtiene con la siguiente expresión:

$$P_n = A_b F \quad \text{Ec. (3.28)}$$

Donde:

A_b = área bruta de la sección del tornillo.

F = esfuerzo nominal F_{nv} o F_{nt} según la Tabla 3.5.

Los valores correspondientes de Ω y ϕ están dados en la Tabla 3.5.

En los casos en los cuales los tornillos estén sometidos a tensión, será necesario considerar la resistencia de las láminas conectadas por extracción sobre la cabeza o tuerca del tornillo o rondana, si esta está presente.

Descripción del Tornillo (d en mm)	Resistencia Nominal a Tensión			Resistencia Nominal a Tensión		
	Ω (ASD)	ϕ (LRFD)	F_{nt} (kg/cm ²)	Ω (ASD)	ϕ (LRFD)	F_{nv} (kg/cm ²)
A307, Grado A, 6.4 \leq d < 12.7	2.25	0.75	2846	2.4	0.65	1686
A307, Grado B d \geq 12.7	2.25	0.75	3162	2.4	0.65	1897
A325, rosca no excluida de los planos de corte	2.0	0.75	6325	2.4	0.65	3795
A325, rosca excluida de los planos de corte	2.0	0.75	6325	2.4	0.65	5060
A354 Grado BD 6.4 \leq d < 12.7, rosca no excluida de los planos de corte	2.0	0.75	7098	2.4	0.65	4146
A354 Grado BD 6.4 \leq d < 12.7, rosca excluida de los planos de corte	2.0	0.75	7098	2.4	0.65	6325
A449 6.4 \leq d < 12.7, rosca no excluida de los planos de corte	2.0	0.75	5692	2.4	0.65	3303
A449 6.4 \leq d < 12.7, rosca excluida de los planos de corte	2.0	0.75	5692	2.4	0.65	5060
A490, rosca no excluida de los planos de corte	2.0	0.75	7906	2.4	0.65	4743
A490, rosca excluida de los planos de corte	2.0	0.75	7906	2.4	0.65	6325

Sección E5 Desgarre por Cortante, Tensión y Bloque de Cortante.

Sección E5.1 Desgarre por cortante

Cuando en las conexiones en los extremos de vigas, uno o mas patines son recortados, la falla se puede seguir un plano que pase por alguna línea de sujetadores, para calcular la resistencia nominal por cortante se deberá considerar la siguiente expresión:

$$V_n = 0.6F_u A_{vn} \quad \text{Ec. (3.29)}$$

$$\phi_t = 0.60 \text{ (LRFD)}$$

Donde:

$$A_{wn} = (h_{wc} - nd_h)t$$

h_{wc} = peralte de la viga con patín recortado (ver Fig. 3.5).

d_h = diámetro del agujero.

n = número de agujeros en el plano crítico.

F_u = resistencia a tensión del acero.

t = espesor de la viga con patín recortado.

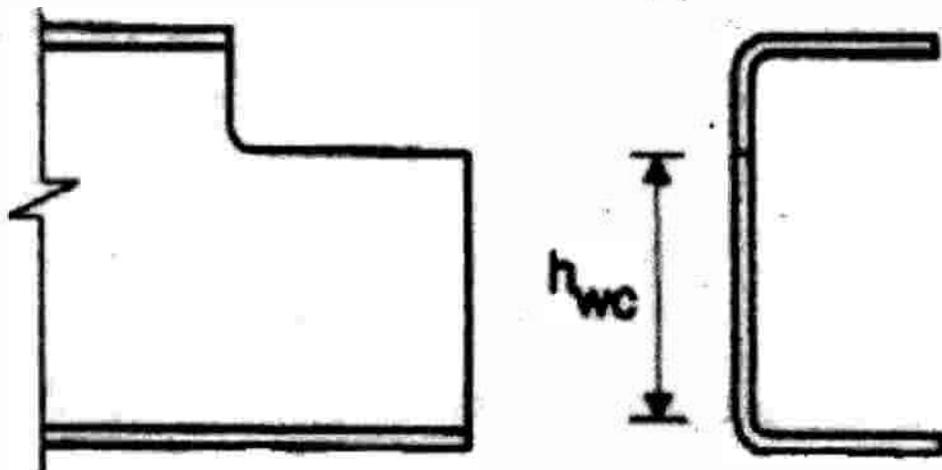


Fig. 3.5. Peralte de la viga con patín recortado.

Según pruebas realizadas en conexiones con miembros con patín recortado, en el perímetro de los agujeros se puede presentar un modo de falla por cortante (ver Fig. 3.6a).

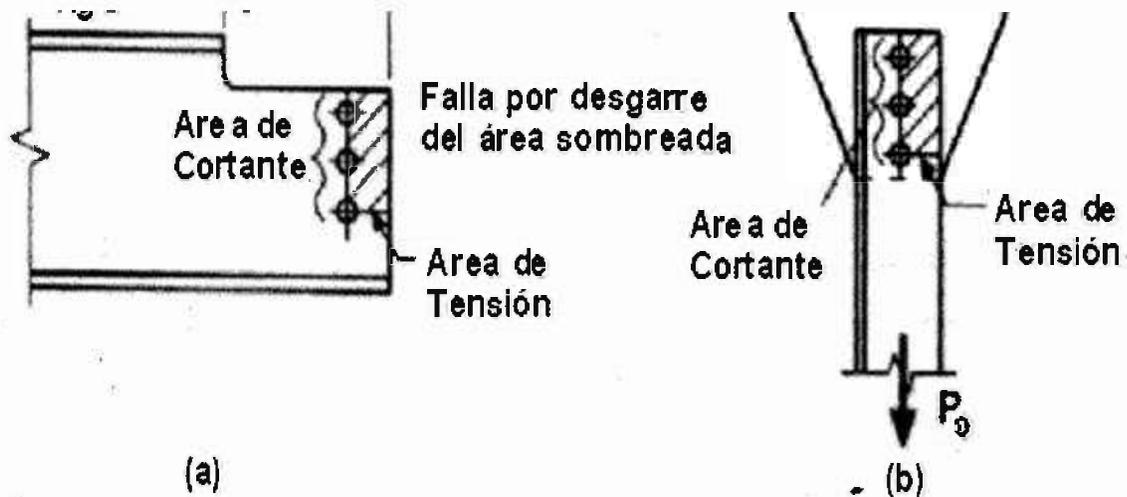


Fig. 3.6. Modo de falla desgarre por cortante.

Sección E5.2 Desgarre por Tensión

La resistencia nominal debido a desgarre por tensión del elemento afectado de una conexión atornillada, se determinará de acuerdo a la Sección E3.2 anteriormente abordada.

En la Fig. 3.6b se ilustra el modo de falla por desgarre en conexiones de miembros sujetos a tensión.

Sección E5.3 Desgarre por Bloque de Cortante

Esta Sección E5.3 se incluyó por primera vez en el Suplemento 1999. La resistencia nominal por desgarre por bloque de cortante, R_n , se determinará de la siguiente manera:

$$(a) \text{ Cuando } F_u A_{nt} \geq 0.60 F_u A_{nv}: \quad R_n = 0.6 F_y A_{gv} + F_u A_{nt} \quad \text{Ec. (3.30)}$$

$$(b) \text{ Cuando } F_u A_{nt} < 0.60 F_u A_{nv}: \quad R_n = 0.6 F_u A_{nv} + F_y A_{gt} \quad \text{Ec. (3.31)}$$

$$\phi = 0.65$$

Para conexiones soldadas: $\Omega = 2.50$

$$\phi = 0.60$$

Donde:

A_{gv} = área bruta sujeta a cortante.

A_{gt} = área bruta sujeta a tensión.

A_{nv} = área neta sujeta a cortante.

A_{nt} = área neta sujeta a tensión.

Para obtener la resistencia a cortante de un miembro en conexiones atornilladas, se suma la resistencia a cortante en todas las trayectorias de falla paralelas a la dirección de la carga y la resistencia a tensión será la suma de las resistencias perpendiculares a la carga (ver Fig. 3.7).

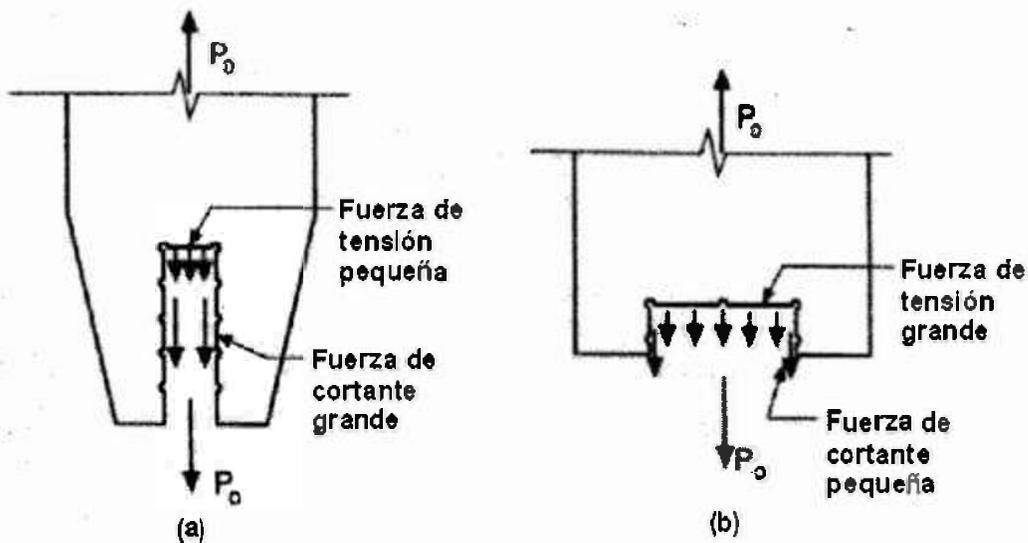


Fig. 3.7. Fallas de bloque de cortante.

conexiones atornilladas fueron derivados para un índice de confiabilidad objetivo de $\beta_0 = 3.5$ para conexiones sujetas a cargas gravitacionales.

3.2.6.2 Secciones Compuestas a Partir de Dos Perfiles.

Vigas formadas mediante la conexión de dos canales.

Una sección I puede ser fabricada a partir de dos canales unidos espalda con espalda con dos líneas de conectores localizadas cerca de ambos patines. Estas vigas son utilizadas con frecuencia en la construcción de estructuras de acero laminado en frío. Para la fabricación de este tipo de vigas, el AISI 1996 en su Sección D1.1(b) considera ciertas limitaciones para el espaciamiento longitudinal de conectores de acuerdo a lo siguiente:

$$S_{\max} = \frac{L}{6} \quad \text{Ec. (3.31)}$$

$$S_{\max} = \frac{2gT_s}{mq} \quad \text{Ec. (3.32)}$$

Donde:

L = claro de la viga.

g = distancia vertical entre dos líneas de conectores.

T_s = resistencia a tensión de los conectores.

q = intensidad de carga.

m = distancia entre el centro de cortante y el plano central del alma.

$$m = \frac{w_f^2}{2w_f + d/3} \quad \text{Ec. (3.33)}$$

Para canales de sección C con labios atiesadores en los extremos,

$$m = \frac{w_f dt}{4I_x} \left[w_f d + 2D \left(d - \frac{4D^2}{3d} \right) \right] \quad \text{Ec. (3.34)}$$

Donde:

w_f = proyección de patines con respecto a la cara interna del alma.

d = peralte del canal.

t = espesor del canal.

D = peralte total del labio atiesador.

I_x = momento de inercia de un canal con respecto al eje centroidal paralelo al alma.

El espaciamiento máximo de conectores requerido por la Ec. (3.32) se basa en lo siguiente:

- a). El centro de cortante no coincide ni esté localizado en el plano del alma.
- b). Cuando una carga Q es aplicada en el plano del alma, produce un momento torsionante Q_m con respecto al centro de cortante, ver Fig. 3.1. La fuerza de tensión en la conexión superior T_s puede ser calculada aprovechando el equilibrio entre el momento torsionante Q_m y el momento resistente $T_s g$, o sea,

Despejando para T_s :

$$T_s = \frac{Q_m}{g} \quad \text{Ec. (3.36)}$$

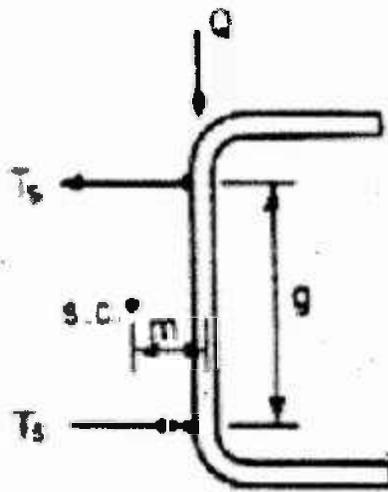


Fig. 3.8. Fuerza de tensión desarrollada en el conector superior para un perfil C.

Si se considera que q es la intensidad de carga y que s es el espaciamiento entre conectores, la carga aplicada es $Q = \frac{qs}{2}$. El espaciamiento máximo S_{max} dado por la Ec. (3.32) se puede obtener con la sustitución del valor $Q = \frac{qs}{2}$ en la Ec. (3.35).

La determinación de la intensidad de carga q está basada en el tipo de carga aplicada a la viga:

- Para carga uniformemente distribuida y considerando la posibilidad de cargas no niveladas,

$$q = 3w' \quad \text{Ec. (3.37)}$$

b). Para cargas concentradas y reacciones,

$$q = \frac{P}{N}$$

Ec. (3.38)

Donde:

w' = carga de diseño uniforme distribuida.

P = carga concentrada o reacción.

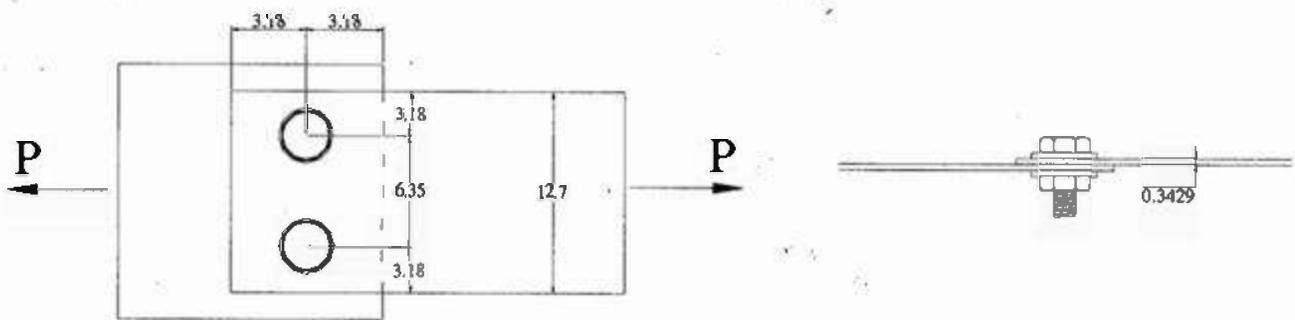
N = longitud de contacto de la reacción y carga concentrada.

Si la longitud de contacto de la reacción y carga concentrada es menor que el espaciamiento entre conectores ($N < S_{max}$), la resistencia requerida de los conectores mas cercanos a la carga concentrada o reacción P es:

$$T_s = \frac{pm}{2g}$$

Ec. (3.39)

Ejemplo 3.1.- Determinar la resistencia de diseño por el método ASD y LRFD para la conexión atornillada mostrada en la figura, considerar dos tornillos A325 de 5/8" (15.9mm) de diámetro con rondanas bajo la cabeza y tuerca. Considerar laminas de acero con $F_y=2,319 \text{ kg/cm}^2$ y agujeros estándar.



DATOS:

Acotaciones en dibujo en cms

$P = ?$

No. Tornillos = 2 A325 con rondana bajo tuerca y cabeza

$d = 5/8"$ (15.9mm) (1.59 cm) diámetro

$t = 0.3429 \text{ cm}$.

$F_y = 2319 \text{ kg/cm}^2$

$F_u = 3162 \text{ kg/cm}^2$

$e_1 = 3.18 \text{ cm}$

$S = 63.5 \text{ mm}$ (6.35 cm)

$e_2 = 31.8 \text{ mm}$ (distancia del centro del tornillo a orilla de lámina)

Ancho lámina = 12.7cm

Resistencia al cortante en las láminas basada en la distancia de extremos e .

La resistencia nominal a cortante de las láminas se obtiene mediante la Ec. 3.13.
Distancia de extremo de las láminas en la dirección del esfuerzo, $e = 3.18\text{cm}$

Ec. 3.13: $P_n = teF_u = 3,447.914 \text{ kg}$.

$F_u / F_{sy} = 1.364 > 1.08$, por lo tanto: $\Omega = 2.00$, $\phi = 0.70$

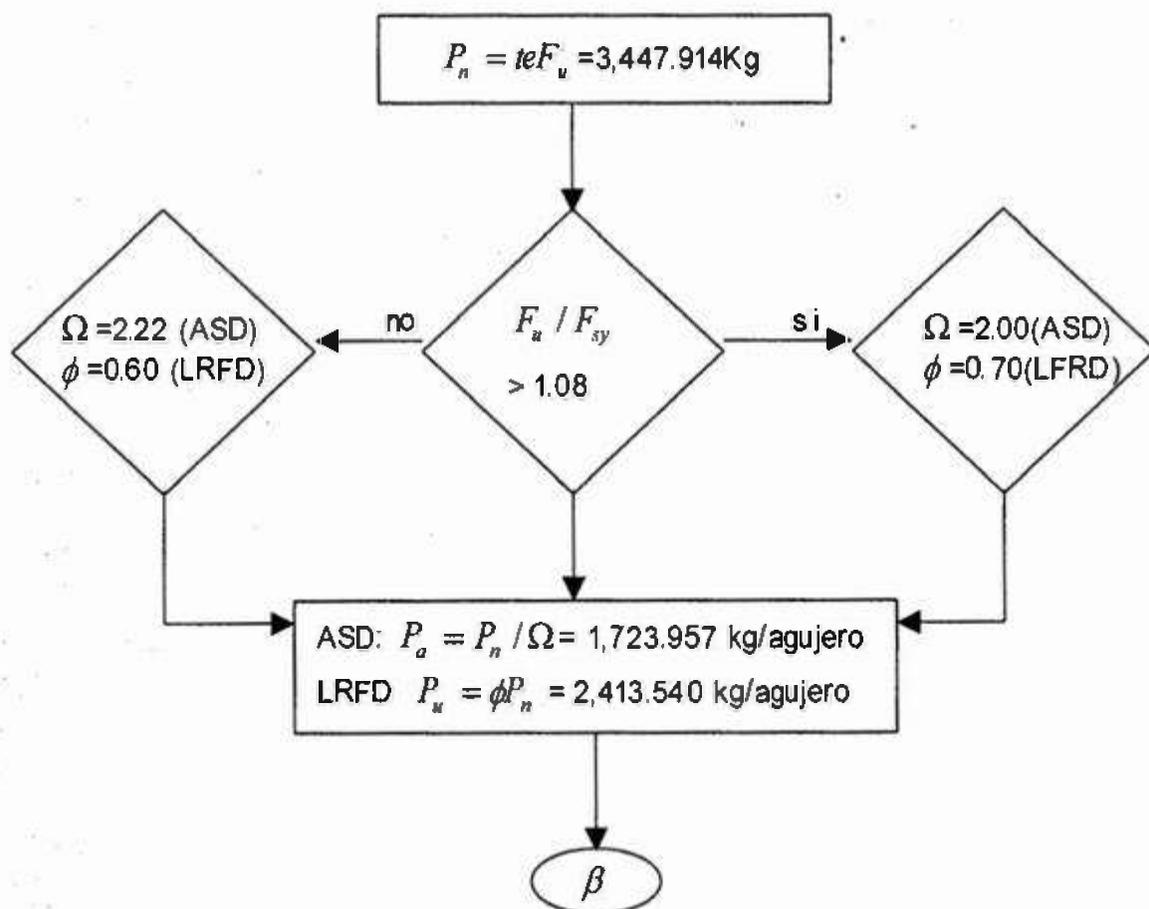
ASD: $P_a = P_n / \Omega = 1,723.957 \text{ kg/agujero}$

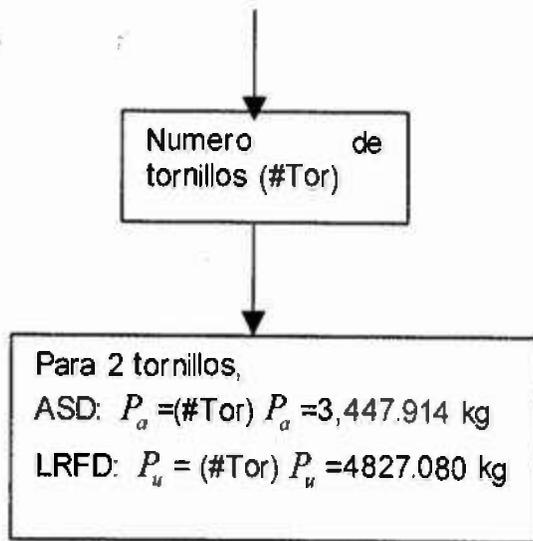
LRFD $P_u = \phi P_n = 2,413.540 \text{ kg/agujero}$

Para 2 tornillos,

ASD: $P_a = 3,447.914 \text{ kg}$

LRFD : $P_u = 4,827.080 \text{ kg}$





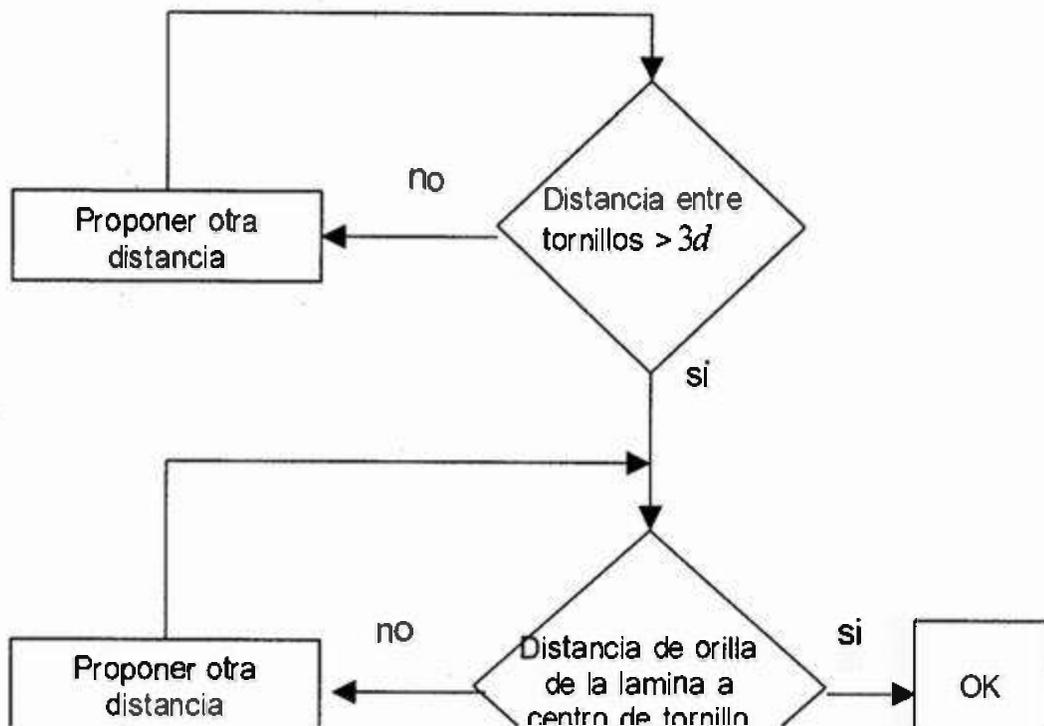
Revisión de distancias de diseño:

Distancia centro a centro entre tornillos debe ser mayor que $3d$.

