

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

SECCION DE POST GRADO

MAESTRIA EN TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION



**PROPUESTA DE MANUAL DE DISEÑO  
ESTRUCTURAL EN ALUMINIO**

TESIS

Para optar el Grado de Maestro en

**Tecnología de la Construcción**

**Ing. SILVIA ANTONIETA POMA PRO**

Lima – Perú  
2007



## ÍNDICE

Resumen		1
Introducción		3
CAPITULO 1.0	ANTECEDENTES	5
CAPITULO 2.0	CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES	12
	2.1 El Aluminio un metal para la construcción	
	2.2 Aleaciones de Aluminio y Templado	
	2.3 Las aleaciones de forja	
	2.4 Templado	
	2.5 Formas de Producto	
	2.6 Aleaciones de Perfiles estructurales extruidos	
	2.7 Láminas y Planchas	
	2.8 Recubrimientos y Acabados	
	2.9 Propiedades del Material	
	2.10 El Efecto de la Soldadura sobre las Propiedades Mecánicas	
	2.11 Efecto de la Temperatura sobre las Propiedades del Aluminio	
	2.12 Resistencia al Fuego	
	2.13 Dureza	
	2.14 Identificación de la Aleación	
CAPITULO 3.0	DISEÑO POR FACTOR DE RESISTENCIA Y FACTOR DE CARGA (LRFD)	35
	3.1 Introducción	
	3.2 Concepto de LRFD	
	3.3 Factor de Carga	
	3.4 Nomenclatura	
	3.5 Tablas relacionadas a las propiedades mecánicas y constantes de Pandeo	



	3.6 Miembros en Tracción	
	3.7 Miembros en Compresión	
	3.8 Miembros en Flexión, Flexo – Compresión	
CAPITULO 4.0.	CONEXIONES	120
	4.1 Conexiones Mecánicas	
	4.2 Conexiones Soldadas	
CAPITULO 5.0.	TOPICOS ESPECIALES	153
	5.1 Comportamiento del Aluminio con la soldadura	
	5.2 Miembros en Tracción soldados	
	5.3 Miembros en Compresión soldados	
	5.4 Procesos de soldadura	
CAPITULO 6.0.	ESTUDIO COMPARATIVO DE ELEMENTOS EN TRACCION, COMPRESION EN ALUMINIO 6061-T6 Y ACERO A-36.	160
CAPITULO 7.0.	METODOLOGÍA DE ESTUDIO DE MERCADO PARA EL ALUMINIO ESTRUCTURAL	177
CONCLUSIONES		180
RECOMENDACIONES		182
BIBLIOGRAFIA		183
ANEXO 1 Tablas		184
ANEXO 2 Comentarios		215
ANEXO 3 Pruebas de Laboratorio		225
ANEXO 4 Guía métrica para el diseño estructural en aluminio		230



## PRÓLOGO

Esta Tesis ha sido desarrollada con el propósito de obtener el Grado de Maestro en Tecnología de la Construcción y el de presentar un material que pueda ser utilizado como base para la elaboración de las Normas Peruanas de diseño de elementos estructurales en edificación en aluminio.

El material que se presenta ha sido obtenido de las referencias bibliográficas que se dan a conocer en el desarrollo del tema.

Deseo expresar mi agradecimiento por la colaboración recibida en la preparación de esta Tesis a:

- Mi asesor el Mg.Sc. Ing. Julio Rivera Feijóo quien participó directamente en la elaboración de este trabajo por sus críticas y sugerencias.
- Al Dr. Ing. Javier Arrieta Freyre por sus comentarios y sugerencias sobre el tema.
- Al Dr. Ing. Carlos Zavala Toledo quien gentilmente realizó las pruebas de laboratorio.
- Al MA. Ing. Alfredo Vásquez Espinoza quien me asesoró en el desarrollo del capítulo 6 de esta Tesis.
- A todos mis amigos por su paciencia y apoyo en la elaboración de este trabajo.

Ing. Silvia A Poma Pro

**A mis Padres**

**Amador Poma**

**y**

**Esther Pro**



## RESUMEN

El presente estudio “Propuesta de Manual de diseño estructural en Aluminio”, comprende un trabajo de recopilación y sistematización de información especializada sobre el uso del aluminio como un material de construcción para elementos estructurales de edificación. De esta manera se ha estructurado el estudio en capítulos presentando en el capítulo 1 los antecedentes que permiten una pequeña introducción a este interesante material, seguidamente en el capítulo 2 se hace una presentación de las bondades tecnológicas del aluminio para ya en el capítulo 3 tratar el aluminio como elemento estructural, donde se ha realizado una traducción del Aluminum Design Manual (ADM) parte IB Specification for Aluminum Structures –Building Load and Resistance Factor Design (LRFD), a continuación en el capítulo 4 se desarrolla el tema de las conexiones mecánicas y soldadas siendo la conexión mecánica la manera más segura para unir miembros de aluminio estructural, en el capítulo 5 se trata sobre el comportamiento del Aluminio con la soldadura, el calor de la soldadura reduce el esfuerzo último y de fluencia de las aleaciones de aluminio; luego en el capítulo 6 se realiza un estudio comparativo de elementos en tracción y compresión en aluminio y acero de una estructura reticulada que forma el techo de una nave industrial, para el análisis estructural se ha hecho uso del programa SAP- 2000 v9, y en el capítulo 7 se desarrolla una metodología de estudio de mercado para el aluminio estructural para asegurar la viabilidad de los objetivos trazados. Así también se incluye el anexo 1, donde se mencionan las tablas tomadas de Aluminum design manual, el anexo 2, correspondiente al capítulo 7 y el anexo 3, donde se mencionan los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a las muestras de aluminio.

En cuanto a las conclusiones y recomendaciones, se concluye que se debe difundir el uso del aluminio estructural como otro material de construcción para elementos estructurales de edificación y proponer como base este estudio para elaborar las normas técnicas del uso del aluminio estructural en el Perú.



## SUMMARY

This thesis, “A Proposal Manual for Aluminum Structural Design”, is a work related with compilation and systematization of information about the use of Aluminum as a construction material for structural components in buildings. All the work has been divided in chapters. In chapter 1, is presented the background that let us know this interesting material. Then in chapter 2, is presented the technologic kindness of aluminum. In chapter 3, the aluminum as a construction material and the translation of the Aluminum Design Manual (ADM) part IB Specification for Aluminum Structures – Building Load and Resistance Factor Design (LRFD) are presented. In chapter 4, the discussion about mechanical and welded connections in aluminum is developed. Mechanical connections are the most reliable way to join aluminum structural members. In chapter 5, the discussion about the effect of welding in the behavior of aluminum is shown. The heat of welding reduces yield and ultimate strengths of aluminum alloys. In chapter 6, the comparison between tension and compression members of a truss supported cover in aluminum and steel is presented. The program SAP 2000 v.9 was used for structural analyzes. In chapter 7, a methodology of marketing for aluminum structures is developed. In appendix 1, the Tables of aluminum design manual are presented. In appendix 2, the comments of chapter 7 are shown. In appendix 3; the results of laboratory tests are presented. And in appendix 4, metric guide for aluminum structural design is shown.