$63.5 > 3d = 47.7\text{mm}$, OK

Distancia entre el centro del tornillo y la orilla de la lámina debe ser $> 1.5d$.

$31.8 > 1.5d = 23.85 \text{ mm}$, OK



La resistencia nominal a cortante se obtiene mediante la Ec. 3.28.

Área bruta del tornillo , $A_b = \pi d^2 / 4 = 1.986 \text{ cm}^2$

Esfuerzo nominal a cortante, $F_{nv} = 5,060 \text{ kg/cm}^2$ (de la Tabla 3.5)

Ec. (3.28): $P_n = A_b F = 10,046.957 \text{ kg}$

De la Tabla 3.5. para cortante: $\Omega = 2.4$, $\phi = 0.65$

ASD: $P_a = P_n / \Omega = 4,186.232 \text{ kg/tornillo}$

LRFD: $P_u = \phi / P_n = 6,530.522 \text{ kg/tornillo}$

Para 2 tornillos;

ASD: $P_a = 8,372.464 \text{ kg}$

LRFD: $P_u = 13,061.044 \text{ kg}$

La resistencia de diseño a cortante para LRFD será controlada por: Láminas

La resistencia de diseño a cortante para ASD será controlada por: Láminas

La resistencia de diseño a cortante será:

ASD: $P_a = 3,447.914 \text{ kg}$

LRFD: $P_u = 4,827.080 \text{ kg}$

$F_{nv} = 5,060 \text{ kg/cm}^2$ (de la Tabla 3.5)

$P_n = A_b F = 10,046.957 \text{ kg}$

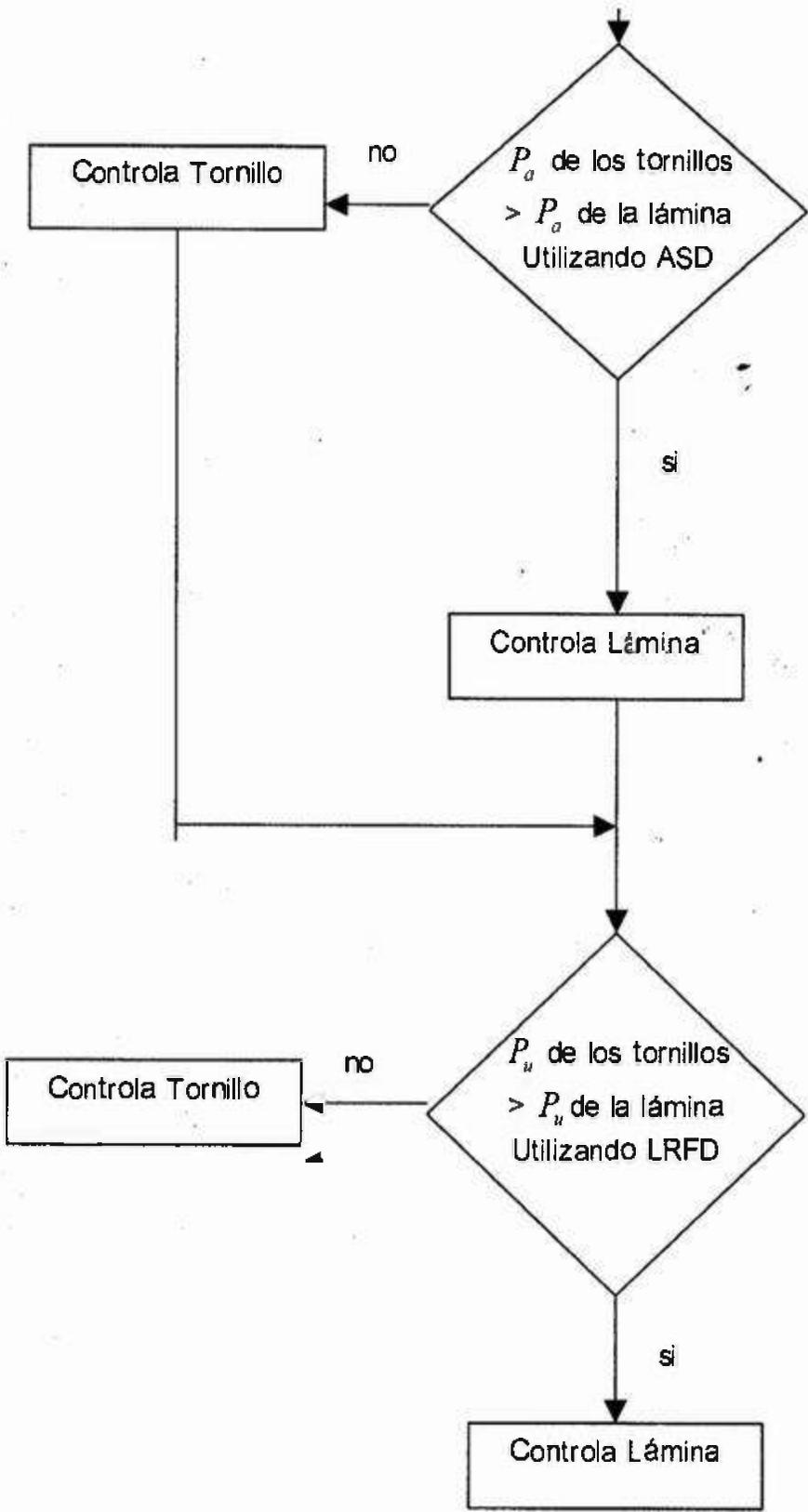
De la Tabla 3.5. para cortante:
 $\Omega = 2.4, \phi = 0.65$

ASD: $P_a = P_n / \Omega = 4,186.232 \text{ kg/tornillo}$
LRFD: $P_u = \phi / P_n = 6,530.522 \text{ kg/tornillo}$

Numero de tornillos (#Tor)

Para 2 tornillos;
ASD: $P_a = (\#Tor) P_a = 8,372.464 \text{ kg}$
LRFD: $P_u = (\#Tor) P_u = 13,061.044 \text{ kg}$

β



Fluencia de la sección bruta:

$$\Omega = 1.67 \quad \phi = 0.90$$

Ec. (3.14): $P_n = F_y A_g = 10,098.851 \text{ kg}$

ASD: $P_a = P_n / \Omega = 6,047.216 \text{ kg}$

LRFD: $P_u = \phi P_n = 9,088.966 \text{ kg}$

Fractura de la sección neta alejada de la conexión:

No aplica, ya que no hay agujeros en la placa alejados de la conexión.

Fractura de la sección neta efectiva en la conexión:

La resistencia nominal a tensión para la sección neta efectiva está dada por la Ec. (3.16). El esfuerzo nominal, F_t para tornillos con rondanas bajo tuerca y cabeza está dado por la Ec. (3.22).

Determinación de A_e

$U = 1.0$ La carga es transmitida por todos los elementos del perfil.

El área neta se calcula mediante la Ec. (3.19).

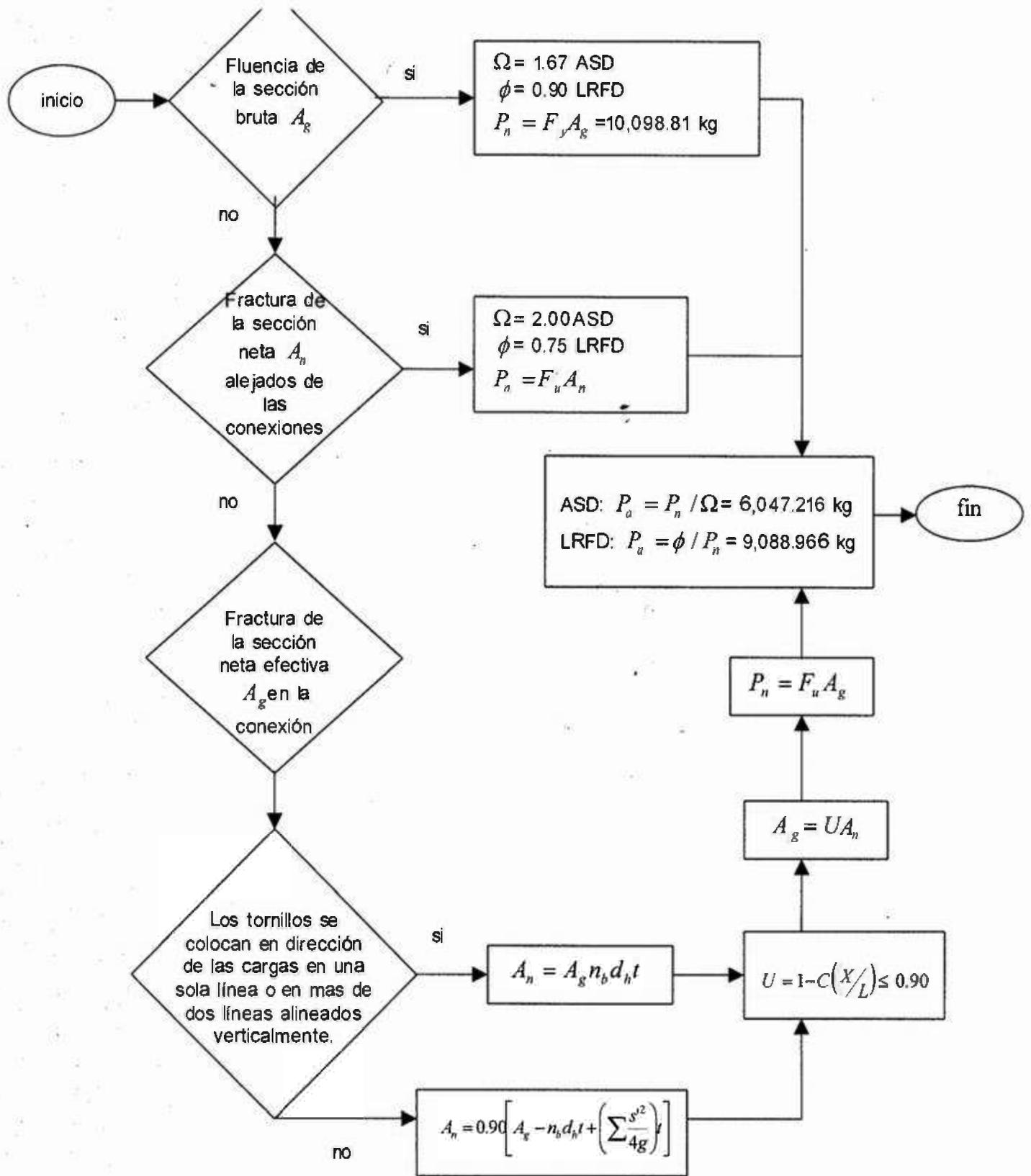
$$A_g = t (\text{ancho lámina}) = 4.355 \text{ cm}^2$$

$$d_h = d + 1.6 = 17.5 \text{ mm} = 1.75 \text{ cm} \quad (\text{ver Tabla 3.4})$$

$$n_b = 2$$

Ec. (3.19): $A_n = A_g - n_b d_h t = 3.155 \text{ cm}^2$

$$A_e = U A_n = 3.155 \text{ cm}^2$$

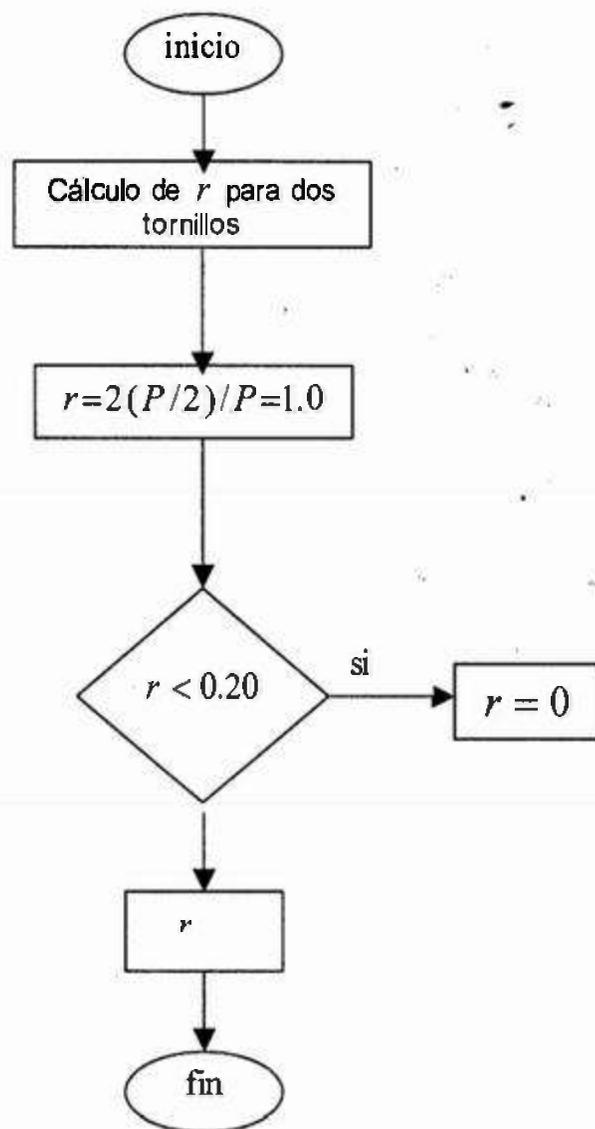


La fuerza por tornillo en una conexión será la fuerza P dividida entre el número de tornillos.

Para 2 tornillos en la conexión la fuerza transmitida por los tornillos es:

$2(P/2) = P$ Como existe solo una sección con tornillos, la tensión transmitida por las láminas en dicha sección es también P . Entonces:

$$r = 2(P/2)/P = 1.0$$



Espaciamiento de los tornillos perpendicular a la dirección del esfuerzo, s .

$$\text{Ec. (3.22): } F_t = (1.0 - 0.90r + 3rd/s)F_u \leq F_u = 2,691.435 \text{ kg/cm}^2 < F_u, \text{ OK}$$

$$\text{Ec. (3.21): } P_n = A_n F_t = 8,490.615 \text{ kg.}$$

Para cortante simple, $\Omega=2.22$, $\phi=0.55$

$$\text{ASD: } P_a = P_n / \Omega = 3,824.601 \text{ kg}$$

$$\text{LRFD: } P_u = P_n / \phi = 4,669.838 \text{ kg}$$

La resistencia a tensión de diseño en la conexión será controlada por:
la sección neta efectiva.

$$\text{ASD: } P_a = 3,824.601 \text{ kg}$$

$$\text{LRFD: } P_u = 4,669.838 \text{ kg}$$

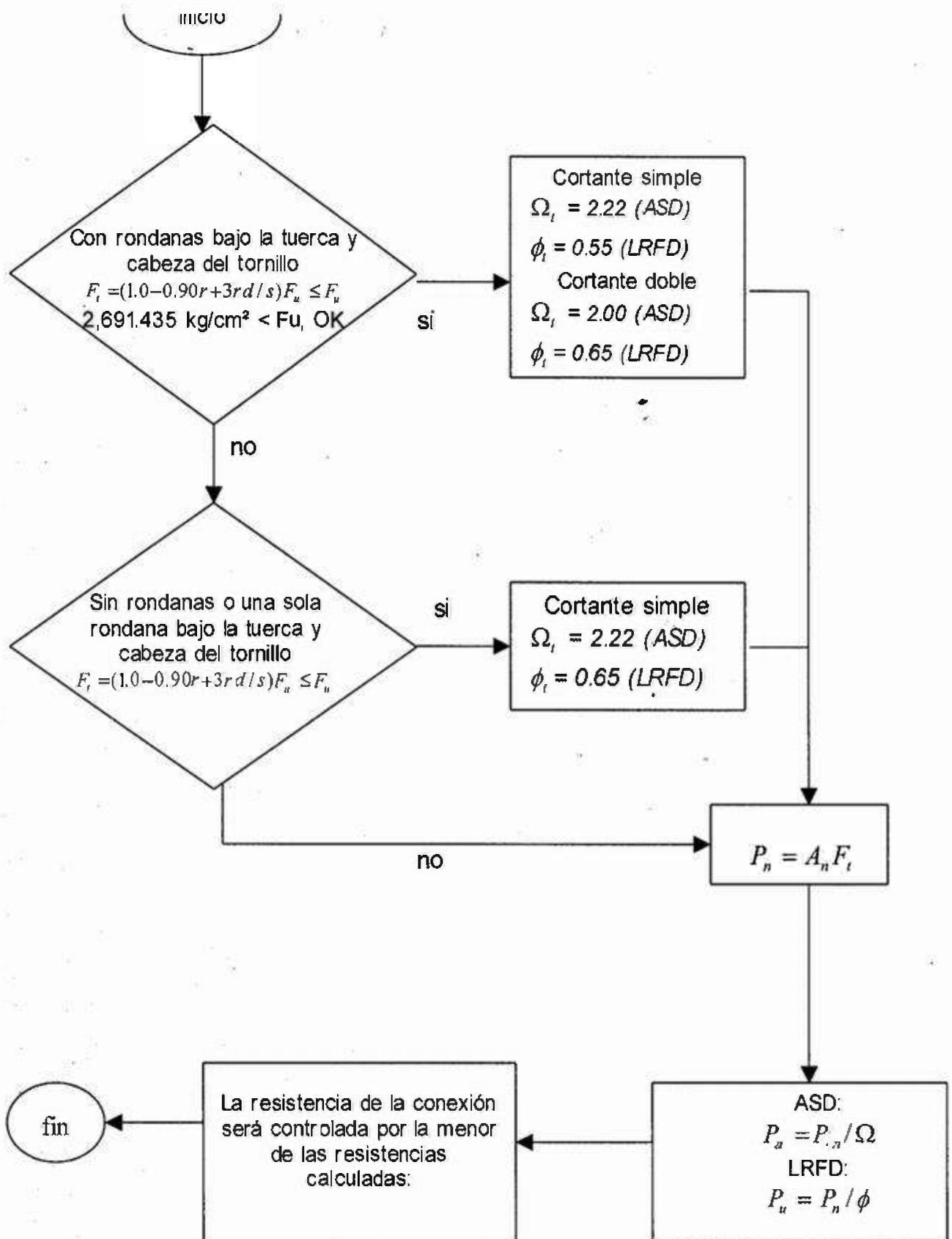
La resistencia de la conexión será controlada por la menor de las resistencias
calculadas:

Por la resistencia a cortante para:

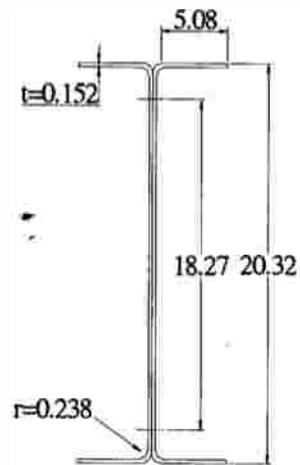
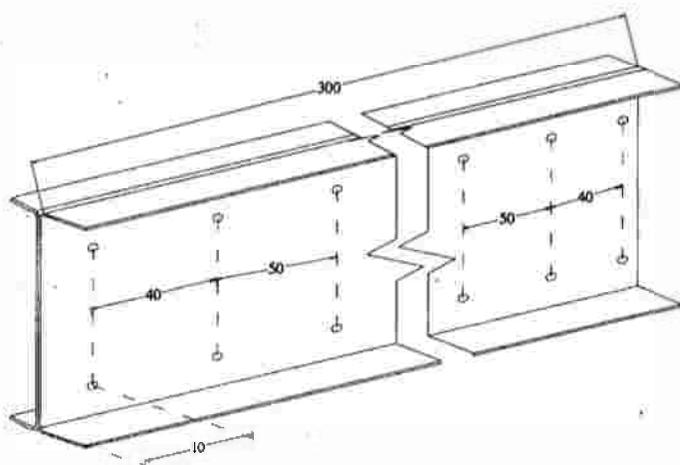
$$\text{ASD: } P_a = 3,447.914 \text{ kg}$$

Por la resistencia a tensión para:

$$\text{LRFD: } P_u = 4,669.838 \text{ kg}$$



tornillos A307 de $\frac{1}{4}$ " (0.635 cm.) de diámetro para unir dos canales para formar la viga I mostrada en la figura. El claro de la viga es de 3.00 mts, con una carga uniforme de 500 kg/cm^2 y la longitud de área de contacto de la reacción de la viga es de 10.0 cms.