Conclusion and recommendation, that shows we must spread the use of aluminum as a construction material for structural components in buildings and the proposal of this thesis for using as a Peruvian’s Aluminum Design Manual is developed.



## INTRODUCCION

La industria del aluminio por los recursos financieros y tecnológicos asociados es una industria pujante en los países desarrollados, motivo por el cual no es de extrañar, que esté dominada por grandes empresas como Alcan, Alcoa ,Reinolds, Kaiser y Pechiney. Figurando a la cabeza productores de Estados Unidos (4 Millones de Tm.) y países de la antigua U.R.S.S. (casi 2.5 Millones de Tm.) .Dichas empresas aportan más del 35% de una producción Mundial que supera las 18 Millones de Tm. En la categoría de grandes productores se sitúan también Canadá y Noruega gracias a su potencial hidroeléctrico, Australia por sus ricos yacimientos de bauxita y también Alemania, Francia, que desempeñó papel pionero, ocupa hoy un lugar modesto. Brasil y Venezuela, en América Latina, son los productores más importantes de la región.

En los países desarrollados, en particular EE UU, el aluminio es ampliamente utilizado debido a las ventajas en la combinación de algunas de sus propiedades como su peso liviano con la resistencia y alta conductividad eléctrica térmica, que lo convierte a él y sus aleaciones en materiales de construcción importantísimos para la industria aeroespacial, industria automotriz e industria de la construcción.

La industrialización acelerada de China esta consumiendo los commodities primarios de todo el mundo a tal punto que es difícil subestimar su influencia sobre los precios del mercado mundial. La demanda debido al crecimiento económico no está limitada solo a China sino también a los países asiáticos vecinos que están surgiendo económicamente y demandan un mayor volumen de aluminio.

Desde reciclar papel y plásticos hasta comprar productos naturales y orgánicos, los consumidores cada vez son más sensibles a la necesidad de preservar el medio ambiente. El aluminio puede ser reciclado infinitas veces sin perder sus propiedades, esto le confiere ventajas únicas sobre otros materiales y beneficios tales como crear una alternativa de ingresos en áreas de bajos recursos, economizar energía eléctrica , promover un comportamiento responsable en relación con el medio ambiente por parte de las empresas y los ciudadanos, minimizar el impacto ambiental por la reducción de los desechos producidos por el consumo y optimizar los recursos naturales pues por



cada tonelada de aluminio reciclado se evita la extracción de 5 toneladas de bauxita. A medida que las normas ambientales comienzan a regular la construcción, las propiedades sustentables del aluminio se van convirtiendo en una opción cada vez más atractiva por ello que, además de su durabilidad prácticamente de por vida, el aluminio es un material altamente sustentable que no debe ser reemplazado en el futuro.

En la actualidad el precio del aluminio es muy fluctuante si lo comparamos con el acero, además a la fecha su precio es casi el triple de éste y considerando que su peso es un tercio del acero podemos concluir que a la fecha el aluminio resulta un material muy atractivo para su uso.

Este tema de Tesis permite presentar al Aluminio como un material estructural interesante de construcción. La incorporación tecnológica constituye un factor importante para el crecimiento socio-económico del país y el desarrollo tecnológico permite estar en mejores condiciones para competir y aprovechar oportunidades. Ambos conceptos y alcances están incluidos en el presente estudio cuyos objetivos son:

- Contribuir a establecer una guía en el uso del aluminio como material estructural.
- Proponer la elaboración de una norma nacional en Aluminio estructural.
- Contribuir al esfuerzo de difusión para incrementar el empleo del Aluminio Estructural en la Industria de la Construcción.
- Identificar las áreas tecnológicas afines al uso del Aluminio, tales como las técnicas de soldadura, aleaciones y controles.
- Mostrar un estudio comparativo de las ventajas del Aluminio 6061-T6 con el acero al carbono.
- Erradicar el mito que se tiene del aluminio como material estructural de baja resistencia.

Para lograr este propósito las entidades pertinentes deberían elaborar formalmente un manual de utilización del aluminio en construcción considerando como base este estudio “Propuesta de Manual de diseño estructural en Aluminio” efectuando luego una campaña de difusión de esta información para crear la necesidad de usar el aluminio estructural en edificaciones aprovechando el buen momento por el que atraviesa el sector construcción



## CAPITULO 1.0. ANTECEDENTES

### Historia de Descubrimiento



Figura A-1<sup>1</sup>; La bauxita

La bauxita es un mineral terroso y opaco, los terrones tienen un 3.5% de sílice reactiva, 42 a 43% de alumina y una granulometría de 5 cm. como tamaño medio de las piedras del mineral, como se muestra en la Figura A-1<sup>1</sup>. La industria del aluminio emplea tecnología de última generación para realizar los procesos de refinamiento del mineral bauxita, reduciendo alumina en aluminio más eficiente. El aluminio es el tercer elemento más abundante y comprende el 8 por ciento de la corteza de la tierra.

En 1807, el químico Inglés Sir Humphrey Davy<sup>2</sup>, remarcó la existencia del aluminio. Davy trató sin éxito de producir aluminio a través de electrólisis de una mezcla de óxido de aluminio y potasio. En 1825, continuando los trabajos de Davy, el físico Danés H.C. Oersted produjo el primer nódulo de aluminio mediante el calentamiento de una amalgama de potasio con aluminio. En 1845, el alemán Friedrich Wohler estableció varias propiedades del metal, incluyendo su ligereza. En 1886, el proceso de fundición que actualmente todavía se usa, fue descubierto casi

<sup>1</sup> [www.cba.com](http://www.cba.com) Compañía Brasileña de Aluminio

<sup>2</sup> [www.iai.com](http://www.iai.com) International Aluminum Institute



simultáneamente pero de manera independiente en Estados Unidos de Norteamérica, en Ohio, por Charles Martin Hall y en Francia, en Gentilly, por Paul Louis Toussaint Heroult. Ambos disolvieron el óxido de aluminio en criolita fundida y luego extrajeron el aluminio por electrólisis. En 1888, el austriaco Kart Bayer inventó un proceso para obtener óxido de aluminio de la bauxita.