Datos:

Acotaciones de dibujo en cms

$$d = 203.2 \text{ mm}, (20.32 \text{ cm})$$

$$R = 0.238 \text{ cm}$$

$$t = 0.152 \text{ cm}$$

$$\text{Diam.Tornillo} = 0.635 \text{ cm}, (\frac{1}{4}'' \text{ A307})$$

$$\text{Ancho de patin } B = 5.08 \text{ cm}$$

$$W = 750 \text{ kg/m}, (7.50 \text{ kg/cm})$$

$$L = 300 \text{ cm}$$

$$N = 10.0 \text{ cm}$$

La separación máxima longitudinal entre tornillos se obtiene del valor menor calculado mediante las Ec. 3.31 y 3.32.

Considerar que los tornillos se colocaran a una distancia d , del extremo del ancho plano del alma. Por consiguiente, la separación vertical entre líneas de tornillos estará dada por la siguiente expresión:

$$g = d - 2(R + t) - 2t = 18.27 \text{ cm}$$

Resistencia a tensión de diseño de tornillos, T_s

Area del tornillo, $A_b = \pi D^2 / 4 = 0.317 \text{ cm}^2$

De la Tabla 3.5.

$F_n = 2,846.00 \text{ kg/cm}^2$, $\Omega = 2.25$, $\phi = 0.75$

Ec. (3.28): $P_n = A_b F = 901.306 \text{ kg}$

ASD: $T_s = P_o = P_n / \Omega = 400.580 \text{ kg}$

LRFD: $P_u = \phi P_n = 675.9793057 \text{ kg}$

↓

$$g = d - 2(R + t) - 2t = 18.27 \text{ cms}$$

↓

$$A_n = \pi D^2 / 4 = 0.317 \text{ cm}^2$$

↓

De la tabla 3.5
 $F_n = 2,846.00 \text{ kg/cm}^2$
 $\Omega = 2.25 \text{ (ASD)}$
 $\phi = 0.75 \text{ (LRFD)}$

↓

$$P_n = A_n F_n = 901.306 \text{ kg}$$

↓

ASD: $T_s = P_a = P_n / \Omega = 400.580 \text{ kg}$
LRFD: $P_u = \phi P_n = 675.9793057 \text{ kg}$

↓

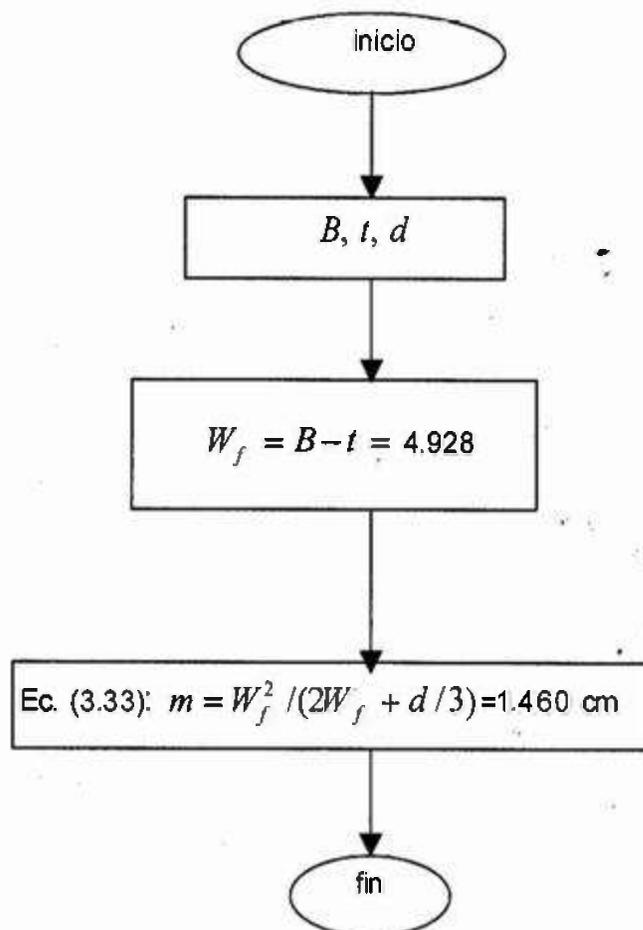
fin

El valor de m para perfiles C sin labios puede ser calculado mediante la Ec.(3.33).

Proyección del patín con respecto a la cara interna del alma:

$$W_f = B - t = 4.928 \text{ cm}$$

$$\text{Ec. (3.33): } m = W_f^2 / (2W_f + d / 3) = 1.460 \text{ cm}$$



El valor de q se puede obtener mediante la Ec. (3.37).

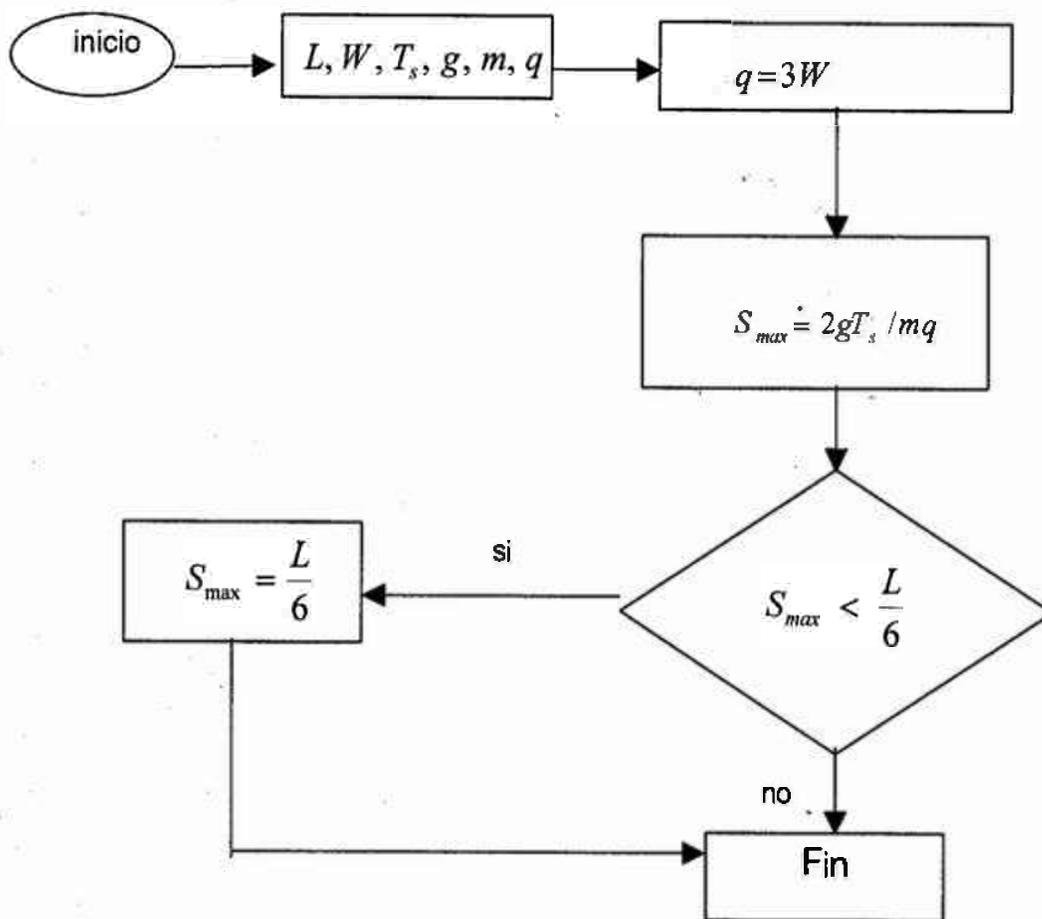
Ec. (3.37): $q = 3W = 22.5 \text{ kg/cm}$

Ec. (3.31): $S_{max} = L/6 = 50 \text{ cm}$

ASD: Ec. (3.32): $S_{max} = 2gT_s / mq = 445.4603814 \text{ cm}$

LRFD: Ec. (3.32): $S_{max} = 2gT_s / mq = 751.7143937 \text{ cm}$

Por lo tanto controla $S_{max} = 50 \text{ cm}$



El desplazamiento de los tendidos en los extremos puede calcularse mediante la Ec. (3.32).

Para cargas concentradas, q está dado por la Ec. (3.38).

Longitud del plano de contacto de la reacción, $N = 10.0$ cm

Reacción, $P = (1/2)WL = 1,125.00$ kg

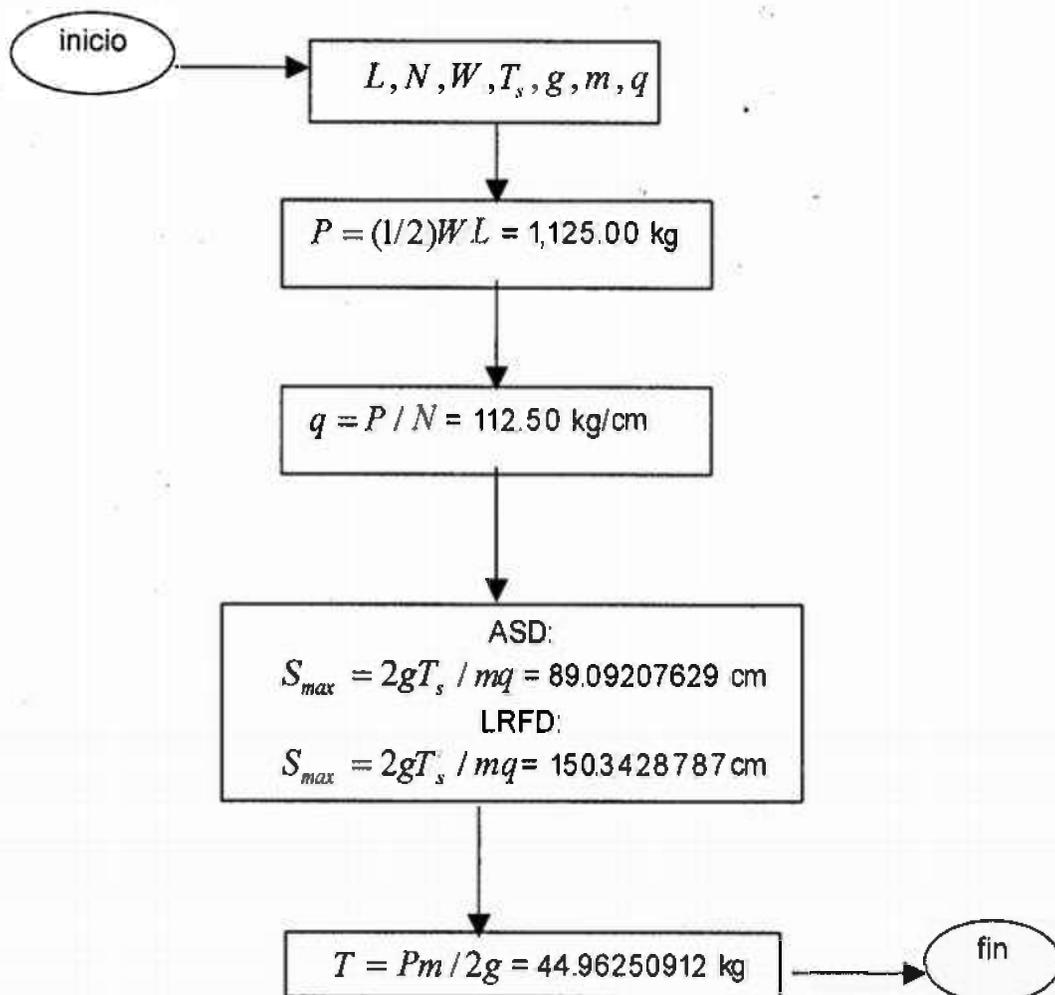
Ec. (3.38): $q = P / N = 112.50$ kg/cm

ASD: Ec. (3.32): $S_{max} = 2gT_s / mq = 89.09207629$ cm

LRFD: Ec. (3.32): $S_{max} = 2gT_s / mq = 150.3428787$ cm

Como $N < S_{max}$, usar la Ec. (3.39):

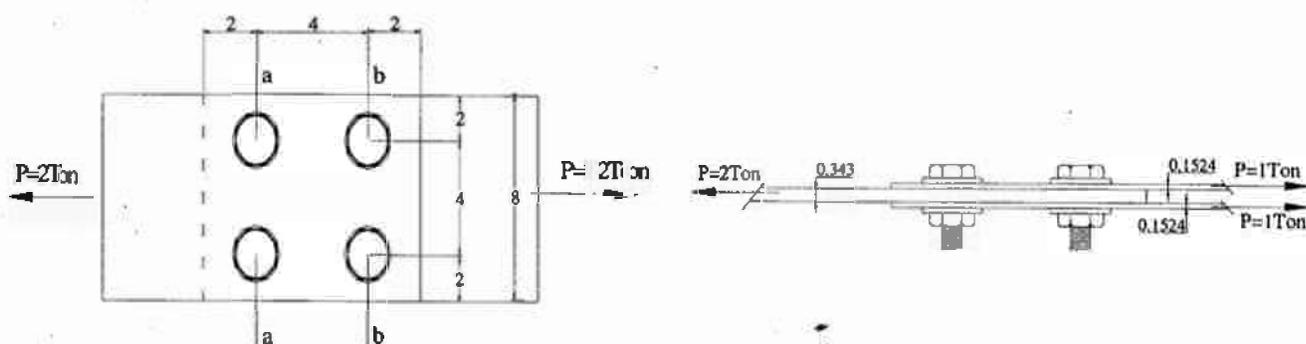
Ec. (3.39): $T = Pm / 2g = 44.96250912$ kg < 400.580 kg, OK



25.

llos a 10 cms de la orilla del
| resto con separaciones de :

Ejemplo 3.3.- Determinar la resistencia de diseño por el método ASD y LRFD para la conexión atornillada mostrada en la figura.



DATOS:

Acotaciones de dibujo en cms

$P = 2 \text{ Ton (2000 kg)}$

Número de tornillos = 4 (A325 con rondana bajo tuerca y cabeza)

$d = 3/8", 9.52\text{mm}, 0.952 \text{ cm (Diámetro)}$.

$t_e = 0.152 \text{ cm. (Espesor de lámina exterior)}$.

$t_i = 0.343 \text{ cm. (Espesor de lámina interior)}$.

$F_y = 3,514 \text{ kg/cm}^2$

$F_u = 4,919 \text{ kg/cm}^2$

$e_1 = 2.00 \text{ cm (Distancia de extremo de los tornillos en dirección paralela al esfuerzo)}$

$e_2 = 2.00 \text{ cm (Distancia de extremo de los tornillos en dirección perpendicular al esfuerzo)}$

$s = 40 \text{ mm, (4.0cm)}$

Ancho lámina = 8.0 cm

$n_b = 2 \text{ (Número de tornillos en la sección)}$

ASD: $P = 2.00$ Ton

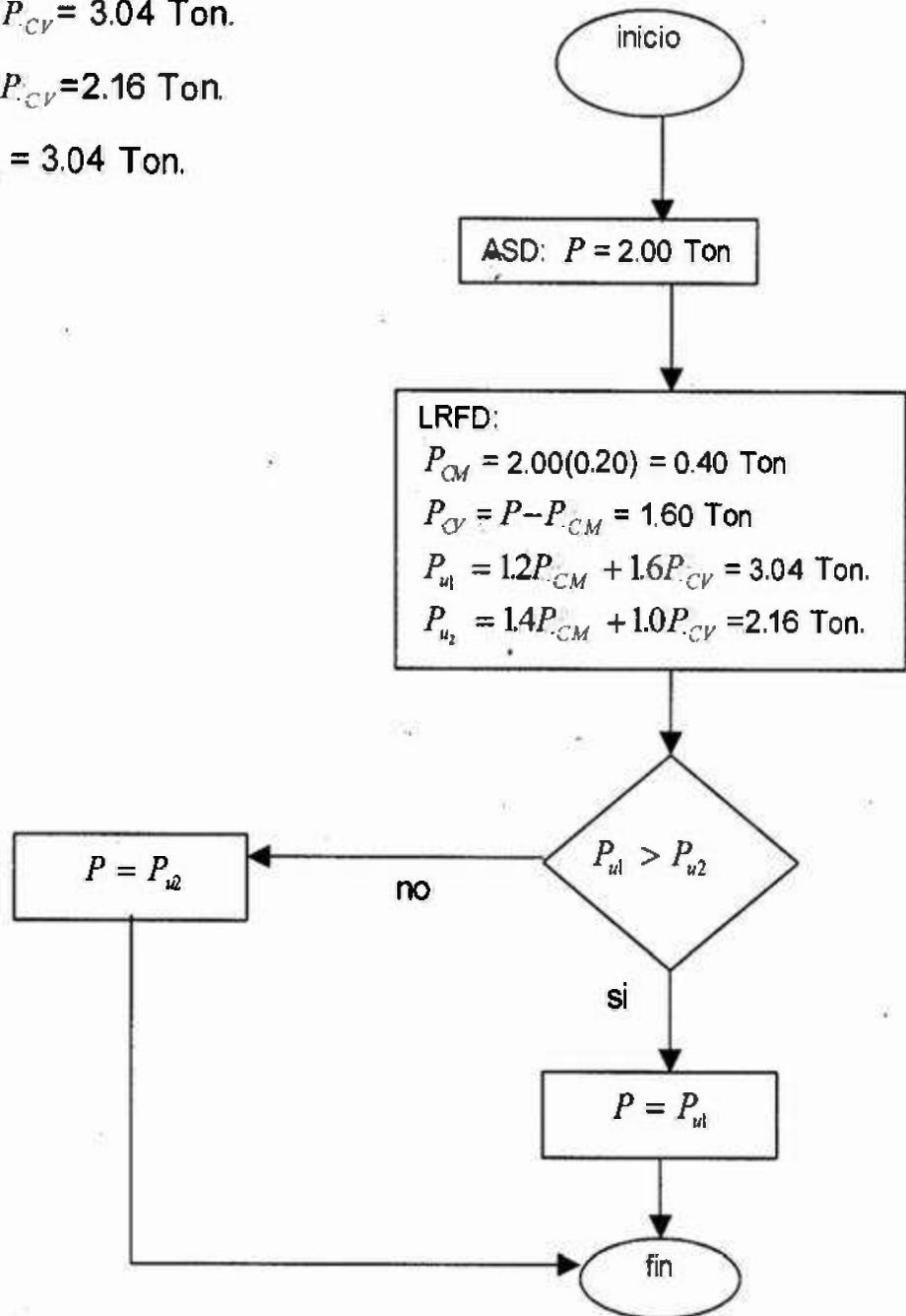
LRFD: $P_{CM} = 2.00(0.20) = 0.40$ Ton

$P_{CV} = P - P_{CM} = 1.60$ Ton

$P_u = 1.2P_{CM} + 1.6P_{CV} = 3.04$ Ton.

$P_{u2} = 1.4P_{CM} + 1.0P_{CV} = 2.16$ Ton.

Por lo tanto, controla $P_u = 3.04$ Ton.



* Resistencia al cortante de las láminas basada en la distancia de extremos e .

La resistencia nominal a cortante de las láminas se obtiene mediante la Ec. (3.13).

Distancia de extremo de las láminas en la dirección del esfuerzo, $e = 2$ cm

Ec. (3.13): $P_n = teF_u = 1,495.376$ kg.

$F_u / F_{sy} = 1.40 > 1.08$, por lo tanto:

$\Omega = 2.00$, $\phi = 0.70$

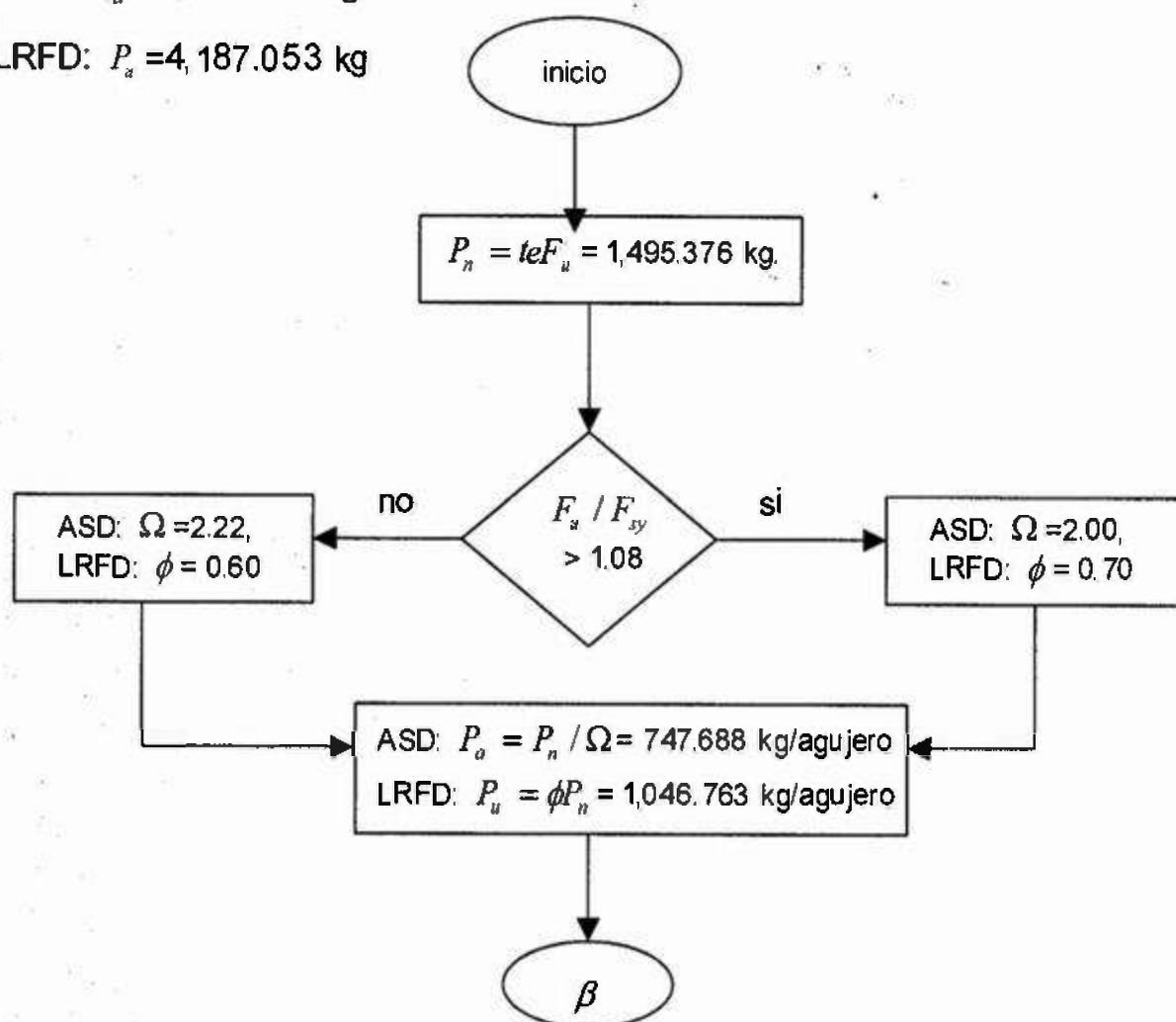
ASD: $P_a = P_n / \Omega = 747.688$ kg/agujero

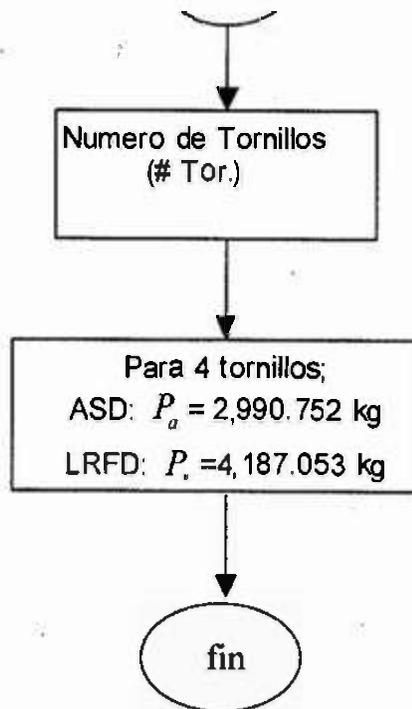
LRFD: $P_u = \phi P_n = 1,046.763$ kg/agujero

Para 4 tornillos;

ASD: $P_a = 2,990.752$ kg

LRFD: $P_u = 4,187.053$ kg





Revisión de distancias de diseño:

Determinación de e_{min} .

Para $F_u / F_{sy} = 1.40 > 1.08$, por lo tanto:

$$\Omega = 2.00, \phi = 0.70$$

Se calcula e_{min} para la lámina de menor espesor que en este caso es la lámina exterior

Carga por tornillo en lámina exterior, $P = 250 \text{ kg}$

Espesor de lámina exterior, $t = 0.152 \text{ cm}$

ASD: Ec. (3.9): $e_{min} = P\Omega / F_u t = 0.669 \text{ cm} < 2 \text{ cm}$, OK

LRFD: Ec.(3.10): $e_{min} = P / \phi F_u t = 0.478 \text{ cm} < 2 \text{ cm}$, OK

Distancia centro a centro entre tornillos debe ser mayor que $3d$.

$4.0 \text{ cm} > 3d = 2.856 \text{ cm}$, OK

1.5 d .

2.0 cm > 1.5 d = 1.428 cm, OK

Distancia del centro del agujero a la orilla del agujero adyacente no deberá ser menor que e_{min} .

En el cálculo de las distancias entre agujeros se deberá usar la dimensión del diámetro estándar, d_h dada en la Tabla 3.4.

Para $d = 0.952$ cm,

$$d_h = d + 0.08 = 1.032 \text{ cm}$$

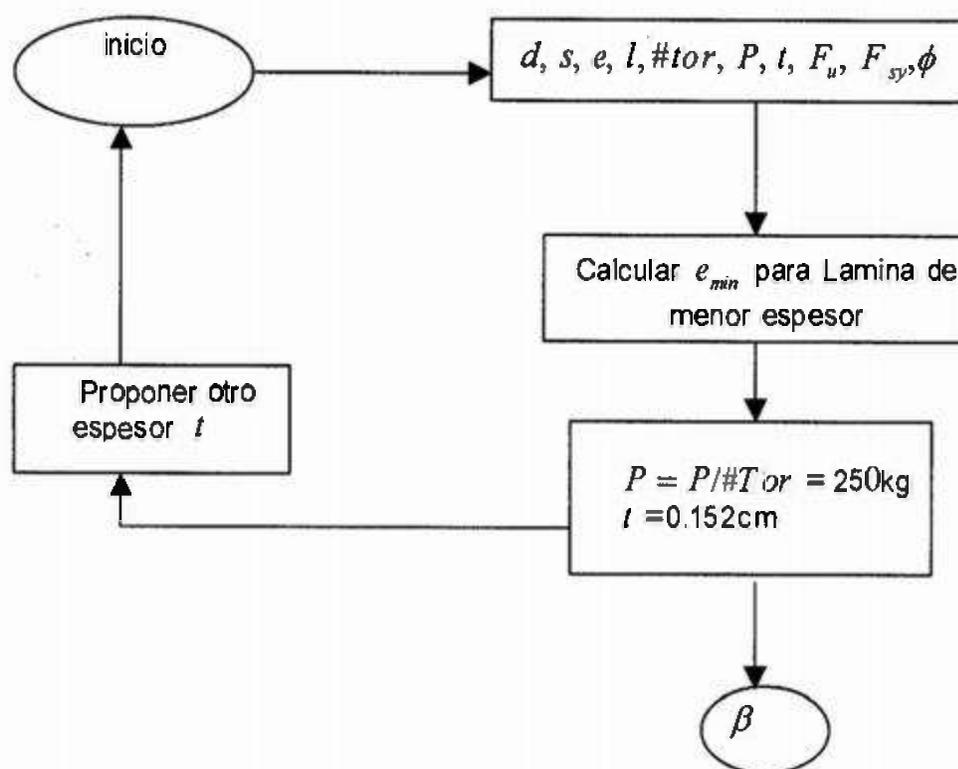
Distancia calculada = $s - d_h / 2 = 3.484 \text{ cm} > e_{min}$, OK

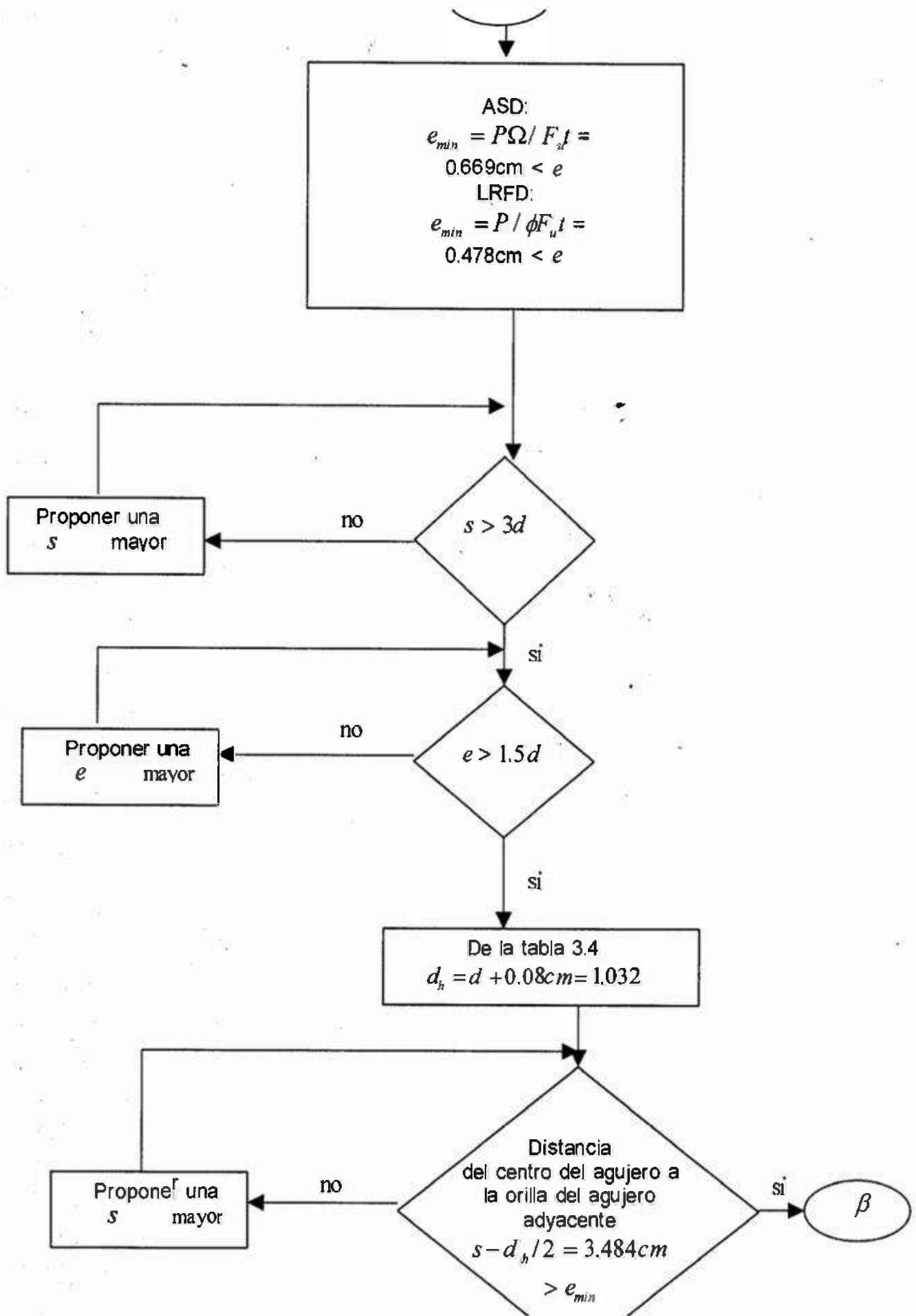
Distancia libre entre orillas de agujeros adyacentes no deberá ser menor que $2d$.

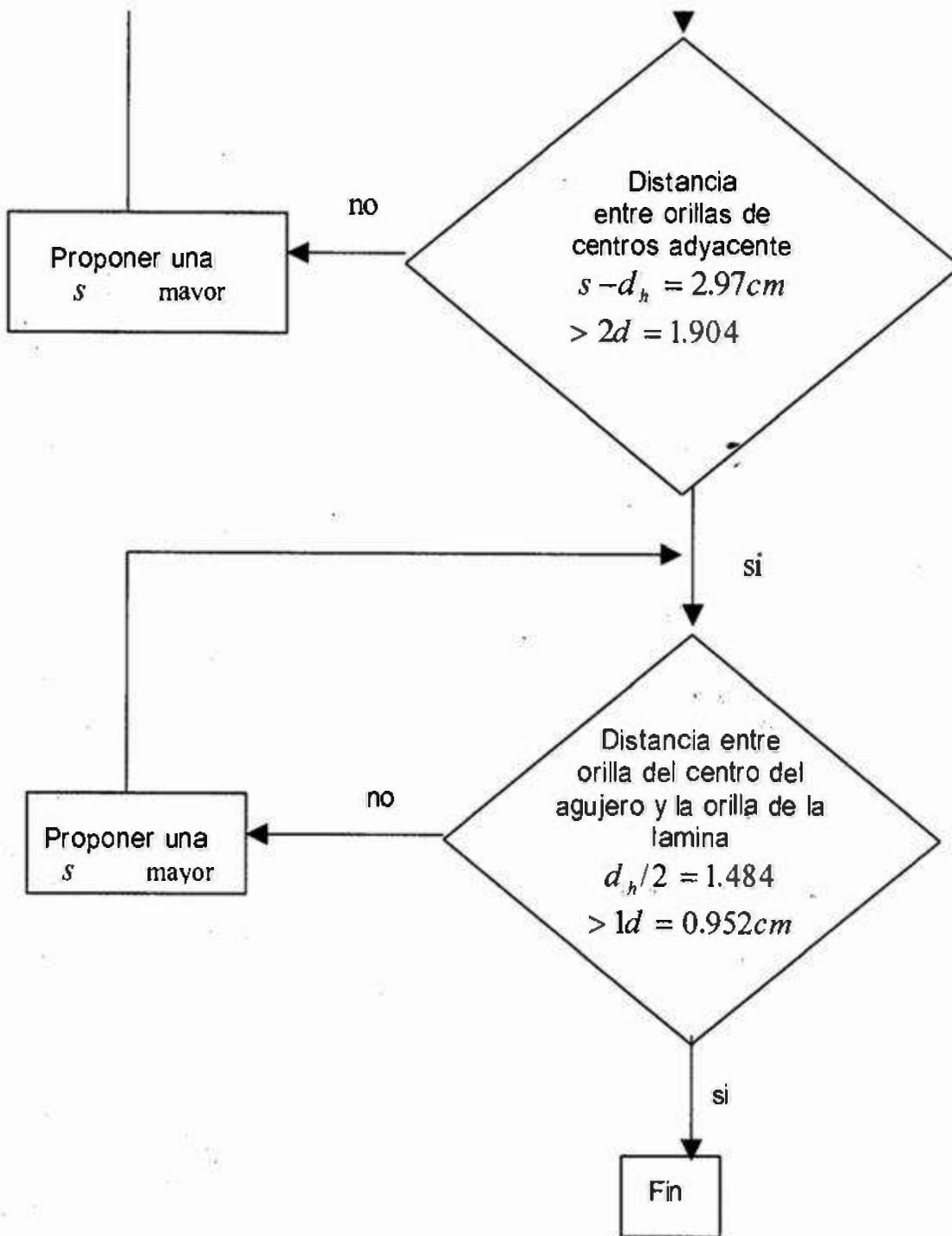
Distancia calculada = $s - d_h = 2.97 \text{ cm} > 2d = 1.904 \text{ cm}$, OK

Distancia entre la orilla del agujero y la orilla de la lámina no deberá ser menor que $1.0d$.

Distancia calculada = $e_1 = d_h / 2 = 1.484 \text{ cm} > 1d = 0.952 \text{ cm}$, OK







La resistencia nominal a cortante se obtiene mediante la Ec. (3.28).

Area bruta del tornillo, $A_b = \pi d^2 / 4 = 0.712 \text{ cm}^2$

Esfuerzo nominal a cortante, $F_n = 5,060 \text{ kg/cm}^2$ (de la Tabla 3.5)

Ec. (3.28): $P_n = A_b F_n = 3,601.76 \text{ kg}$

De la Tabla 3.5 para cortante: $\Omega = 2.4$, $\phi = 0.65$

ASD: $P_a = P_n / \Omega = 1,500.731 \text{ kg/tornillo}$

LRFD: $P_u = \phi P_n = 2,341.141 \text{ kg/tornillo}$

Para 4 tornillos, ASD: $P_a = 6,002.926 \text{ kg}$

LRFD: $P_u = 9,364.564 \text{ kg}$

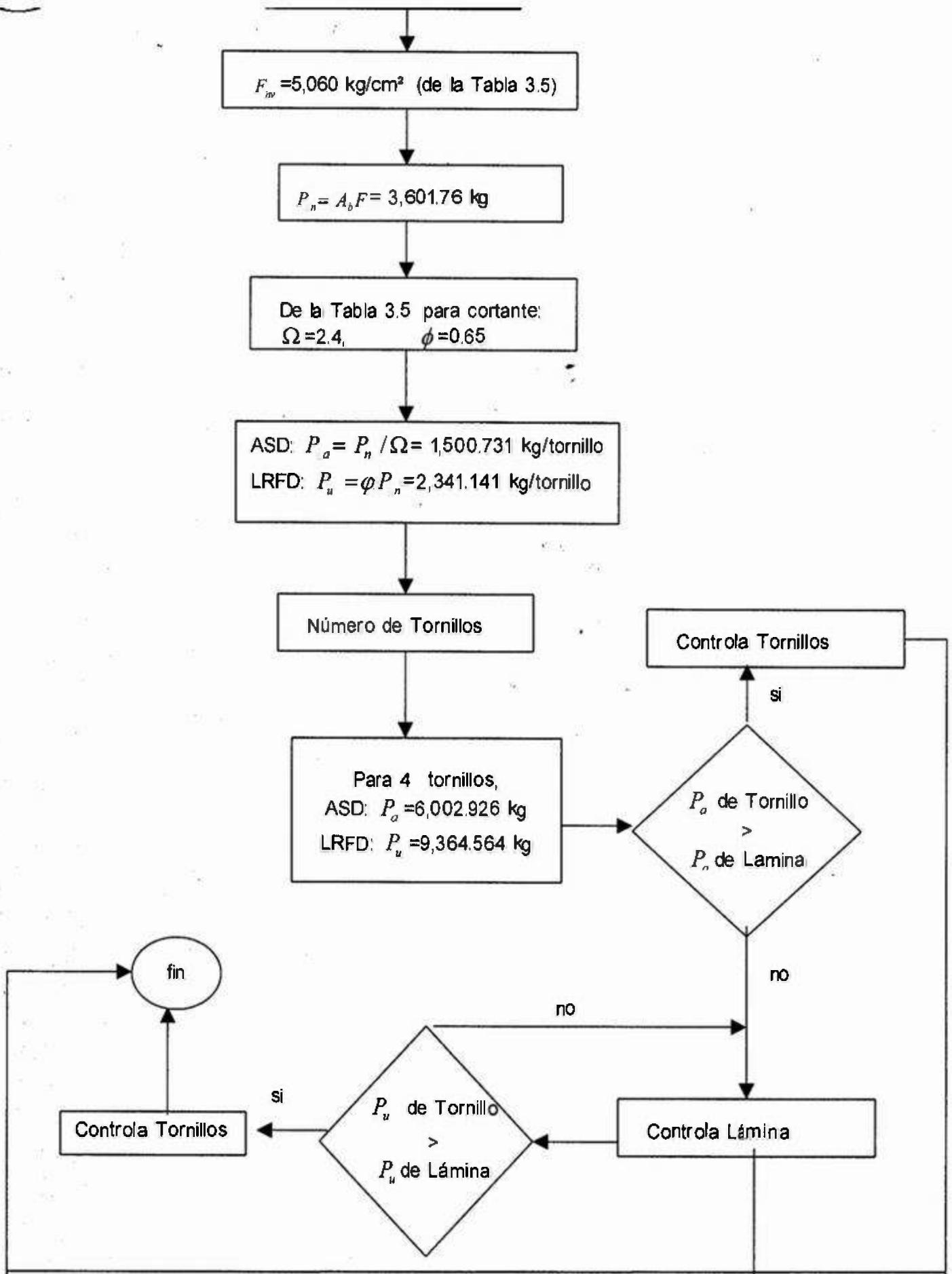
La resistencia de diseño a cortante para ASD será controlada por: Láminas

La resistencia de diseño a cortante para LRFD será controlada por: Láminas

La resistencia de diseño a cortante será:

ASD: $P_a = 2,990.752 \text{ kg}$

LRFD: $P_u = 4,187.053 \text{ kg}$



Esfuerzo de tensión en láminas externas; $f_t = (P/2)/A = 822.368 \text{ kg/cm}^2$

Esfuerzo de tensión en lámina central; $f_t = P/A = 728.863 \text{ kg/cm}^2$

Como el esfuerzo a tensión en las láminas externas es mayor que la lámina central y todas las láminas están hechas con el mismo acero, las láminas externas fallarán primero. Por lo tanto, la resistencia de tensión de dichas láminas controlará el diseño por tensión.

*Fluencia de la sección bruta: $\Omega = 1.67$, $\phi = 0.90$

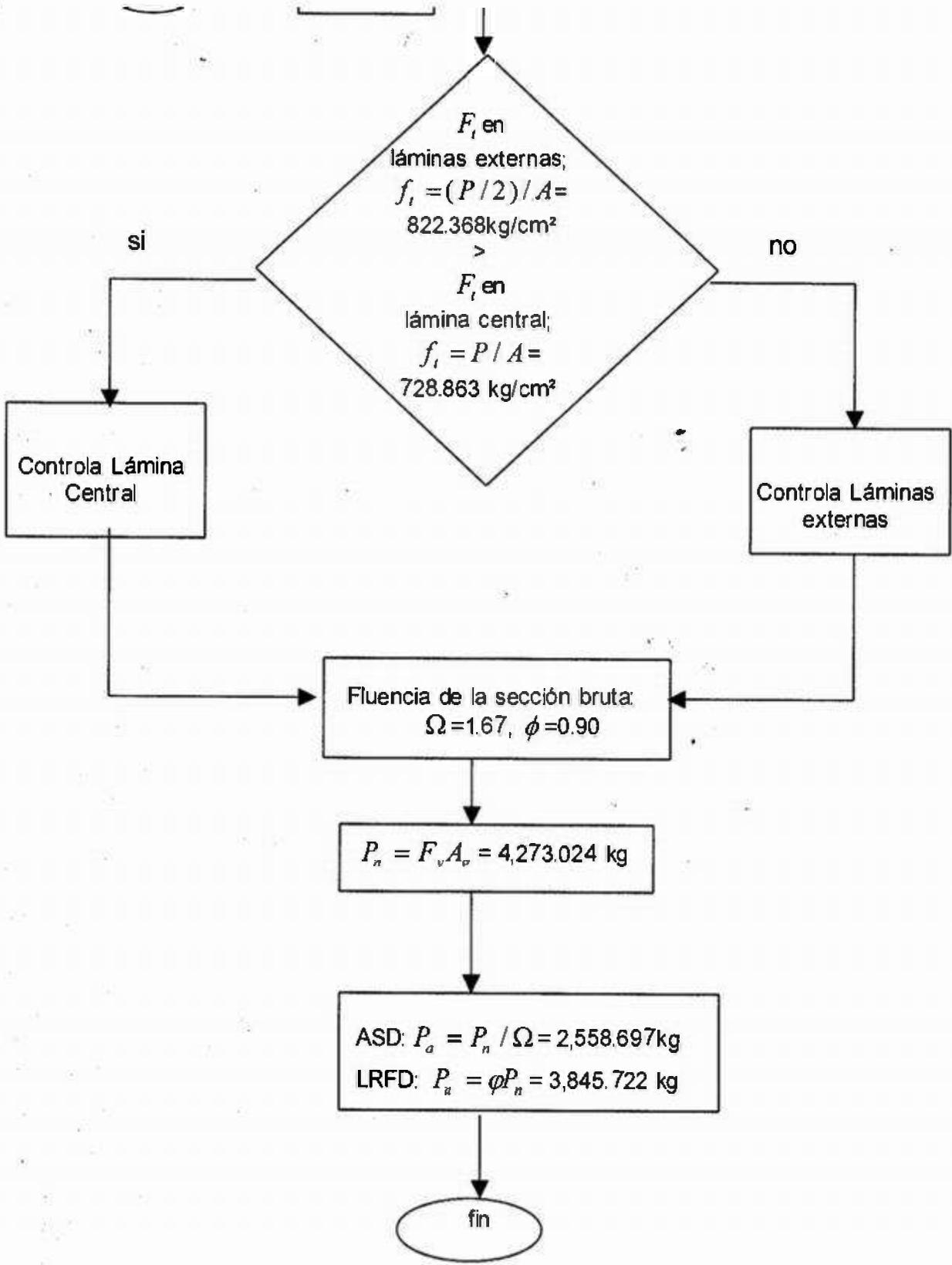
Ec. (3.14): $P_n = F_y A_g = 4,273.024 \text{ kg}$

ASD: $P_a = P_n / \Omega = 2,558.697 \text{ kg}$

LRFD: $P_u = \phi P_n = 3,845.722 \text{ kg}$

*Fractura de la sección neta alejada de la conexión:

No aplica, ya que no hay agujeros en la placa alejados de la conexión.