En Estados Unidos de Norteamérica, las primeras normas de aluminio estructural fueron desarrolladas por Alcoa en 1930 y fueron usadas para diseñar las plataformas de aluminio y las vigas de piso del Puente Smithfield Street en Pittsburg en 1933. En mayo de 1952, la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), publicó un artículo titulado “Especificaciones para estructuras de aleaciones de Aluminio de alta resistencia a la corrosión”. Estas especificaciones y similares que siguieron en 1956 y 1962, fueron el trabajo del Comité de aleaciones de pesos livianos y el Comité de metales de la división estructural del ASCE. Al mismo tiempo, cada uno de los productores de aluminio, incluido Alcoa, seguido por Reynolds y Kaiser (ambos comenzaron su producción en 1940), desarrollaron un manual de diseño estructural para sus productos.

El primer manual del aluminio, “Las especificaciones para Aluminio Estructural”, fue publicado en 1967 por la Asociación de Aluminio, organización nacional reconocida por la industria del Aluminio, basada en los trabajos del ASCE<sup>3</sup>.

### **Producción de Aluminio**

Las minas de bauxita se encuentran principalmente en áreas tropicales y subtropicales como África, al oeste de la India, América del Sur, Australia y algunos depósitos en Europa. Las industrias de producción primaria de aluminio en el mundo están localizadas a menudo en lugares donde existe abundante suministro de energía barata, tal como la energía hidroeléctrica, el gas natural o la energía nuclear.

La bauxita es refinada a óxido de aluminio trihidratado (alumina) ( $Al_2O_3$ ) y luego electrolíticamente reducido al metal aluminio. Dos a tres toneladas de bauxita son requeridas para producir una tonelada de alumina ( $Al_2O_3$ ) y dos toneladas de alumina

<sup>3</sup> [www.iai.com](http://www.iai.com) International Aluminum Institute

son requeridas para producir una tonelada del metal de aluminio. El principio básico de toda planta de refinamiento de aluminio primario es el proceso Hall-Heroult, inventado en 1886. La Industria del aluminio utiliza el proceso Bayer para producir alumina de la bauxita (Figura A-2).

Una planta típica de fundición de aluminio produce 125,000 toneladas de aluminio anualmente. Sin embargo, algunas de última generación producen alrededor de 350 a 400,000 toneladas anualmente. En promedio, alrededor del mundo, se requiere 15.7 Kwh. de electricidad para producir un kilogramo de aluminio a partir de la alumina. El diseño y los procesos actuales han reducido progresivamente este consumo que en 1950 era de 21 Kwh. El aluminio se forma a los 900°C, pero una vez formado tiene un punto de fundición de solamente 660 °C. En algunas fundiciones este ahorro de calor es usado para fundir el metal reciclado<sup>4</sup>.

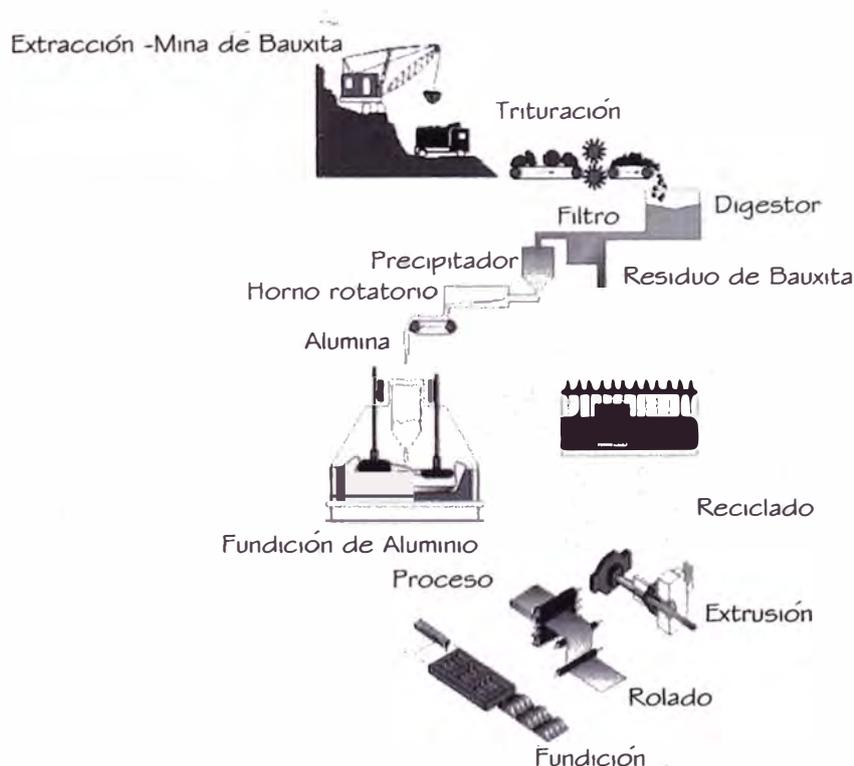


Figura A-2<sup>5</sup>; Producción de Aluminio

<sup>4</sup> [www.eaa.com](http://www.eaa.com) European Aluminum Association

<sup>5</sup> [www.iai.com](http://www.iai.com) International Aluminum Institute



## Usos del Aluminio Estructural

**Torres de transmisión eléctrica** pueden pesar aproximadamente 1/5 de lo que pesa una torre de metal, con cimentaciones más pequeñas y más fáciles de instalar (Figura A-3).

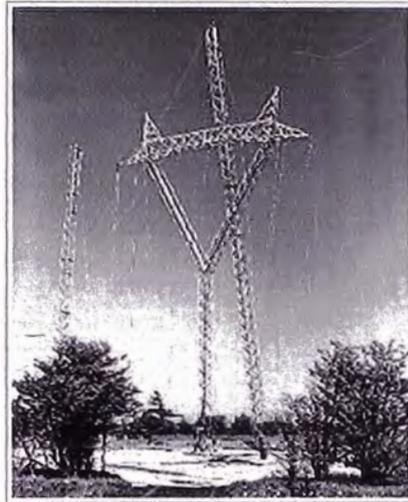


Figura A-3<sup>6</sup>

**Estructuras reticulares** son fabricadas con aluminio porque este material tiene una carga muerta pequeña (Figura A-4).