La resistencia nominal a tensión para la sección neta efectiva está dada por la Ec. (3.21). El esfuerzo nominal, F_t para tornillos con rondanas bajo tuerca y cabeza está dado por la Ec. (3.22).

Determinación de A_e

$U=1.0$, La carga es transmitida por todos los elementos del perfil.

$$A_g = t(\text{ancho lámina}) = 1.216 \text{ cm}^2$$

$$d_h = d + 0.08 = 10.32 \text{ mm}, 1.032 \text{ cm} \text{ (ver Tabla 3.4)}$$

$$n_b = 2$$

$$\text{Ec. (3.19): } A_n = A_g - n_b d_h t = 0.902 \text{ cm}^2$$

$$A_e = U A_n = 0.902 \text{ cm}^2$$

Determinación de r (ver definición en la Sección E3.2).

La fuerza por tornillo en una conexión será la fuerza P dividida entre el número de tornillos.

Para 4 tornillos en la conexión la fuerza transmitida por tornillo será: $P/4$.

Las secciones bajo consideración tienen dos tornillos cada una (secciones a-a y b-b de la figura 3.3. Por consiguiente, la fuerza transmitida por los tornillos en dichas secciones será $2(P/4) = P/2$. Si se asume que la carga en la conexión se transmite de izquierda a derecha, la sección a-a estará sujeta a toda la carga P y la sección b-b a la carga $P/2$, ya que los tornillos en la sección a-a tomaron ya su porción de carga. Por lo tanto:

$$\text{Sección a-a: } r = (P/2)/P = 0.50$$

$$\text{Sección b-b: } r = (P/2)/(P/2) = 1.0$$

Sección a-a:

$$r = 0.50$$

Espaciamiento de los tornillos perpendicular a la dirección del esfuerzo, $s = 4.0$

$$\text{Ec. (3.22): } F_t = (1.0 - 0.90r + 3rd / s)F_u \leq F_u = 4,461.533 \text{ kg/cm}^2 < F_u, \text{ OK}$$

$$P_n = A_e F_t = 4,025.516 \text{ Kg.}$$

Para cortante doble; $\Omega = 2.0$, $\phi = 0.65$

$$\text{ASD: } P_a = P_n / \Omega = 2,012.758 \text{ kg}$$

$$\text{LRFD: } P_u = \phi P_n = 2,616.586 \text{ kg}$$

Sección b-b:

$$r = 1.0$$

Espaciamiento de los tornillos perpendicular a la dirección del esfuerzo, $s = 4.0$

$$\text{Ec. (3.22): } F_t = (1.0 - 0.90r + 3rd / s)F_u \leq F_u = 4,004.066 \text{ kg/cm}^2 < F_u, \text{ OK}$$

$$P_n = A_e F_t = 3,612.757 \text{ Kg.}$$

Para cortante doble, $\Omega = 2.0$, $\phi = 0.65$

$$\text{ASD: } P_a = P_n / \Omega = 1,806.378 \text{ kg}$$

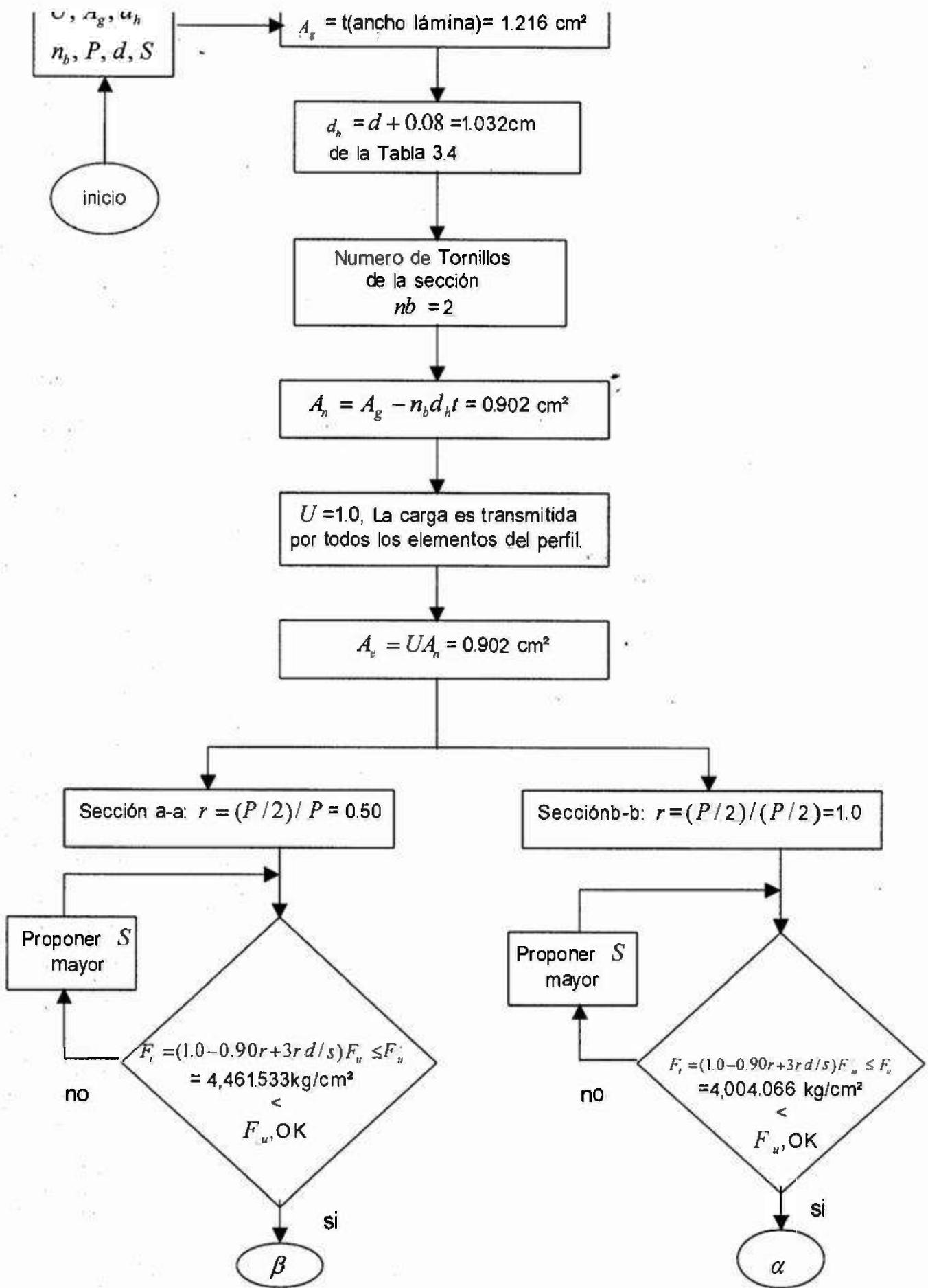
$$\text{LRFD: } P_u = \phi P_n = 2,348.292 \text{ kg}$$

Por consiguiente, la resistencia a tensión de diseño en la conexión será controlada por la sección neta efectiva: b-b.

La resistencia a tensión de diseño será:

$$\text{ASD: } P_a = 1,806.378 \text{ kg}$$

$$\text{LRFD: } P_u = 2,348.292 \text{ kg}$$



$$P_n = A_e F_t = 4,025.516 \text{ kg}$$

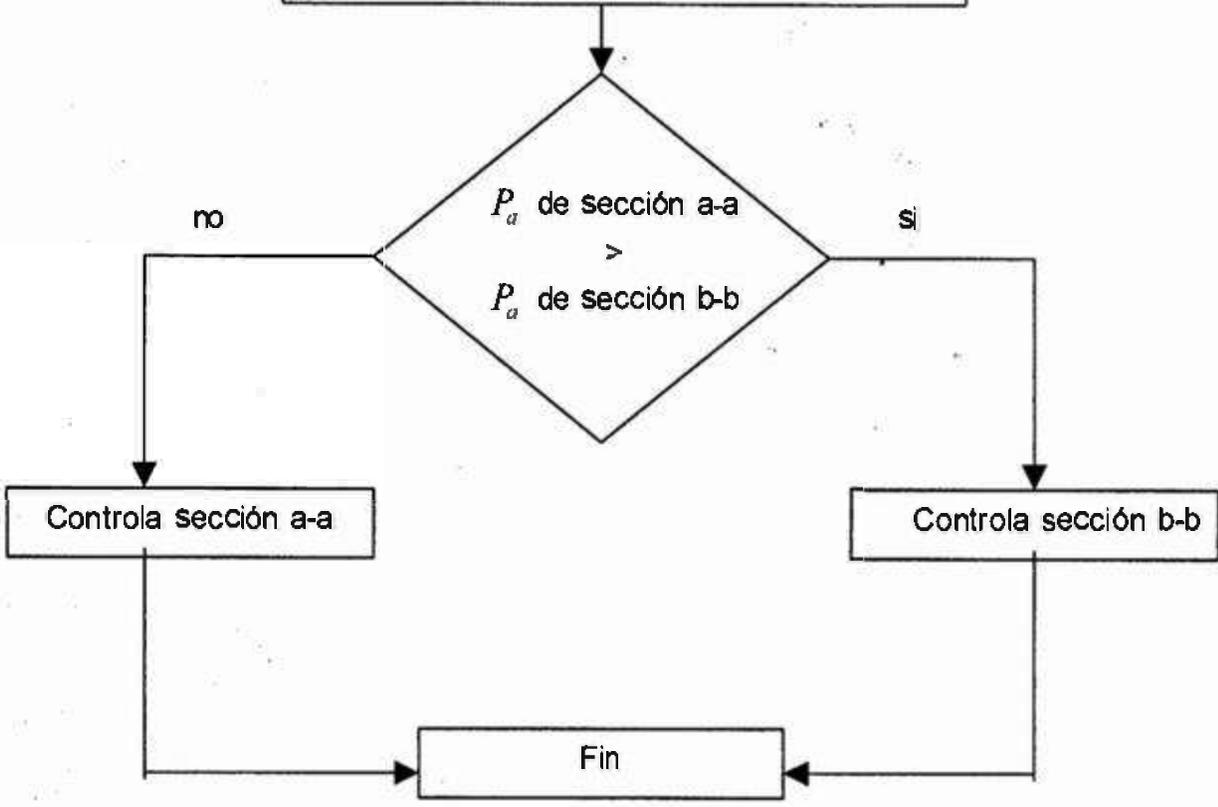
Para cortante doble;
 $\Omega = 2.0, \phi = 0.65$

ASD:
 $P_a = P_n / \Omega = 2,012.758 \text{ kg}$
LRFD:
 $P_u = \phi P_n = 2,616.586 \text{ kg}$

$$P_n = A_e F_t = 3,612.757 \text{ kg}$$

Para cortante doble;
 $\Omega = 2.0, \phi = 0.65$

ASD:
 $P_a = P_n / \Omega = 1,806.378 \text{ kg}$
LRFD:
 $P_u = \phi P_n = 2,348.292 \text{ kg}$



Se asume que no se requiere controlar la deformación de agujeros. La resistencia al aplastamiento de las laminas que contengan tornillos con rondanas bajo la cabeza y tuerca se determina de acuerdo con la tabla de resistencias nominales al aplastamiento para conexiones atornilladas con rondana bajo la cabeza y tuerca del tornillo de la sección E3.3, Aplastamiento, del AISI 1996.

De aquí: Como $t=1.52$ mm, entonces, 0.91 mm $< t < 4.76$ mm,
y como $F_u / F_y = 1.40 > 1.08$ entonces: $\Omega = 2.22$, $\phi = 0.55$

Para láminas sujetas a cortante doble, la resistencia nominal al aplastamiento de la lámina central estará dada por:

$$P_n = 3.3F_u d t_i = 5,300.561 \text{ Kg.}$$

$$\text{ASD: } P_a = P_n / \Omega = 2,387.640 \text{ kg/agujero}$$

$$\text{LRFD: } P_u = \phi P_n = 2,915.309 \text{ kg/agujero}$$

$$\text{Para 4 agujeros; ASD: } P_a = 9,550.560 \text{ kg}$$

$$\text{LRFD: } P_u = 11,661.23 \text{ kg}$$

Para láminas externas, la Tabla de resistencias nominales establece que:

$$P_n = 3.0F_u d t_e = 2,135.397 \text{ kg}$$

$$\Omega = 2.22, \phi = 0.60$$

$$\text{ASD: } P_a = P_n / \Omega = 961.891 \text{ kg/agujero}$$

$$\text{LRFD: } P_u = \phi P_n = 1,281.238 \text{ kg/agujero}$$

$$\text{LRFD: } P_u = 5,124.953 \text{ kg}$$

Por consiguiente, la resistencia al aplastamiento es controlada por las láminas externas.

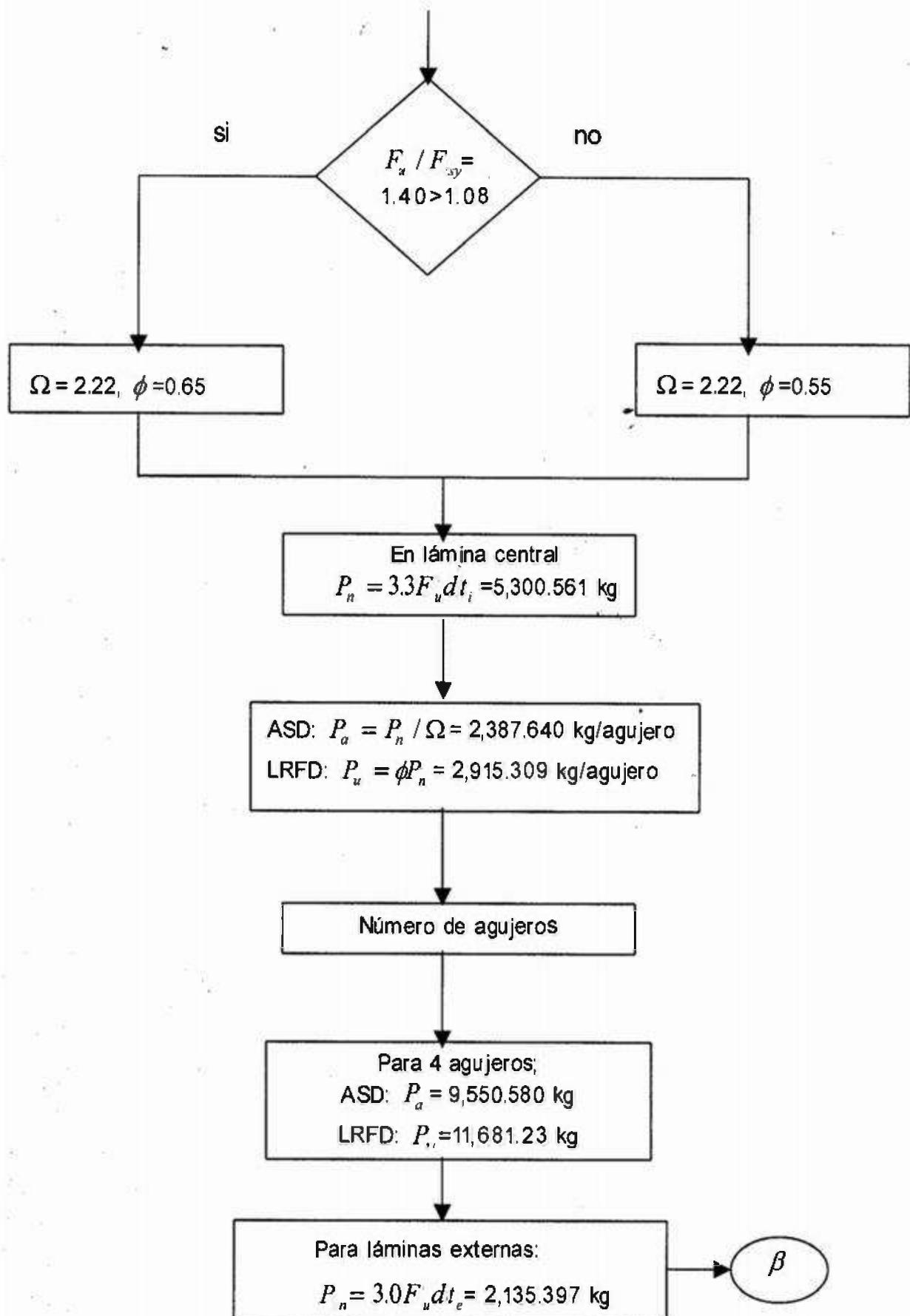
$$\text{ASD: } P_a = 3,847.562 \text{ kg}$$

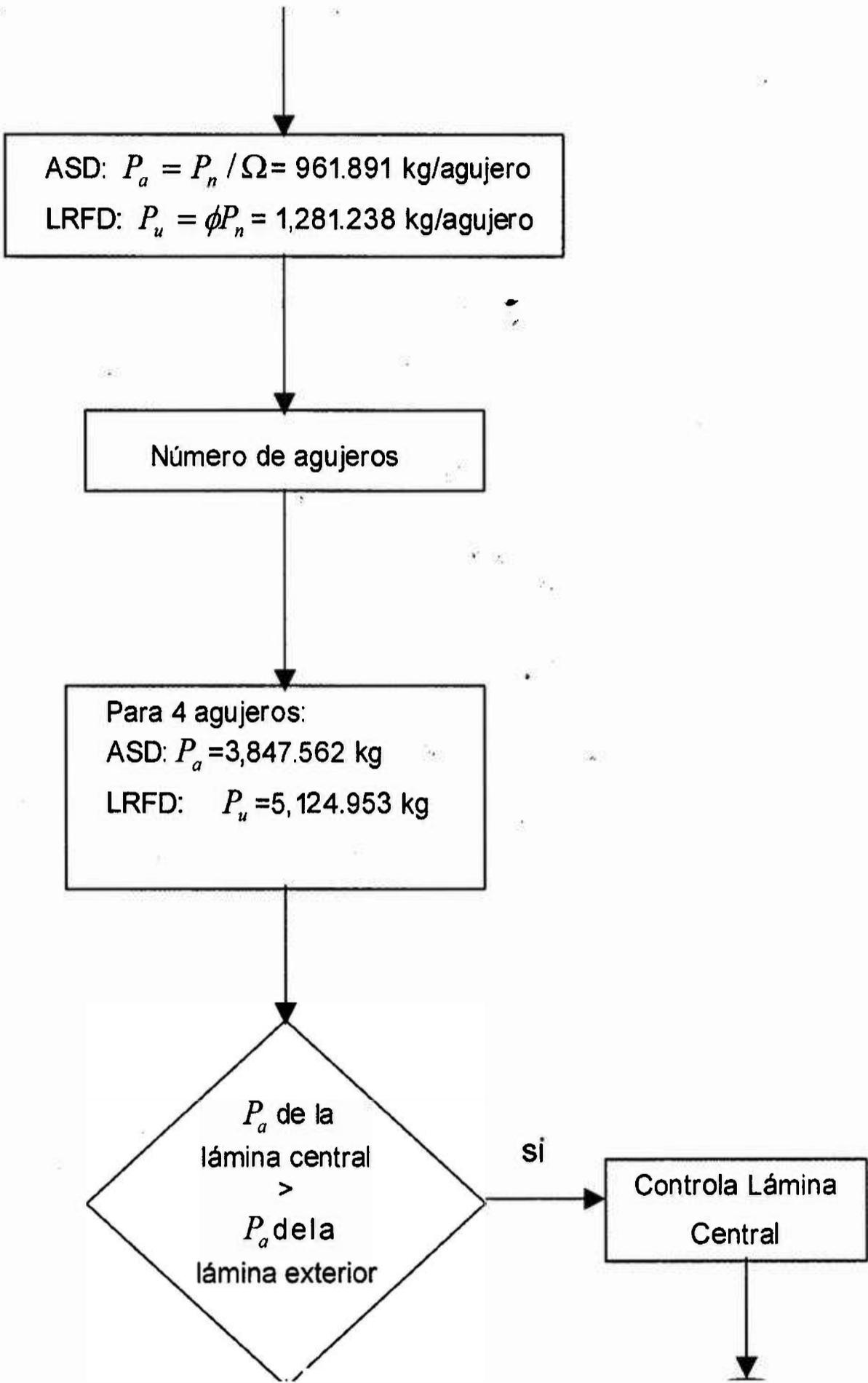
$$\text{LRFD: } P_u = 5,124.953 \text{ kg}$$

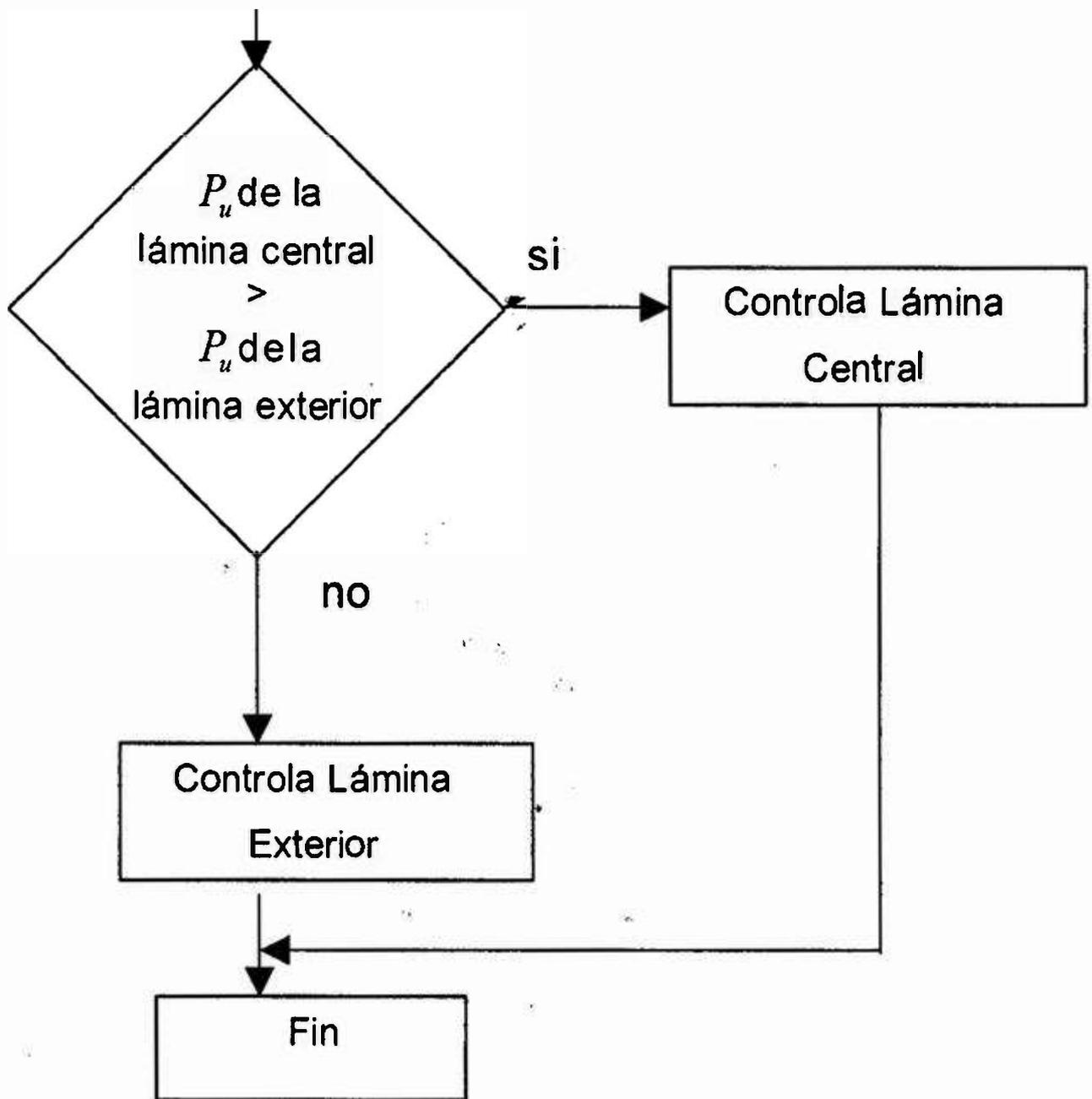
La resistencia de la conexión será controlada por la menor de las resistencias calculadas:

$$\text{ASD: } P_a = 1,806.378 \text{ kg} > 2,000/2 = 1,000.00 \text{ kg, OK}$$

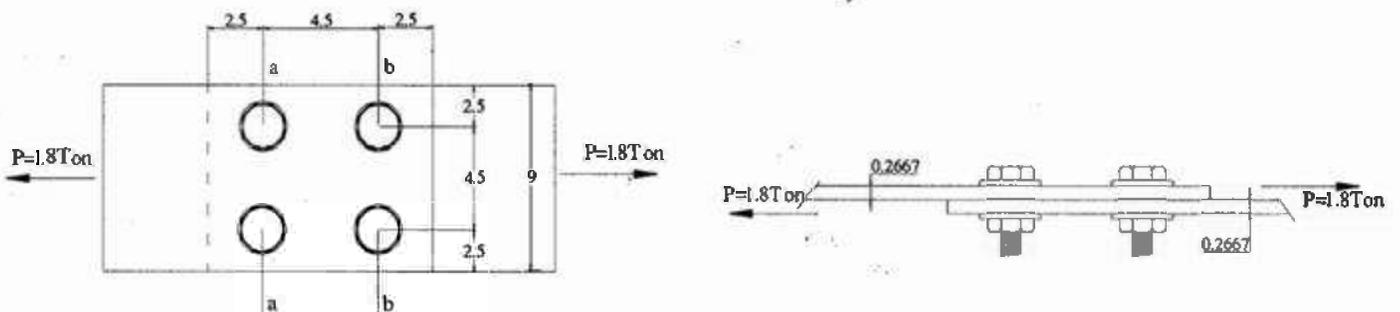
$$\text{LRFD: } P_u = 2,348.292 \text{ kg} > 3,040/2 = 1,520.00 \text{ kg, OK}$$







Ejemplo de la conexión por el método AISC y LRFD de la conexión de aprieteamiento mostrada en la Figura es adecuada para la resistencia requerida. Asumir que el 20% de la resistencia requerida es carga muerta y el resto carga viva. Considerar cuatro tornillos A307 de 1/2" (12.7 mm) de diámetro y lámina de acero con $F_y = 2,319 \text{ kg/cm}^2$ y $F_u = 3,162 \text{ kg/cm}^2$. Asuma que serán usadas rondanas bajo la cabeza y tuerca del tornillo y que la rosca será excluida del plano de corte.



DATOS:

Acotaciones de dibujo en cms

Considerar agujeros estándar.

$P = 1.8 \text{ Ton}$ (1,800kg)

No. Tornillos = 4 (A307, con rondana bajo tuerca y cabeza)

Diámetro $d = 1/2"$, 12.7mm, 1.27 cm.

$t_e = 0.2667 \text{ cm}$.

$F_y = 2,319 \text{ kg/cm}^2$

$F_u = 3,162 \text{ kg/cm}^2$

$e_1 = 2.50 \text{ cm}$

$e_2 = 2.50 \text{ cm}$

$s = 45 \text{ mm}$, (4.5cm)

Ancho lámina = 9.5 cm

$n_b = 2$ (número de tornillos en la sección)

ASD: $P=1.80\text{Ton}$

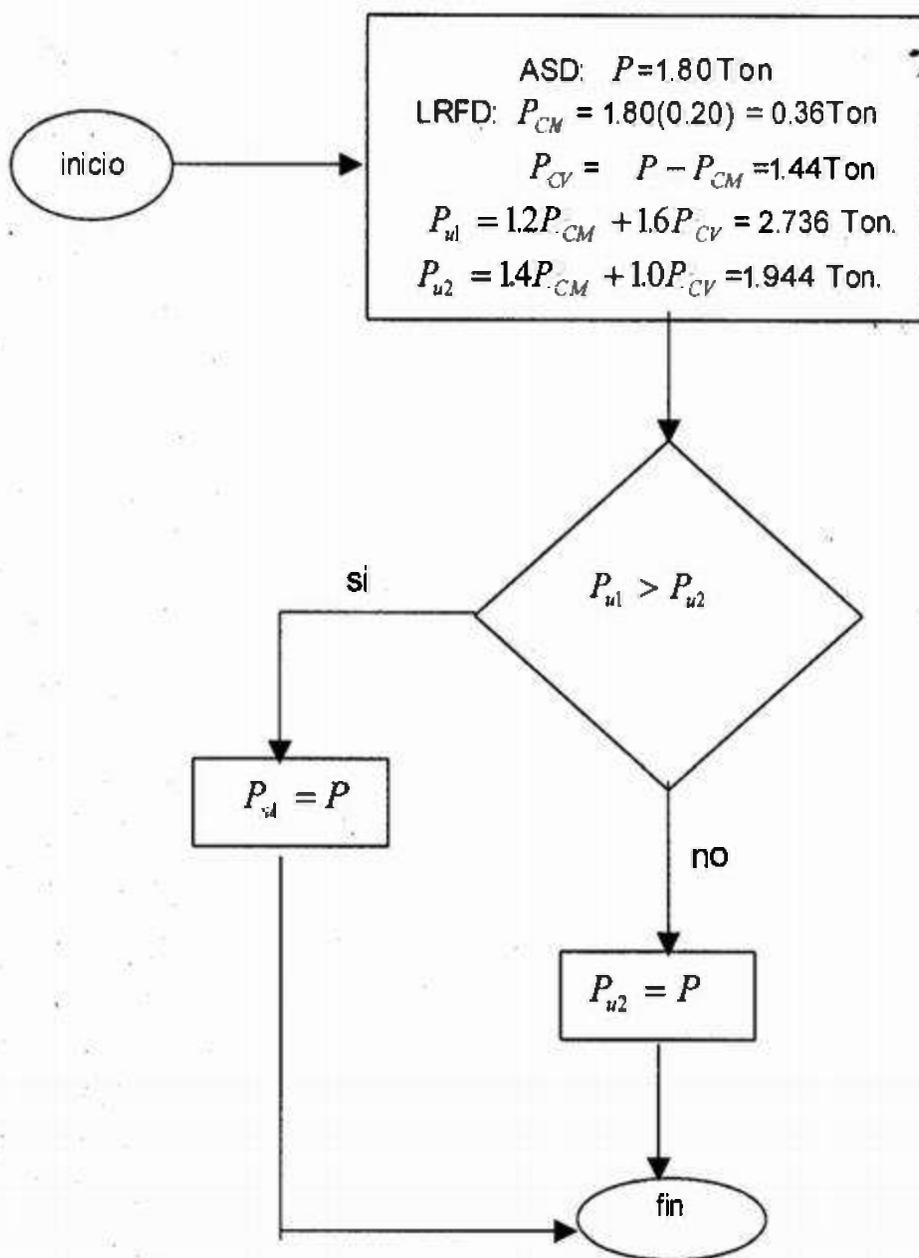
LRFD: $P_{CM} = 1.80(0.20) = 0.36\text{Ton}$

$P_{CV} = P - P_{CM} = 1.44\text{Ton}$

$P_{u1} = 1.2P_{CM} + 1.6P_{CV} = 2.736\text{Ton.}$

$P_{u2} = 1.4P_{CM} + 1.0P_{CV} = 1.944\text{Ton.}$

Por lo tanto, controla $P_u = 2.736\text{Ton.}$



* Resistencia al cortante de las láminas basada en la distancia de extremos e .

La resistencia nominal a cortante de las láminas se obtiene mediante la Ec.(3.13).

Distancia de extremo de las láminas en la dirección del esfuerzo, $e = 2.5$ cm

Ec. (3.13): $P_n = teF_u = 2,108.264$ kg.

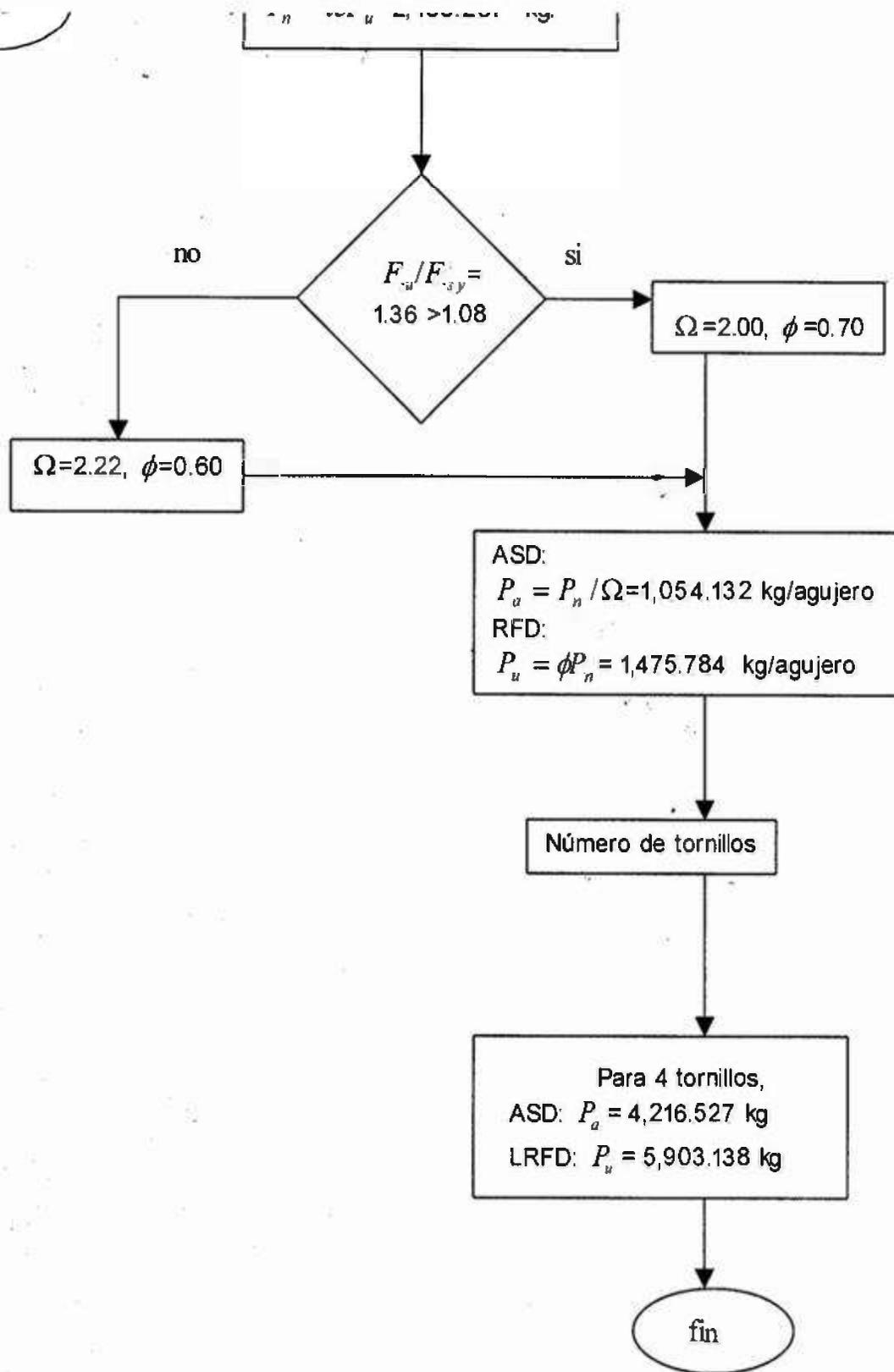
$F_u / F_{3y} = 1.36 > 1.08$, por lo tanto: $\Omega = 2.00$, $\phi = 0.70$

ASD: $P_a = P_n / \Omega = 1,054.132$ kg/agujero

LRFD $P_u = \phi P_n = 1,475.784$ kg/agujero

Para 4 tornillos, ASD: $P_a = 4,216.527$ kg

LRFD: $P_u = 5,903.138$ kg



Determinación de e_{min} .

Para $F_u / F_{sy} = 1.36 > 1.08$, por lo tanto: $\Omega = 2.00$, $\phi = 0.70$

Carga por tornillo, $P = 450\text{kg}$

Espesor de lámina, $t = 0.2667\text{kg}$

ASD: Ec. (3.9): $e_{min} = P\Omega / F_u t = 1.067\text{cm} < 2.5\text{cm}$, OK

LRFD: Ec. (3.10): $e_{min} = P / \phi F_u t = 0.762\text{cm} < 2.5\text{cm}$, OK

Distancia centro a centro entre tornillos debe ser mayor que $3d$.

$$4.5\text{cm} > 3d = 3.81\text{cm}, \text{ OK}$$

Distancia entre el centro del tornillo y la orilla de la lámina debe ser mayor que $1.5d$.

$$2.5\text{cm} > 1.5d = 1.905\text{cm}, \text{ OK}$$

Distancia del centro del agujero a la orilla del agujero adyacente no deberá ser menor que e_{min} .

En el cálculo de las distancias entre agujeros se deberá usar la dimensión del diámetro estándar, d_h dada en la Tabla 3.4.

Para $d = 1.27\text{cm}$,

$$d_h = d + 0.16\text{cm} = 1.43\text{cm}$$

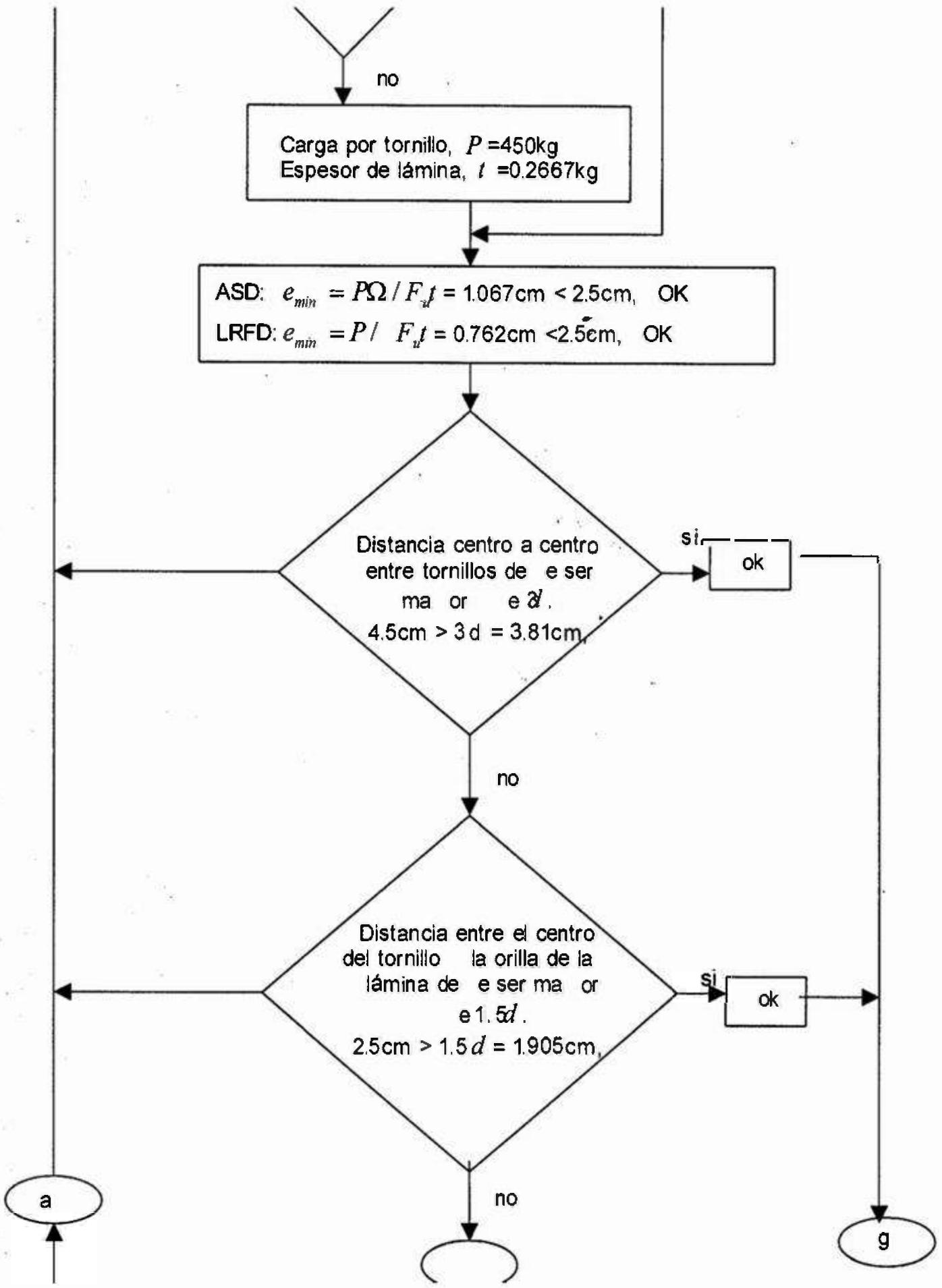
Distancia calculada; $s - d_h / 2 = 3.785\text{cm} > e_{min}$, OK

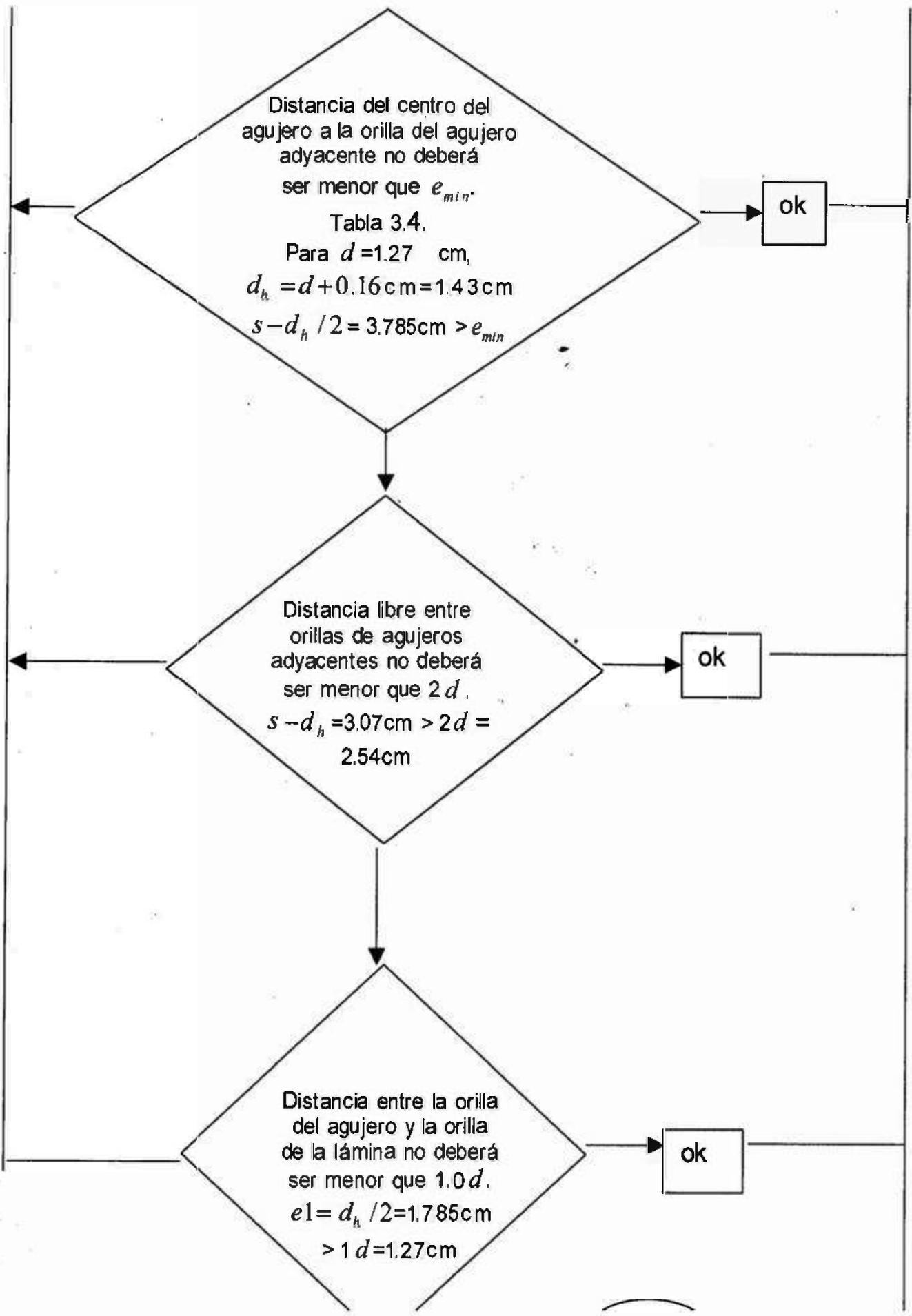
Distancia libre entre orillas de agujeros adyacentes no deberá ser menor que $2d$.