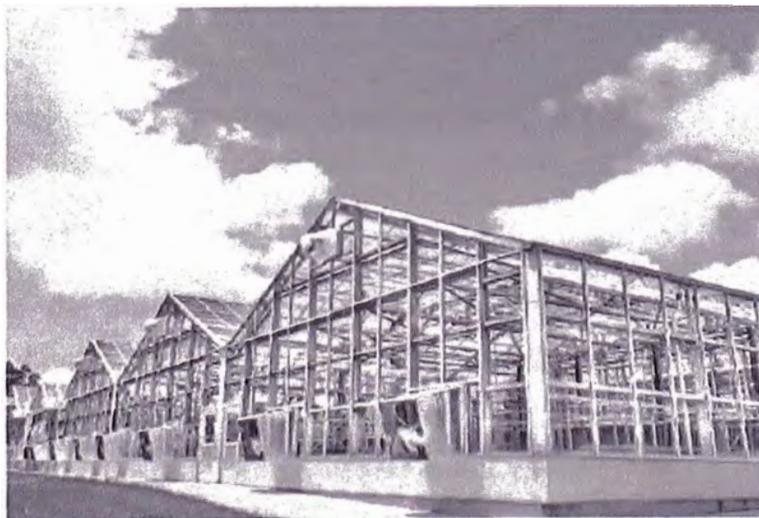


Figura A-4<sup>7</sup>

<sup>6</sup> [www.iai.com](http://www.iai.com) International Aluminum Institute

<sup>7</sup> [www.iai.com](http://www.iai.com) International Aluminum Institute



**Estructuras de drenaje de aluminio** el peso liviano es una de las principales ventajas. Las planchas de aluminio estructural pesan aproximadamente 1/50 de una tubería de concreto reforzado de tamaño equivalente. Este factor de peso reduce el costo de equipo de ensamble, es fácil de transportar a sitios remotos, y permite el manipuleo de grandes estructuras prefabricadas con relativa facilidad (Figura A-5).



Figura A-5<sup>8</sup>

**Superestructuras de Puentes y plataformas** rehabilitados con plataformas de aluminio, su capacidad de carga se incrementa debido a la reducción de la carga muerta del puente. Las plataformas de aluminio de los puentes son 80% más livianas que el concreto, ofreciendo un incremento en el ancho del puente y capacidad sin la necesidad de reforzar los elementos de soporte del puente. Las plataformas de aluminio de los puentes se comportan mejor que el acero o el concreto cuando se usa químicos descongelantes (Figura A-6).

<sup>8</sup> [www.iai.com](http://www.iai.com) International Aluminum Institute



Figura A-6<sup>9</sup>

La primera plataforma de puente en aluminio fue instalada sobre el Puente Corbin en Huntingdon, Pa, en el otoño de 1996 por la Compañía Reynolds Metals



Figura A-7<sup>10</sup>

**Vivienda** prefabricada en el desierto en Nuevo México 2005, a un costo aproximado de US\$ 100,000.00. El Arquitecto Steven Holl, inspirado en la idea de la corriente de aire en una casa móvil, creó una vivienda de 84 m<sup>2</sup>, construida de solo 31 piezas prefabricadas digitalmente de aluminio, y empernada en su totalidad (Figura A-7). El

<sup>9</sup> [www.fhwa.com](http://www.fhwa.com) Federal Highway Administration

<sup>10</sup> [www.aluminumnow.com](http://www.aluminumnow.com) Aluminum now Online



aluminio actúa simultáneamente como la estructura y recubrimiento de la vivienda. La corriente de aire bajo la estructura permite que se produzca vientos turbulentos que soplan en toda la vivienda, enfriándola de manera natural. Las celdas fotovoltaicas sobre el techo capturan la energía solar para el uso doméstico y la vivienda esta también equipada con un tanque que permite capturar y almacenar el agua de lluvia.



## CAPITULO 2.0. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES

### 2.1 El Aluminio un metal para la construcción

Los metales estructurales son a menudo referidos a familias de metales, tales como el acero, el acero inoxidable y el aluminio. Cada uno de ellos definidos por el tipo de aleaciones y la cantidad de otros elementos que lo componen, tales como el carbón, níquel, cromo y el manganeso. Las propiedades de una aleación esta determinada por las proporciones de esas aleaciones.

Ciertamente el desempeño estructural es uno de los factores más importantes en la selección de un material estructural. Las propiedades que afectan el comportamiento de ciertos tipos de miembros estructurales están indicadas en la Tabla 2.1

TABLA 2.1<sup>11</sup>. Propiedades que afectan el comportamiento estructural de los Metales

Comportamiento Estructural de	Propiedades
Miembros en Tracción	Esfuerzo de fluencia, esfuerzo último.
Columnas (Miembros en compresión)	Esfuerzo de fluencia, módulo de elasticidad
Vigas ( Miembros en Flexión)	Esfuerzo de fluencia, módulo de elasticidad, Esfuerzo último.
Sujetadores	Esfuerzo último.
Conexiones soldadas	Esfuerzo último de aleación de relleno, esfuerzo último de metal base afectado por calor.

Por ejemplo, la resistencia de un miembro a compresión corto esta en función de la resistencia a la fluencia de un metal, mientras que la resistencia de un miembro a compresión esbelto depende del módulo de elasticidad. Debido a que el módulo de elasticidad del aluminio es una tercera parte del módulo de elasticidad del acero, el aluminio no es competitivo para columnas esbeltas. Pero la resistencia no es el único factor a tener en cuenta, otros por ejemplo como la resistencia a la corrosión, la facilidad de fabricación (la extrudabilidad y soldabilidad), la rigidez (módulo de elasticidad), la ductilidad (elongación),

<sup>11</sup> “Aluminum Structures”, J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág.11



peso (densidad), la resistencia a la fatiga y el costo son comparados para las tres aleaciones más comunes de aluminio, acero al carbono y acero inoxidable en la Tabla 2.2.

TABLA 2.2<sup>12</sup>. Cuadro comparativo de Perfiles Estructurales más comunes

Propiedad	Aluminio 6061-T6	Acero al Carbono A 36	Acero Inoxidable 304 acabado en frío
Extrudabilidad	Muy bueno	No se realiza	Muy limitado
Soldabilidad	Regular, reduce el esfuerzo	Bueno, no reduce el esfuerzo	Bueno
Resistencia a la corrosión	Bueno	Regular	Muy bueno
Esfuerzo de fluencia de Tracción	35ksi	36 a 50 ksi	47 ksi
Módulo de elasticidad	10000 ksi	29000 ksi	27000 ksi
Elongación	8% a 10%	20%	30%
Densidad	0.098 lb./pulg <sup>3</sup>	0.283 lb./pulg <sup>3</sup>	0.284 lb./pulg <sup>3</sup>
Esfuerzo de Fatiga (metales planos, 5 millones de ciclos)	10.2 ksi	24 ksi	
Relación relativa de esfuerzo de fluencia – peso	2.8	1.0 a 1.4	1.2
Costo por peso	US\$ 1.20/lb.	US\$ 0.30/lb.	US\$ 1.40/lb.
Costo por volumen	US\$ 0.12 /pulg <sup>3</sup>	US\$0.084/pulg <sup>3</sup>	US\$0.42/pulg <sup>3</sup>

Cuando la resistencia a la corrosión, la relación de alta resistencia –peso y la facilidad de fabricación son parámetros significativos de diseño, las aleaciones de aluminio merecen serias consideraciones.

## 2.2. Aleaciones de Aluminio y Templado

Las aleaciones del aluminio se dividen en dos categorías: aleaciones de forja, aquellas que son fabricadas para formar, modelar, y las aleaciones fundidas, aquellas que son vertidas en moldes que determinan su forma.

La Asociación de Aluminio mantiene un sistema de designación reconocida internacionalmente para cada categoría, descrita en ANSI H35.1 “Sistema de Designación de Aleaciones y Templados para Aluminio”.

Las propiedades de los productos de forja o fundido dependen de sus componentes, o de la adición selectiva de los elementos para aleación. Se puede

<sup>12</sup> “Aluminum Structures”, J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág.12



ejecutar variaciones adicionales sobre esas propiedades a través del templado. El templado es la alteración de las propiedades mecánicas de un metal ya sea debido a un tratamiento mecánico o térmico.

2.3. Las aleaciones de forja

El sistema de designación para las aleaciones de Aluminio de la Asociación de Aluminio fue establecido en 1954, bajo este sistema, un número de 4 dígitos es asignado para cada aleación registrada con la Asociación, como se indica en la Tabla 2.3.

TABLA 2.3<sup>13</sup>. Sistema de Designación de aleaciones de forjas y características

Número de serie	Aleación Primaria Elemento	Resistencia Relativa a La corrosión	Resistencia Relativa	Tratamiento en caliente
1xxx	Ninguno	Excelente	Regular	No tratado en caliente
2xxx	Cobre	Regular	Excelente	Tratado en caliente
3xxx	Manganeso	Bueno	Regular	No tratado en caliente
4xxx	Sílice	-	-	Varia por la aleación
5xxx	Magnesio	Bueno	Bueno	No tratado en caliente
6xxx	Magnesio y sílice	Bueno	Bueno	Tratado en caliente
7xxx	Zinc	Regular	Excelente	Tratado en caliente

El primer número de la aleación designa el elemento de aleación primaria, el cual produce un grupo de aleaciones con propiedades similares. La Asociación secuencialmente asigna los dos últimos dígitos. El segundo dígito denota una modificación de una aleación. Por ejemplo, 6463 es una modificación de 6063. Los dos últimos dígitos denotan los dos dígitos de la parte derecha del punto decimal del porcentaje del material que es aluminio. Por ejemplo 1060 denota una aleación que es 99.60% aluminio.

Los elementos de aleación primaria y las propiedades de los resultados de las aleaciones se indican a continuación:

1xxx: Esta serie es para el aluminio puro comercialmente, definido en la industria como 99% aluminio. Esta serie se usa para conductores eléctricos y procesos químicos porque la mejor propiedad de esta serie de aleación es la conductividad eléctrica y la resistencia a la corrosión.

<sup>13</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág.13



2xxx: El elemento de aleación primaria para este grupo es el cobre, el cual produce alta resistencia pero reduce la resistencia a la corrosión. Estas aleaciones fueron las primeras aleaciones en desarrollarse y se llamaron duralumin. La aleación 2024 es, tal vez la más conocida y la más usada en la industria aeronáutica.

3xxx: El manganeso es el elemento principal utilizado en esta serie, incrementa la resistencia en un 20% aproximadamente del aluminio. La resistencia a la corrosión y la trabajabilidad son buenas, las aleaciones 3003, 3004 y 3005 son usadas en productos arquitectónicos, tales como coberturas de techos.

4xxx: El sílice es añadido para reducir el punto de fusión de la soldadura. La aleación 4043 es comúnmente usada para soldar con alambres de aporte.

5xxx: Esta serie es producida añadiendo magnesio, es resistente a la corrosión, y tiene alta resistencia a la soldadura. Es usada para aplicaciones marinas.

6xxx: Las aleaciones en este grupo contienen magnesio y sílice. Estas aleaciones tienen un buen equilibrio de resistencia a la corrosión y esfuerzo. La aleación 6061 es la más usada de todas las aleaciones y tiene un esfuerzo de fluencia comparable al acero al carbono. Esta serie es también muy fácil de extruir, y es usada en edificaciones, construcción y otras aplicaciones estructurales.

7xxx: El primer elemento de la aleación de esta serie es el zinc. Esta serie incluye dos tipos de aleación: la aleación de aluminio-zinc-magnesio, tal como la 7005, y la aleación de aluminio-zinc-cobre, tal como la 7075 y 7018. Las aleaciones de este grupo incluyen la aleación más resistente, la 7178 que tiene un esfuerzo último de tracción mínimo de 84ksi (580 MPa) en el templado T6, y son usadas en marcos de aviones y componentes estructurales.

También se les da designaciones informales a las aleaciones mencionadas, las series 2xxx y 7xxx algunas veces son referidas como aleaciones para aviones, pero a su vez son usadas en la fabricación de pernos y tornillos para las edificaciones. Las aleaciones de las series 1xxx, 3xxx y 6xxx son algunas veces referidas como aleaciones suaves, mientras que la 2xxx, 5xxx y 7xxx son aleaciones llamadas duras. Esto es debido a la facilidad para ser extruidas, las aleaciones duras son más difíciles de extruir, requiriendo alta capacidad de presión y son más caras.



## 2.4. Templado

Las aleaciones son templadas por tratamientos térmicos, por endurecimiento o por deformación. En general, las series 1xxx, 3xxx, 4xxx y 5xxx aleaciones forjadas son no tratadas al calor, mientras que las series de aleaciones forjadas 2xxx, 6xxx y 7xxx si lo son.

El sistema de designación de templado es el mismo para las aleaciones forjadas o fundidas. La designación de templado, Tabla 2.4, sigue a la designación de la aleación, las dos están separadas por un guión, por ejemplo 6061-T6. Las designaciones básicas de templado son letras, las subdivisiones de los templados básicos están dadas por una letra seguida por uno o más números, como se indica en la Tabla 2.5.

TABLA 2.4<sup>14</sup>. Designación de Templado

Designación	Aplicación
F de fabricado	se aplica a los productos con procesos de cepillado en los cuales no existe un control especial en las condiciones térmicas
O destemplado	Se aplica a productos forjados que son destemplados para obtener la menor resistencia de templado.
H endurecimiento por deformación	(productos forjados únicamente) Se aplica a productos que han incrementado su resistencia por endurecimiento por deformación.
W solución tratada en caliente	Templado inestable aplicable solamente a aleaciones que espontáneamente envejecen a temperaturas en sitio después de soluciones tratadas en caliente.
T tratamiento térmico para producir otros templados estables además de F,O,H	Aplicable a productos que son térmicamente tratados, con o sin endurecimiento por deformación suplementario, para producir templados estables.