Distancia calculada; $s - d_h = 3.07\text{cm} > 2d = 2.54\text{cm}$, OK

Distancia entre la orilla del agujero y la orilla de la lámina no deberá ser menor que $1.0d$.

Distancia calculada; $e_1 = d_h / 2 = 1.785\text{cm} > 1d = 1.27\text{cm}$, OK





La resistencia nominal a cortante se obtiene mediante la Ec. (3.28).

Area bruta del tornillo, $A_b = \pi d^2 / 4 = 1.267 \text{ cm}^2$

Esfuerzo nominal a cortante, $F_m = 1,897 \text{ kg/cm}^2$ (de la Tabla 3.5)

Ec. (3.28): $P_n = A_b F = 2,403.06 \text{ kg}$

De la Tabla 3.5 para cortante: $\Omega = 2.4$, $\phi = 0.65$

ASD: $P_a = P_n / \Omega = 1,001.275 \text{ kg/tornillo}$

LRFD: $P_u = \phi P_n = 1,561.989 \text{ kg/tornillo}$

Para 4 tornillos, ASD: $P_a = 4,005.100 \text{ kg}$

LRFD: $P_u = 6,247.955 \text{ kg}$

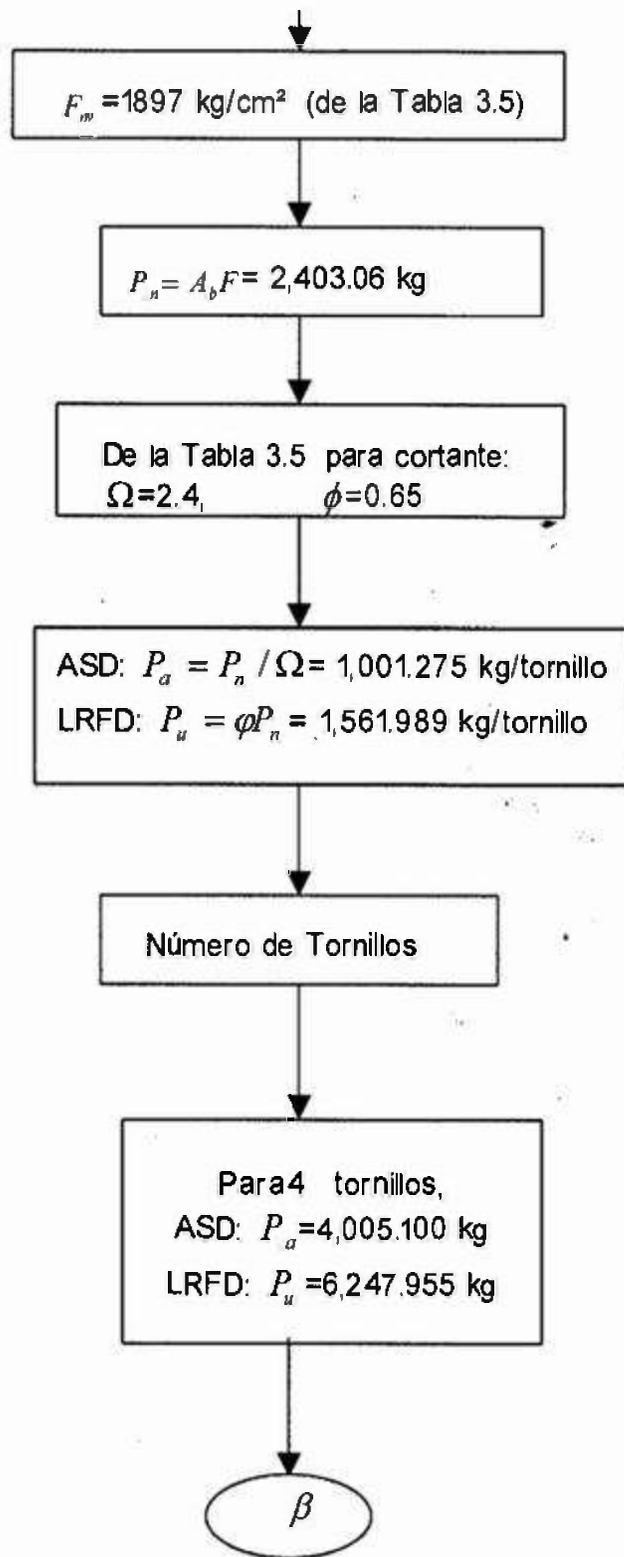
La resistencia de diseño a cortante para ASD será controlada por: Tornillos

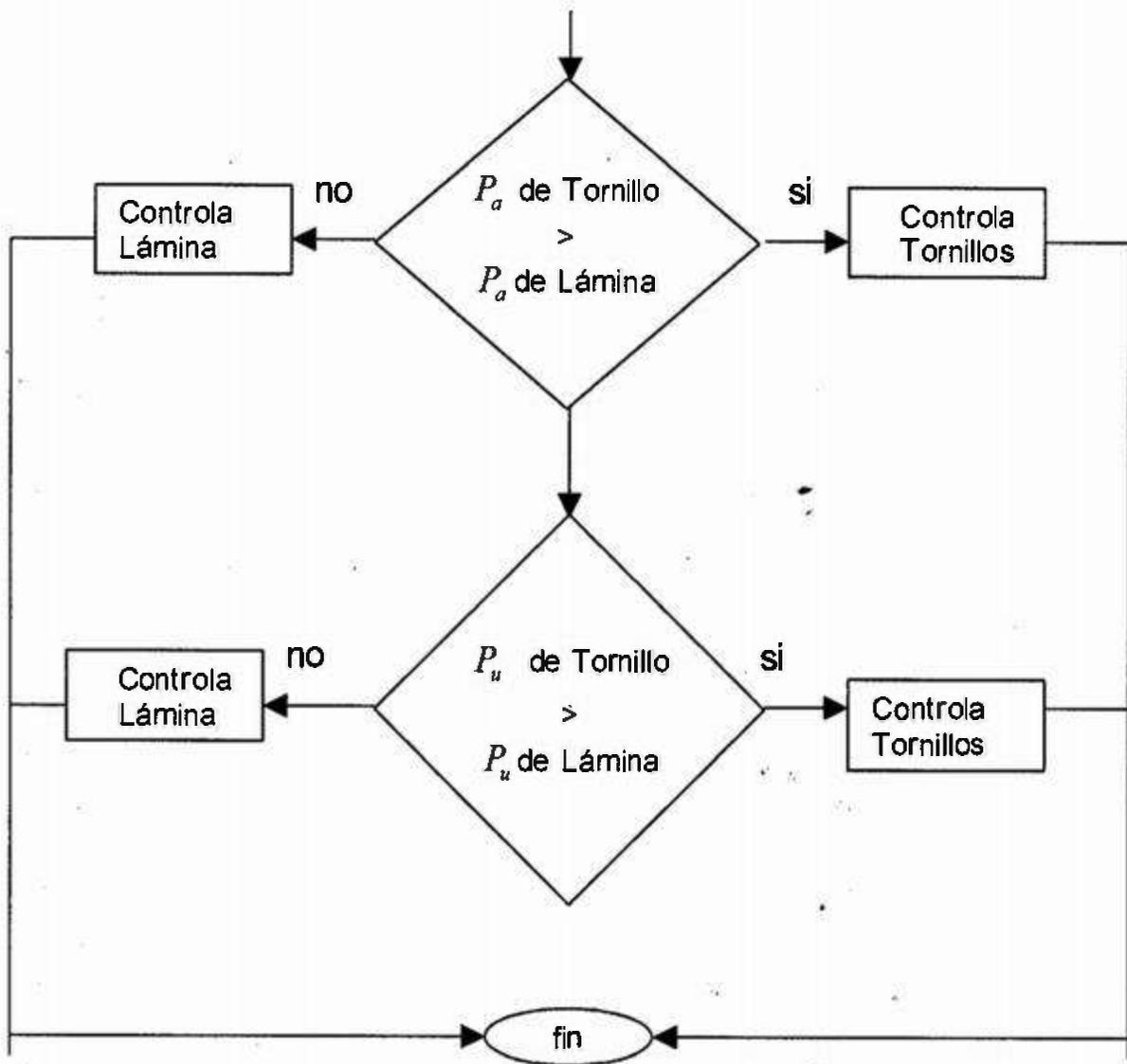
La resistencia de diseño a cortante para LRFD será controlada por: Lámina

La resistencia de diseño a cortante será:

ASD: $P_a = 4,005.100 \text{ kg}$

LRFD: $P_u = 5,903.138 \text{ kg}$





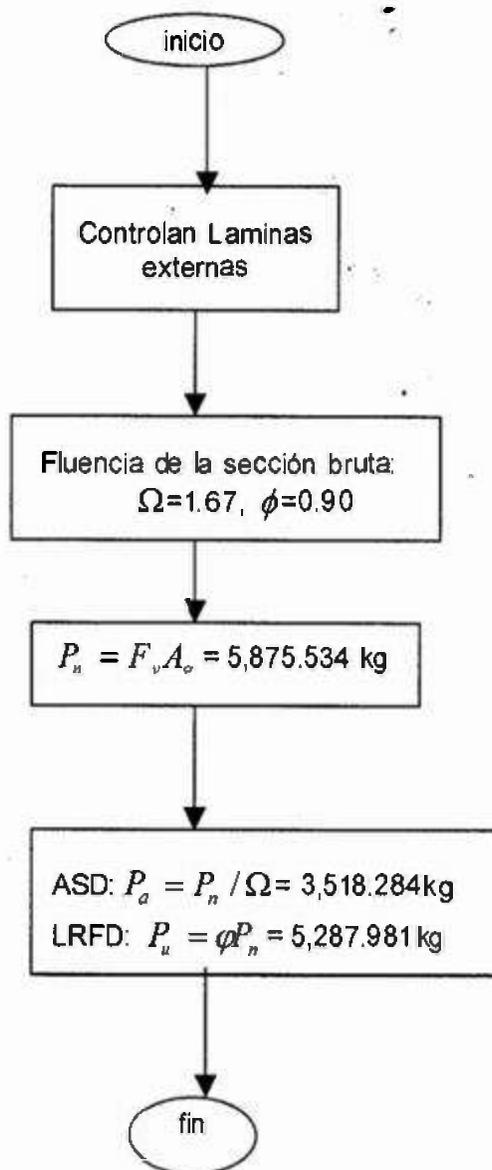
* Fluencia de la sección bruta:

$$\Omega = 1.67 \quad \phi = 0.90$$

Ec. (3.14): $P_n = F_y A_g = 5,875.534 \text{ kg}$

ASD: $P_a = P_n / \Omega = 3,518.284 \text{ kg}$

LRFD: $P_u = \phi P_n = 5,287.981 \text{ kg}$



no aplica, ya que no hay agujeros en la placa alejados de la conexión.

** Fractura de la sección neta efectiva en la conexión:*

La resistencia nominal a tensión para la sección neta efectiva está dada por la Ec. (3.21). El esfuerzo nominal, F_t , para tornillos con rondanas bajo tuerca y cabeza está dado por la Ec. (3.22).

Determinación de A_g .

$U=1.0$, La carga es transmitida por todos los elementos del perfil.

El área neta se calcula mediante la Ec. (3.19).

$$A_g = t(\text{ancho lámina}) = 2.534 \text{ cm}^2$$

$$d_b = d + 1.6 = 14.3 \text{ mm}, 1.43 \text{ cm (ver Tabla 3.)}$$

$$n_b = 2$$

$$\text{Ec. (3.19): } A_n = A_g - n_b d_b t = 1.771 \text{ cm}^2$$

$$A_e = U A_n = 1.771 \text{ cm}^2$$

Determinación de r (ver definición en la Sección E3.2).

La fuerza por tornillo en una conexión será la fuerza P dividida entre el número de tornillos.

Para 4 tornillos en la conexión la fuerza transmitida por tornillo será: $P/4$

Las secciones bajo consideración tienen dos tornillos cada una (secciones a-a y b-b de la Fig. 3.). Por consiguiente, la fuerza transmitida por los tornillos en dichas secciones será $2(P/4) = P/2$. Si se asume que la carga en la conexión se transmite de izquierda a derecha, la sección a-a estará sujeta a toda la carga P y la sección b-b a $P/2$, ya que los tornillos en la sección a-a tomaron ya su porción de carga. Por lo tanto:

$$\text{Sección a-a: } r = (P/2)/P = 0.50$$

$$\text{Sección b-b: } r = (P/2)/(P/2) = 1.0$$

Espaciamiento de los tornillos perpendicular a la dirección del esfuerzo,

$$s=4.5$$

$$\text{Ec. (3.)}: F_t = (1.0 - 0.90r + 3rd / s)F_u \leq F_u = 3,077.680 \text{ kg/cm}^2 < F_u, \text{ OK}$$

$$\text{Ec. (3.)}: P_n = A_e F_t = 5,450.227 \text{ kg}$$

$$\text{Para cortante simple; } \Omega = 2.22, \phi = 0.55$$

$$\text{ASD: } P_a = P_n / \Omega = 2,455.057 \text{ kg}$$

$$\text{LRFD: } P_u = \phi P_n = 2,997.625 \text{ kg}$$

Sección b-b:

$$r=1.0$$

Espaciamiento de los tornillos perpendicular a la dirección del esfuerzo;

$$s=4.5$$

$$\text{Ec. (3.22)}: F_t = (1.0 - 0.90r + 3rd / s)F_u \leq F_u = 2,993.360 \text{ kg/cm}^2 < F_u, \text{ OK}$$

$$P_n = A_e F_t = 5,300.905 \text{ kg}$$

$$\text{Para cortante simple; } \Omega = 2.22, \phi = 0.55$$

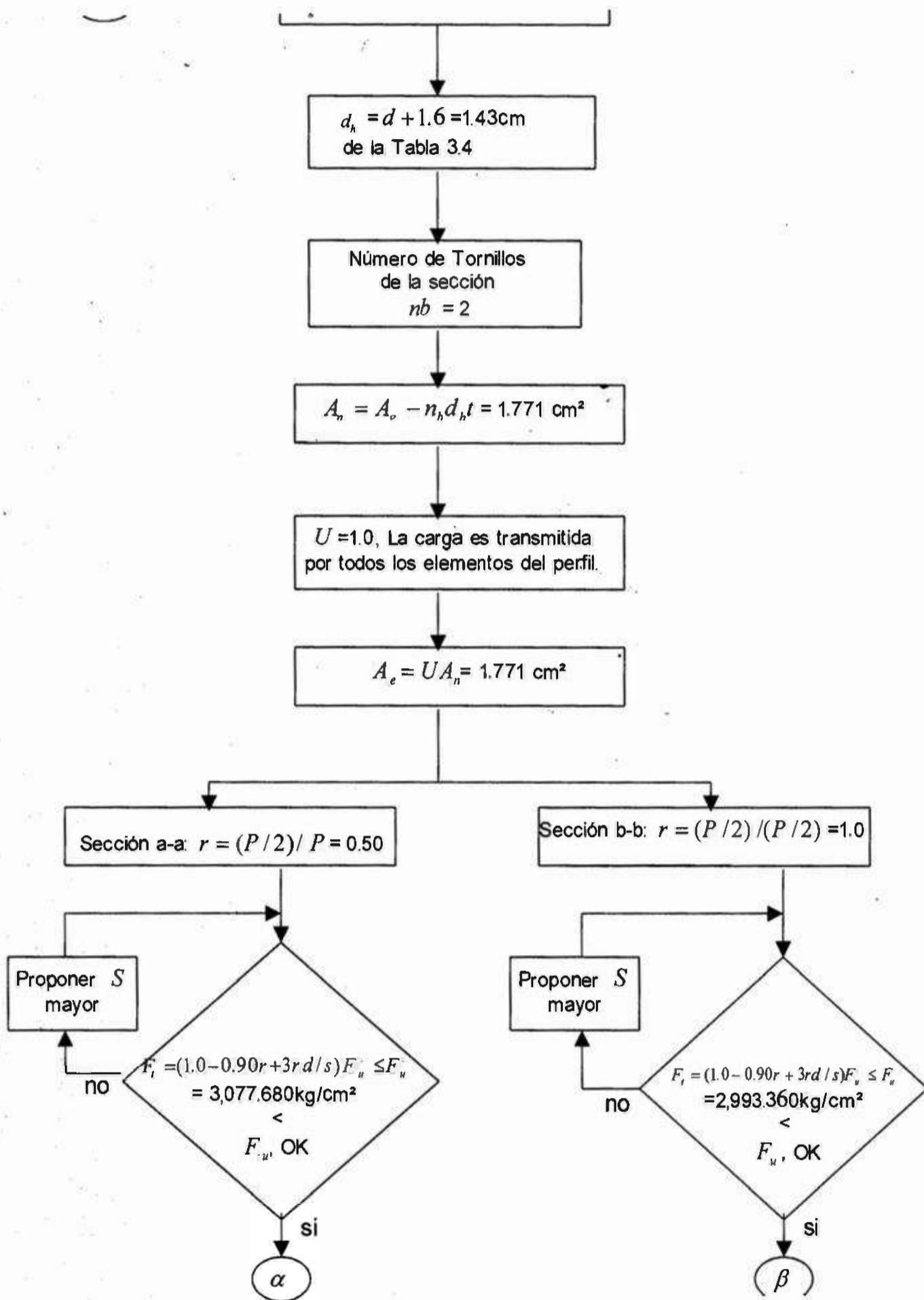
$$\text{ASD: } P_a = P_n / \Omega = 2,387.795 \text{ kg}$$

$$\text{LRFD: } P_u = \phi P_n = 2,915.498 \text{ kg}$$

Por consiguiente, la resistencia a tensión de diseño en la conexión será controlada por la sección neta efectiva: b-b. La resistencia a tensión de diseño será:

$$\text{ASD: } P_a = 2,387.795 \text{ kg}$$

$$\text{LRFD: } P_u = 2,915.498 \text{ kg}$$



$$P_n = A_e F_t = 5,450.227 \text{ kg}$$

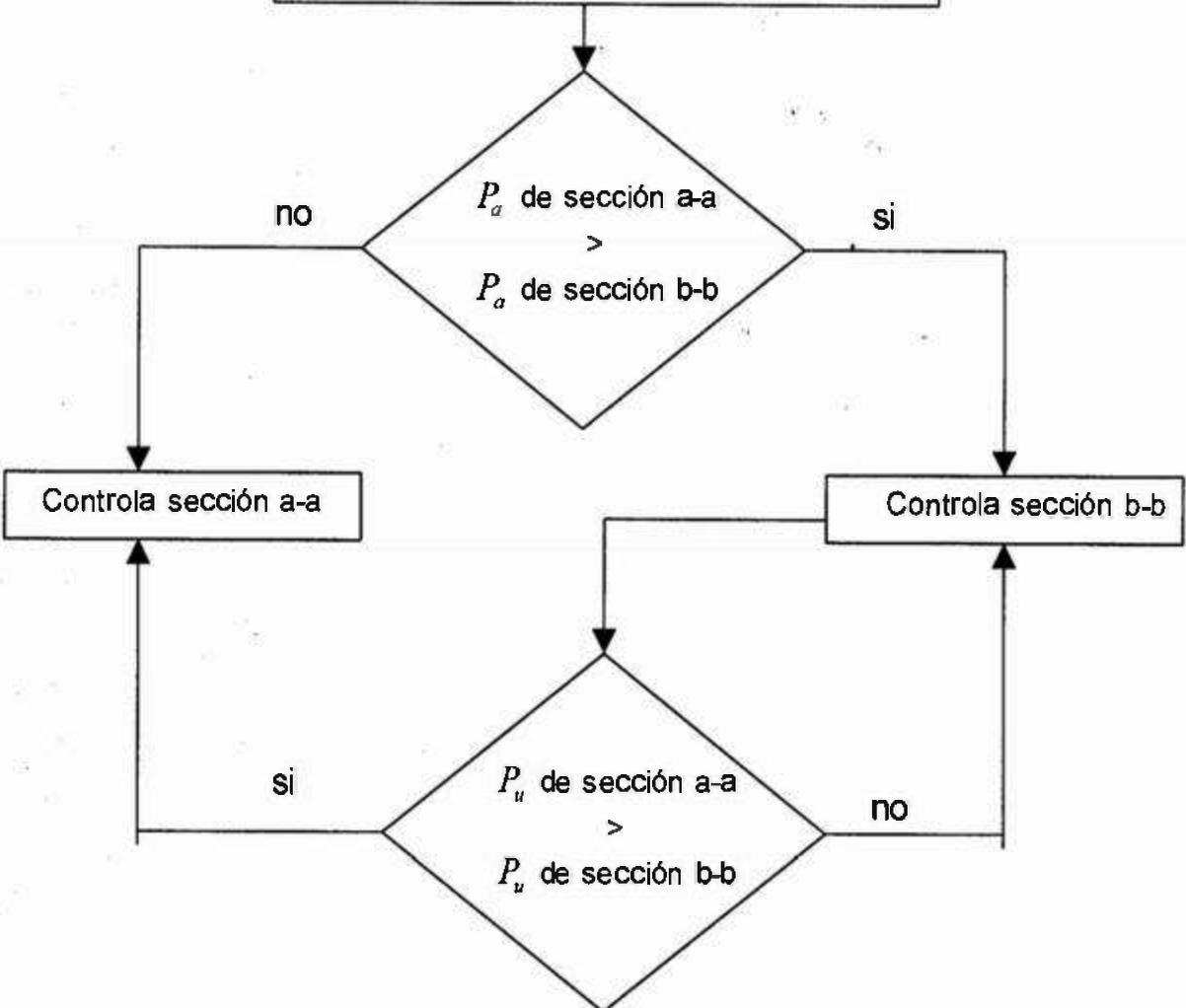
$$P_n = A_e F_t = 5,300.905 \text{ kg}$$