<sup>14</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert I. Ferry, Pág.17



TABLA 2.5<sup>15</sup>. Templados tratados en caliente. Designado con la letra T seguido por los números del 1 al 10

T1	Enfriado desde una temperatura elevada de proceso de cepillado y naturalmente envejecido a condiciones estables
T2	Enfriado desde una temperatura elevada de proceso de cepillado, trabajados en frío y naturalmente envejecido a condiciones estables
T3	Solución tratada en caliente , trabajada en frío y naturalmente envejecido a condiciones estables
T4	Solución tratada en caliente y naturalmente envejecida a condiciones estables
T5	Enfriado desde una temperatura elevada de proceso de cepillado y luego envejecido artificialmente.
T6	Solución tratada en caliente y luego envejecida artificialmente.
T7	Solución tratada en caliente y luego sobreenvejecida /estabilizada.
T8	Solución tratada en caliente, trabajada en frío, y luego envejecida artificialmente.
T9	Solución tratada en caliente, envejecida artificialmente y luego trabajada en frío.
T10	Enfriado desde una temperatura elevada de proceso de cepillado, trabajados en frío y luego artificialmente envejecido.

## 2.5. Formas de Producto

Las formas de aluminio usadas en los componentes estructurales incluyen extrusiones, productos laminados planos, fundidos y forjados. Los más usados son los productos extruidos y los laminados planos (planchas y láminas).

El proceso de fabricación de un producto extruido es mediante la extrusión, la palabra extrusión proviene del latín Ex – Trudere que literalmente significa forzar hacia afuera<sup>16</sup>. Por este significado se le puede definir como el acto de expulsión de un metal sólido por una abertura en una cámara o matriz mediante presiones elevadas (Ver Figura 2-1).

<sup>15</sup> “Aluminum Structures”, J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág.17

<sup>16</sup> “Procesos de fabricación y estrategias de comercialización de tuberías conduit de aluminio en una fábrica metal mecánica”, Agüero Mauricio Alfredo Rolando,FIIS-1997.

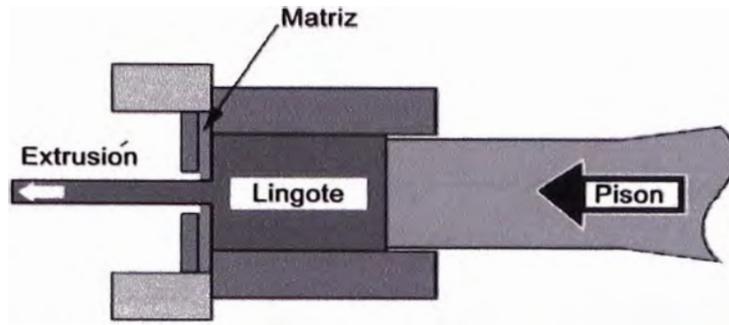


Figura 2-1<sup>17</sup>; Esquema de extrusión directa

El aluminio no es el único metal fabricado de esta manera, el acero inoxidable también puede ser extruido, pero requiere de grandes presiones. Se puede extruir perfiles de aluminio desde secciones simples hasta complejas (ver Figura 2-2).

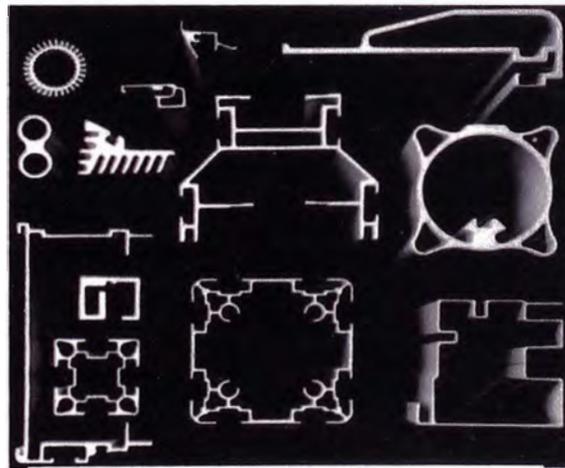


Figura 2-2<sup>18</sup>; Ejemplos de perfiles extruidos complejos

La Asociación del Aluminio ha establecido como perfil estándar a la viga I extruida y los perfiles tipo canal en peraltes de 2 a 12 pulgadas, estas secciones son eficientes para aplicaciones estructurales. Algunas veces los perfiles estándar son ineficientes para una aplicación específica. En este caso, el

<sup>17</sup> [www.aluminum.org](http://www.aluminum.org) Aluminum Association

<sup>18</sup> [www.aec.org](http://www.aec.org) Aluminum Extruders' Council

usuario puede diseñar su propio perfil, pero debe tener en cuenta algunas limitaciones existentes:

- 1) La Longitud máxima es de 40 pies (12 m) pero se puede extruir perfiles mayores a 100 pies (30 m) de longitud. Siendo los más comerciales de 20 pies o 25 pies (6m a 7.5 m) de longitud máxima.
- 2) La Dimensión máxima de círculo depende de la sección transversal del lingote, los cuales son usualmente perfiles cilíndricos. La dimensión de la sección transversal esta usualmente limitada a que encaje dentro de un círculo (Figura 2-3).

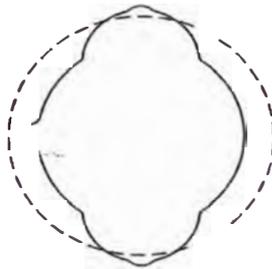


Figura 2-3<sup>19</sup> ; Dimensión máxima de círculo

- 3) El Área máxima que puede ser extruida es de 125 pulg.<sup>2</sup> (80600 mm<sup>2</sup>).
- 4) El Peso máximo de un perfil extruido esta limitado por el peso del lingote y es de 4300 lb. (2000 Kg.).
- 5) El espesor mínimo esta en función de un número de factores, incluyendo la dimensión del círculo. Las Tabla 2.6.a y 2.6.b nos dan una guía aproximada. Las pruebas de elongación no se realizan para perfiles de espesores menores de 0.062 pulgadas (1.6 mm).

<sup>19</sup> “Aluminum Structures”, J.Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 41



TABLA 2.6.a<sup>20</sup> Espesor mínimo aproximado para 6061 y 6063

Extrusión sólida

Tamaño del Circulo (Pulg.)	6063 Espesor Mínimo (pulg.)	6061 Espesor Mínimo (pulg.)	Tamaño del Circulo (mm.)	6063 Espesor Mínimo (mm)	6061 Espesor Mínimo (mm)
2 a 3	0.039	0.045	50 a 75	1.0	1.1
3 a 4	0.045	0.050	75 a 100	1.1	1.3
4 a 5	0.056	0.062	100 a 125	1.4	1.6
5 a 6	0.062	0.062	125 a 150	1.6	1.6
6 a 7	0.078	0.078	150 a 175	2.0	2.0
7 a 8	0.094	0.094	175 a 200	2.4	2.4
8 a 10	0.109	0.109	200 a 250	2.8	2.8
10 a 11	0.125	0.125	250 a 275	3.2	3.2
11 a 12	0.156	0.156	275 a 300	4.0	4.0
12 a 20	0.188	0.188	300 a 500	4.8	4.8

TABLA 2.6.b<sup>21</sup> Espesor mínimo aproximado para 6061 y 6063

Extrusión Hueca

Tamaño del Circulo (Pulg.)	6063 Espesor Mínimo (pulg.)	6061 Espesor Mínimo (pulg.)	Tamaño del Circulo (mm.)	6063 Espesor Mínimo (mm)	6061 Espesor Mínimo (mm)
2 a 3	0.062	0.078	50 a 75	1.6	2.0
3 a 4	0.078	0.094	75 a 100	2.0	2.4
4 a 5	0.094	0.109	100 a 125	2.4	2.8
5 a 6	0.109	0.125	125 a 150	2.8	3.2
6 a 7	0.125	0.156	150 a 175	3.2	4.0
7 a 8	0.156	0.188	175 a 200	4.0	4.8
8 a 10	0.188	0.250	200 a 250	4.8	6.3

<sup>20</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 40

<sup>21</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 40



- 6) El costo y la disponibilidad deben ser considerados. Para minimizar el costo de extrusión se puede usar las siguientes técnicas:
- Minimizar el tamaño del círculo más pequeño que encierra la sección.
  - Evitar los huecos en lo posible, ya que son difíciles de extruir.
  - Evitar grandes diferencias en los espesores de las paredes en diferentes partes de la sección transversal. Para 6061, la mayor relación de máximo a mínimo del espesor de la pared debe ser de 2:1.
  - Mantener la relación perímetro – área de la sección transversal tan bajo como sea posible. Algunos estiman costos basados en esta relación.
  - Evitar las esquinas puntiagudas, usar filetes o redondear donde sea posible.
  - Preguntar al fabricante que cambios de sección reducirían los costos.

## 2.6 Aleaciones de Perfiles estructurales extruidos

Las aleaciones de serie 6xxx son las más usadas en aplicaciones estructurales por su combinación de resistencia, resistencia a la corrosión y soldabilidad. Las aleaciones de extracciones específicas en esta serie que merecen ser consideradas son:

- 6061, ampliamente usada debido a que tiene la mejor combinación de resistencia y resistencia a la corrosión.
- 6063, muy usado para aplicaciones arquitectónicas por su baja resistencia y costos relativamente bajos comparados con la aleación 6061.
- 6065 y 6015, templado en T5, tiene la misma resistencia en la condición de no soldabilidad como la 6061-T6, pero es más fácil de extruir.
- 6066 tiene una resistencia más alta que el 6061 pero es menos resistente a la corrosión y es más difícil de extruir.
- 6070 es considerablemente más resistente que 6061.
- 6262-T6 tiene la misma resistencia y resistencia a la corrosión como 6061-T6.
- 6351-T5 tiene la misma resistencia que 6061-T6.



- 7005 su resistencia a la corrosión es similar a 6061 pero tiene una mayor resistencia, su desventaja es que es más difícil de extruir que 6061.

Todas estas aleaciones tienen densidades, módulos de elasticidad y coeficiente de expansión térmica similar. Si la resistencia es un factor importante entonces las aleaciones 6061-T6, 6351-T5 y T-6 y 6005-T5 y 6105-T5 deben ser consideradas. Si se necesita una resistencia alta se puede considerar las aleaciones 6066, 6070 y 7005. Pero si la fatiga o la deflexión predominan en el diseño es recomendable usar 6063. Pero si se necesita acabados de gran calidad entonces es recomendable usar 6463.

La Tabla 2.7. Resume esta información. El rango de corrosión va de A (mejor resistencia a la corrosión) a B, según la Asociación de Aluminio.

TABLA 2.7<sup>22</sup>. Propiedades para algunas aleaciones más comunes de Aluminio extruido

Aleación	$F_{tu}$ Templado (ksi)	$F_{tu}$ (MPa)	$F_{ty}$ (ksi)	$F_{ty}$ (MPa)	Resistencia A la corrosión	Costo Relativo
6063-T5*	22	150	16	110	A	100%
6063-T6	30	205	25	170	A	100%
6463-T6	30	205	25	170	A	104% a 105%
6005-T5	38	260	35	240		103%
6105-T5	38	260	35	240		103%
6061-T6	38	260	35	240	B	103%
6162-T6	38	260	35	240		
6262-T6	38	260	35	240	B	109%
6351-T5	38	260	35	240	A	
6351-T6	42	290	37	255	A	
6066-T6	50	345	45	310	C	
6070-T6	48	330	45	310	B	110% a 115%
7005-T53	50	345	44	305		117%

\* Mayor a 0.5 pulg. (12.5 mm) de espesor.

<sup>22</sup> “Aluminum Structures”, J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 49



## 2.7. Láminas y Planchas

Los productos laminados para uso estructural están normalizados por el ASTM B209. Las láminas están definidas como productos laminados con un espesor de por lo menos 0.006 pulg. (Si es menor es denominado chapa, hoja) y menor de 0.25 pulg. , aunque en aplicaciones estructurales el espesor nominal usado es de 0.024 pulg. (0.6 mm).

Las planchas tienen un espesor igual o mayor a 0.25 pulg., son producidas hasta de 8 pulg. (200 mm) de espesor en algunas aleaciones Tabla 2.8.

TABLA 2.8<sup>23</sup>. Productos Rolados Planos

Producto	Unidades Americanas (pulg.)	Sistema Internacional de Unidades (mm)
Hoja	$t < 0.006$	$t \leq 0.15$
Lámina	$0.006 \leq t < 0.25$	$0.15 < t \leq 6.3$
Planchas	$t \geq 0.25$	$t > 6.3$

$t = \text{espesor}$

Las láminas planas más comunes tienen anchos de 24 pulg., 30 pulg., 36pulg., 48 pulg., y 60 pulg. (600 mm. 750 mm. 900 mm, 1200 mm y 1500 mm) las longitudes más comunes son de 96 pulg., 120 pulg. y 144 pulg. (2400mm, 3000mm y 3600 mm). Ver Tabla 2.9 y Tabla 2.10.