Para cortante doble;
 $\Omega = 2.22$ $\phi = 0.55$

Para cortante doble;
 $\Omega = 2.22$, $\phi = 0.55$

ASD:
 $P_a = P_n / \Omega = 2,455.057 \text{ kg}$
LRFD:
 $P_u = \phi P_n = 2,997.625 \text{ kg}$

ASD:
 $P_a = P_n / \Omega = 2,387.795 \text{ kg}$
LRFD:
 $P_u = \phi P_n = 2,915.498 \text{ kg}$



Se asume que no se requiere controlar la deformación de agujeros. La resistencia al aplastamiento de las láminas que contengan tornillos con rondanas bajo la cabeza y tuerca se determina de acuerdo con la Tabla para Resistencias Nominales al Aplastamiento para Conexiones Atornilladas con Rondanas bajo la Cabeza y Tuerca del Tornillo de la Sección E3.3, Aplastamiento, del AISI 1996. De aquí:

Como $t=2.67\text{mm}$, entonces, $0.91\text{ mm} < t < 4.76\text{ mm}$
y como $F_u / F_{sy}=1.36 > 1.08$ entonces:

$$P_n = 3.0F_u d t_e = 3,212.994\text{ kg}$$

$$\Omega = 2.22, \quad \phi = 0.60$$

$$\text{ASD: } P_a = P_n / \Omega = 1,447.294\text{ kg/agujero}$$

$$\text{LRFD: } P_u = \phi P_n = 1,927.796\text{ kg/agujero}$$

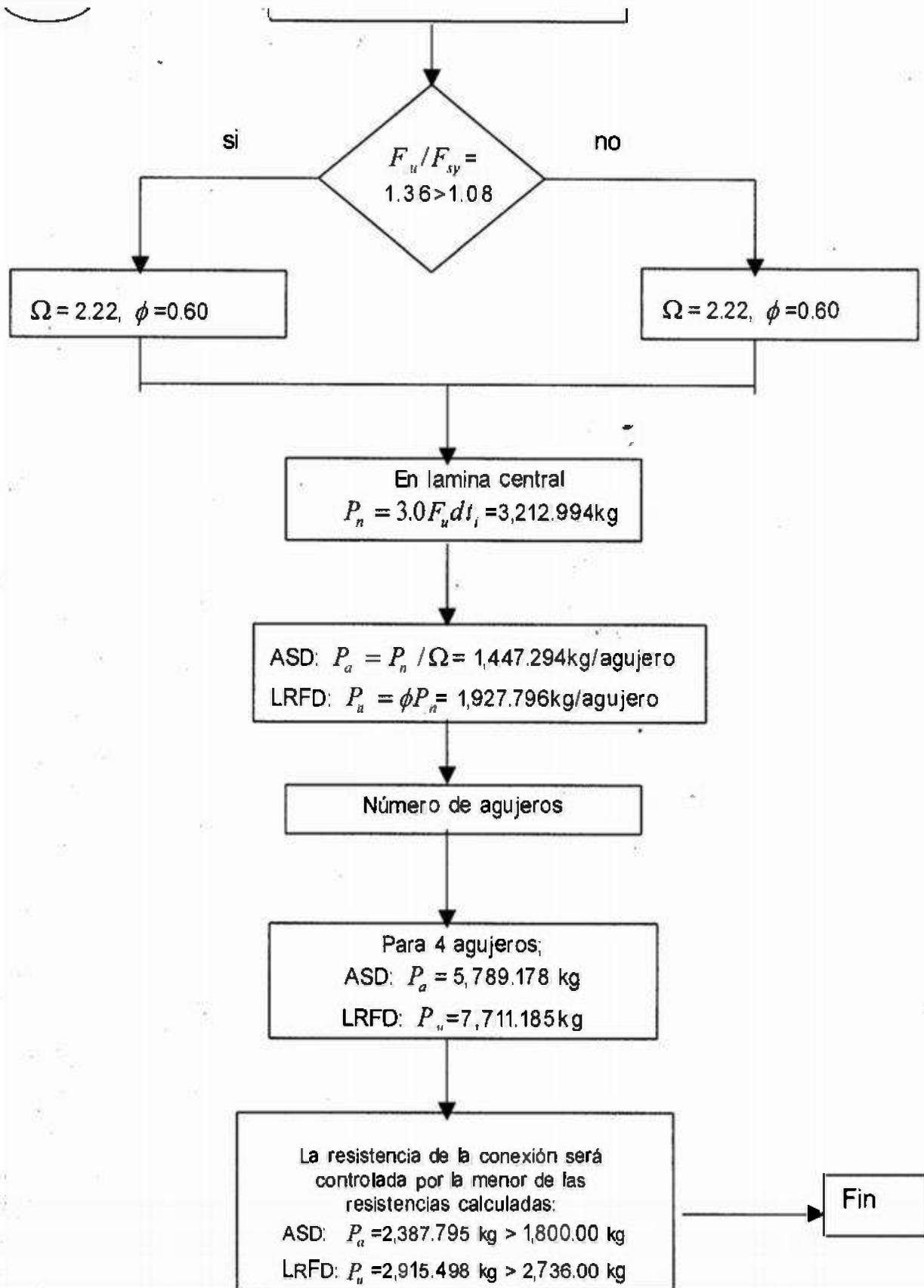
$$\text{Para 4 agujeros, ASD: } P_a = 5,789.178\text{ kg}$$

$$\text{LRFD: } P_u = 7,711.185\text{ kg}$$

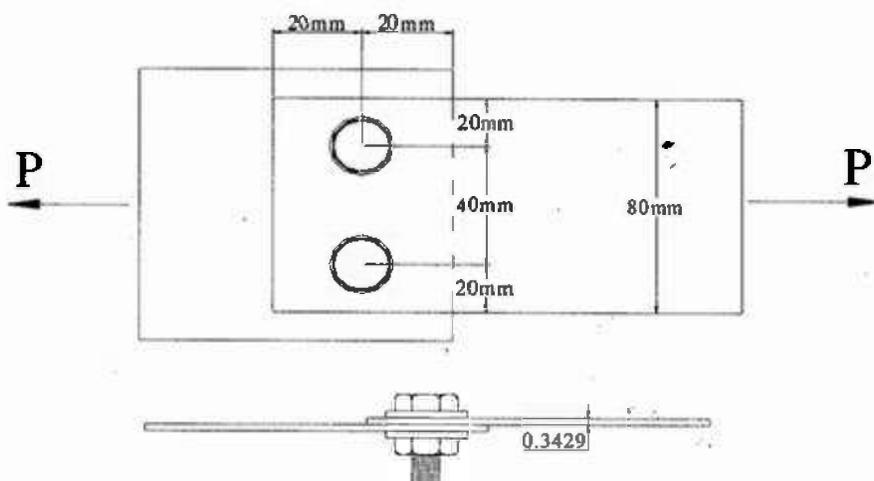
La resistencia de la conexión será controlada por la menor de las resistencias calculadas:

$$\text{ASD: } P_a = 2,387.795\text{ kg} > 1,800.00\text{ kg}$$

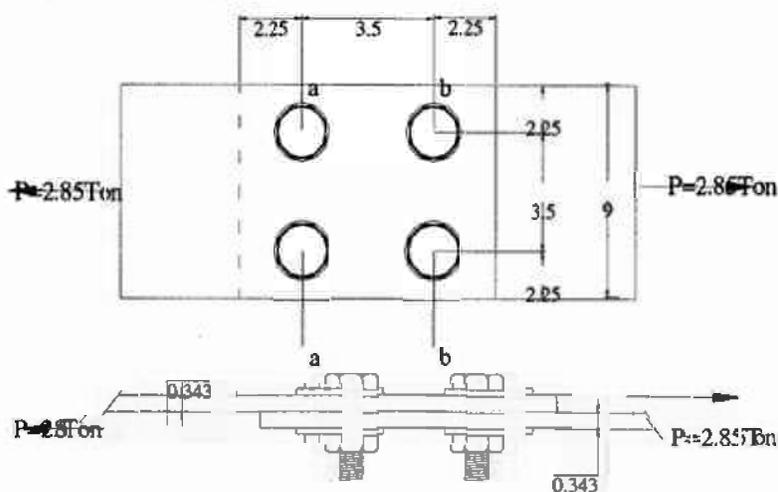
$$\text{LRFD: } P_u = 2,915.498\text{ kg} > 2,736.00\text{ kg}$$



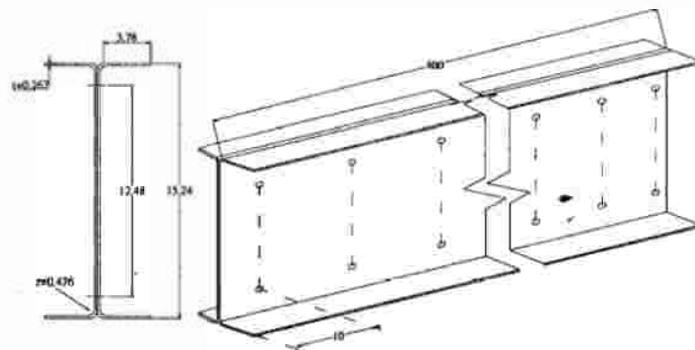
Problema 1.- Determinar la resistencia de diseño en Kg, por el método ASD, para la conexión atornillada mostrada en la figura. Considerar 2 tornillos A-307 de 1/2" (12.7mm) de diámetro con rondana bajo cabeza y tuerca. También considerar lamina de acero con $F_y=3,514 \text{ kg/cm}^2$ y $F_u=3,162 \text{ kg/cm}^2$. Agujeros estándar.



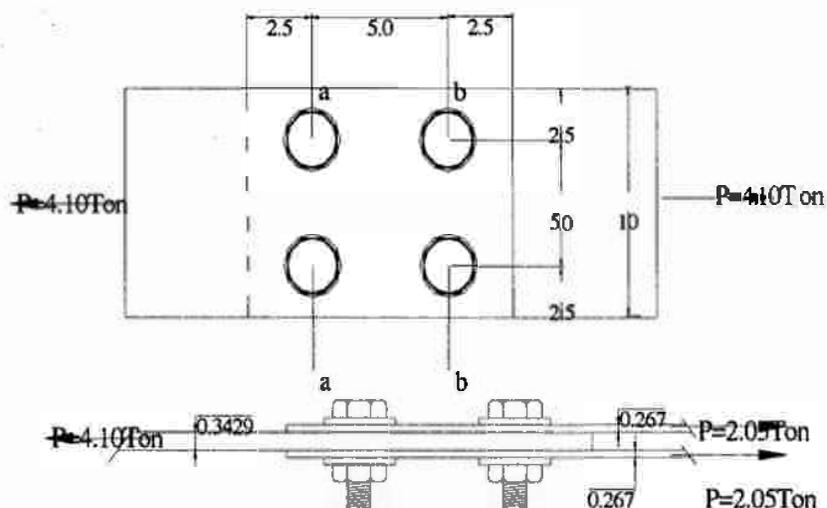
Problema 2.- Revisar por el método LRFD si la conexión al aplastamiento mostrada en la figura es adecuada para la resistencia requerida. Asumir que el 20% de la resistencia requerida es carga muerta y el resto es carga viva. Considerar 4 tornillos A-307 de 1/2" (12.7mm) de diámetro con rondana bajo cabeza y tuerca, laminas de acero $F_y=3,514 \text{ kg/cm}^2$ y $F_u = 4,919 \text{ kg/cm}^2$. La rosca será excluida del plano de corte y considerar agujeros estándar. Unidades en cm.



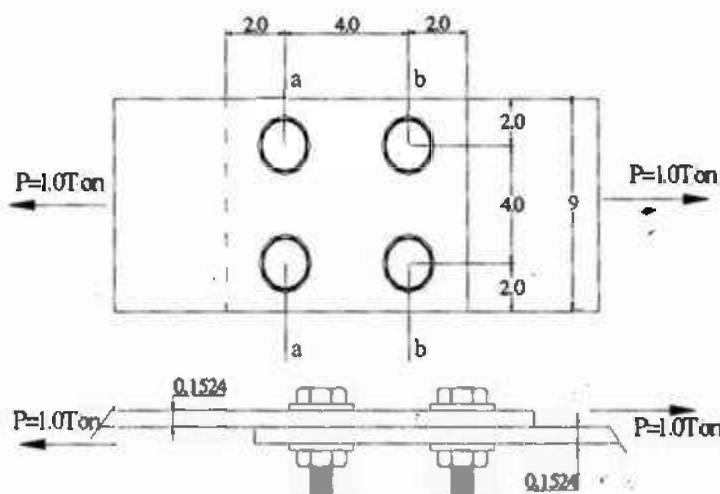
Perforaciones de tornillos de 3/8" (9.525 cms) de diámetro para unir dos canales 6x1.5x0.105plg.(152.4x38.1x2.67mm) para formar la viga mostrada en la figura. El claro de la viga es de 4.00 mt, con una carga uniforme de 600 kg/m, y la longitud de área de contacto de la reacción de la viga es de 10cm. Unidades en cms.



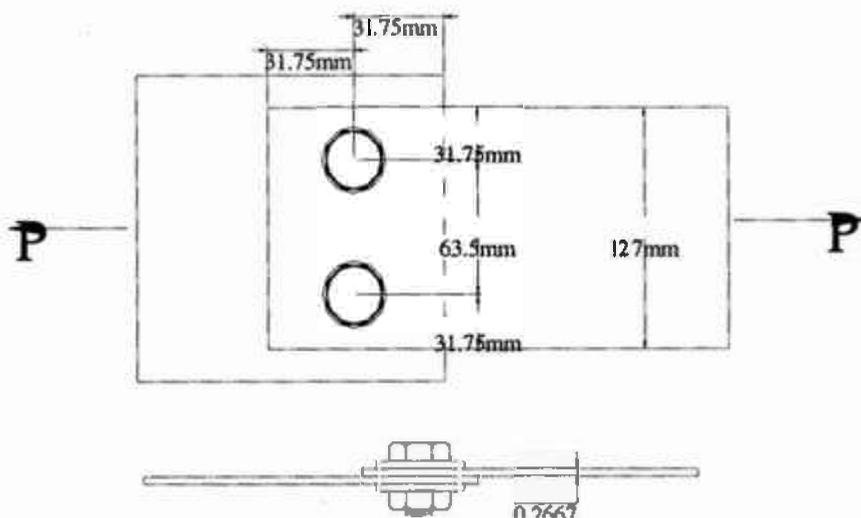
Problema 4.- Revisar por el método LRFD si la conexión al aplastamiento mostrada en la figura es adecuada para la resistencia requerida. Asumir que el 25% de la resistencia requerida es carga muerta y el resto es carga viva. Considerar 4 tornillos A-325 de 3/8" de diámetro con rondana bajo cabeza y tuerca, laminas de acero con $F_y=2,319 \text{ kg/cm}^2$ y $F_u=3,162 \text{ kg/cm}^2$. La rosca será excluida del plano de corte y considerar agujeros estándar. Unidades en cms.



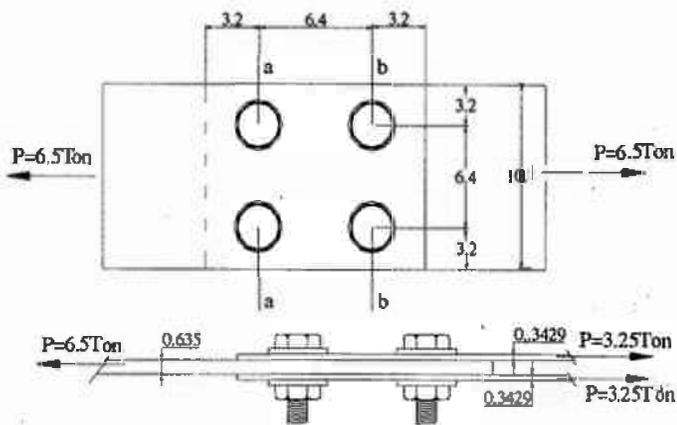
en la figura es adecuada para la resistencia requerida. Asumir que el 20% de la resistencia requerida es carga muerta y el resto es carga viva. Considerar 4 tornillos A-307 de 1/4" (0.635mm) de diámetro con rondana bajo cabeza y tuerca, laminas de acero $F_y=2,319 \text{ kg/cm}^2$ y $F_u=3,162 \text{ kg/cm}^2$. La rosca será excluida del plano de corte y considerar agujeros estándar. Unidades en cm.



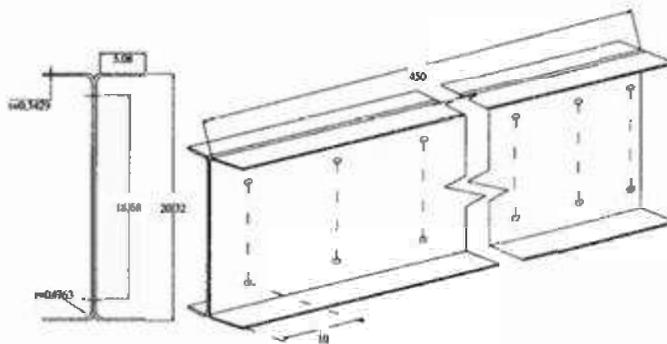
Problema 6.- Determinar la resistencia de diseño por el método LRFD para la conexión atornillada mostrada en la figura, considerando 2 tornillos A-325 de 3/4" (19.05mm) de diámetro con rondana bajo cabeza y tuerca. Considerar lamina de acero con $F_y=3,514 \text{ kg/cm}^2$, $F_u=4,919 \text{ kg/cm}^2$ y agujeros estándar. Unidades en cms.



en la figura es adecuada para la resistencia requerida. Asumir que el 20% de la resistencia requerida es carga muerta y el resto es carga viva. Considerar 4 tornillos A-325 de $\frac{3}{4}$ " (19.05mm) de diámetro con rondana bajo cabeza y tuerca, laminas de acero A-606 grado 50 ($F_y=3,514 \text{ kg/cm}^2$ y $F_u=4,919 \text{ kg/cm}^2$). La cabeza será excluida del plano de corte y considerar agujeros estándar. Unidades en cms.



Problema 8.- Determinar por el método LRFD el espaciamiento longitudinal máximo permisible de los tornillos A-307 de $\frac{3}{8}$ " (9.52 mm) de diámetro para unir dos canales para formar la viga mostrada en la figura. El claro de la viga es de 4.50 mt, con una carga uniforme de 640 kg/m, y la longitud de área de contacto de la reacción de la viga es de 10cms. Unidades en cms.



En la elaboración de este trabajo, se dió a conocer como objetivo principal, los procedimientos de diseño por los métodos ASD y LRFD de conexiones a base de tornillos sujetos a tensión pura y cortante puro, según las especificaciones del AISI 1996, así como diferencias que existen entre ambos métodos de diseño.

También se observó que mediante el método LRFD se puede obtener una mayor confiabilidad de datos en comparación con el método ASD, debido a que puede reconocer explícitamente la variabilidad de las cargas vivas y accidentales en comparación con las cargas permanentes.

Se recomienda asegurar que el punto de falla de una estructura no serán las conexiones, estas deberán ser más fuertes que los miembros que unen.

Las conexiones atornilladas pueden resultar convenientes y económicas, ya que no requieren de mano de obra calificada, además por la posibilidad de habilitado en taller, los rendimientos se pueden elevar considerablemente.

5 BIBLIOGRAFÍA

965, “Trabajo de los metales Laminas”, Ediciones Urm

E.; 2000, “Diseño Básico de perfiles laminados en fric