TABLA 2.9<sup>24</sup>. Espesores de Láminas de Aluminio ( Unidades Americanas)

Espesor (pulg.)	Calibre No	Peso (lb./ pie <sup>2</sup> )	Espesor (pulg.)	Calibre No	Peso (lb./ pie <sup>2</sup> )
0.025	22	0.360	0.080	12	1.15
0.032	20	0.461	0.090	11	1.30
0.040	18	0.576	0.100	10	1.44
0.050	16	0.720	0.125	8	1.80
0.063	14	0.907	0.160	6	2.30
0.071	13	1.020	0.190		2.74

<sup>23</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 56

<sup>24</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 57

TABLA 2.10<sup>25</sup>. Espesores más comunes de Láminas y Planchas de Aluminio (Unidades SI)

Espesor (mm )	Espesor (pulg.)	Peso (Kg. / m <sup>2</sup> )
0.50	0.020	1.35
0.60	0.024	1.62
0.80	0.031	2.16
1.0	0.039	2.70
1.2	0.047	3.24
1.6	0.063	4.32
2.0	0.079	5.40
2.5	0.098	6.75
3.0	0.118	8.10
3.5	0.138	9.45
4.0	0.157	10.80
4.5	0.177	12.15
5.0	0.197	13.50
6.0	0.236	16.20
7.0	0.276	18.90
8.0	0.315	21.60
10	0.394	27.00
12	0.472	32.40
16	0.630	43.20
20	0.787	54.00
25	0.984	67.50
30	1.180	81.00
35	1.380	94.50
40	1.570	108.00
50	1.970	135.00
60	2.360	162.00
80	3.150	216.00
100	3.940	270.00

Los Pesos están basadas sobre una densidad de 2.70 Kg. / m<sup>3</sup>

## 2.8. Recubrimientos y Acabados

El aluminio tiene una variedad de acabados, los más comunes son laminados, anodizados, pintados y acabados mecánicos. El costo, la apariencia y la durabilidad influyen en la selección del tipo de acabado.

La Asociación de Aluminio ha establecido un sistema de designación para acabados de Aluminio. Este sistema identifica el acabado por sus características mecánicas, químicas y de recubrimiento.

El acabado laminado puede ser especificado por la designación “Acabado laminado AA-M10”.

<sup>25</sup> “Aluminum Structures”, J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 58



El acabado anodizado es un proceso que acelera la formación de un recubrimiento de oxido sobre la superficie de Aluminio. La designación de un acabado anodizado requiere la selección de color, proceso y la clase arquitectónica. La clase arquitectónica indica el espesor de la capa de oxido, la clase I es de mayor espesor, tiene una mejor apariencia por más tiempo, es la alternativa más disponible y la más cara. Cualquier espesor menor que el de la clase II no es recomendado para usos en exteriores. Los espesores se dan en la Tabla 2.11.

TABLA 2.11<sup>26</sup>. Espesores de anodizado

Descripción	Espesor (mils )	Espesor (µm)	AA Designación
Protección y Decoración	$t < 0.4$	$t < 10$	A2X
Arquitectónico Clase II	$0.4 \leq t \leq 0.7$	$10 \leq t < 18$	A3X
Arquitectónico Clase I	$t \geq 0.7$	$t \geq 18$	A4X

Nota :

1 mil = 0.001 pulg.

El Sistema de Designación de la Asociación de Aluminio para acabados se indica en la Figura 2-4, siendo la nomenclatura la siguiente:

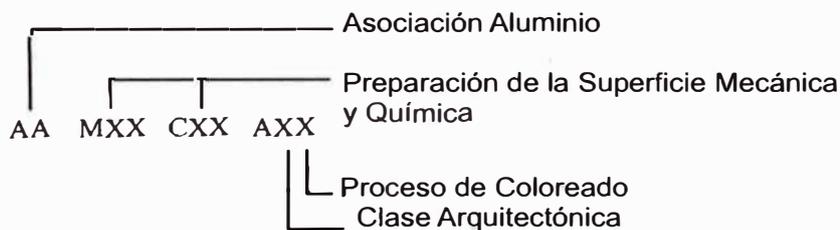


Figura 2-4<sup>27</sup>; Sistema de designación para acabados

Donde AA indica Asociación de Aluminio

M = prefijo para acabado mecánico

C = prefijo para acabados químicos

<sup>26</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 89

<sup>27</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 89



A = prefijo para la clase arquitectónica y el proceso de coloreado a ser usado en el anodizado.

La preparación mecánica y química para el anodizado son designadas como M12 y C22, respectivamente. La designación de la clase arquitectónica es A3X para la Clase II y A4X para la Clase I.

La designación del proceso de coloreado es:

AX1 – Claro

AX2 – Integral (no muy usado)

AX3 – Impregnado (teñido)

AX4 – Electrolítico (2- pasos)

Por Ejemplo: AA M12C22 A31: El número 3 que le sigue a la A indica que es de Clase II de acabado, el número 1 indica que es claro.

El acabado pintado es un recubrimiento basado en resinas PVDF cuyo nombre comercial es Kynar 500, es un recubrimiento estándar para aplicaciones arquitectónicas de aluminio pintado. Un ejemplo de designación de acabados pintados de la Asociación de Aluminio podría ser “AA C12C42 RIX “. El C12 y C42 se refiere a la limpieza química y el recubrimiento de conversión químico respectivamente. El RIX simplemente indica que es un recubrimiento orgánico.

## 2.9. Propiedades del Material

### 2.9.1. Esfuerzo

La Tabla 3.3-1 del ADM<sup>28</sup> detalla el mínimo esfuerzo para aleaciones por templado y forma de producto. (ver Anexo 1)

Los esfuerzos dados son:

$F_{fy}$  esfuerzo de fluencia de tracción

$F_{tu}$  esfuerzo último de tracción

$F_{cy}$  esfuerzo de fluencia de compresión

$F_{sy}$  esfuerzo de fluencia de corte

<sup>28</sup> Aluminum Design Manual 2005, (ADM)



$F_{su}$  esfuerzo último de corte

El esfuerzo de fluencia de tracción y el esfuerzo último de tracción son los esfuerzos mínimos especificados de acuerdo a Aluminum Standard and Data. El esfuerzo último de corte y el esfuerzo de fluencia de compresión dados en la tabla están basados en pruebas realizadas. El esfuerzo de fluencia de corte se obtiene de la división del esfuerzo de fluencia de tracción por  $\sqrt{3}$ .

El esfuerzo último de compresión no es una propiedad mecánica medible para aleaciones de aluminio. Para materiales tan dúctiles como el aluminio, el esfuerzo último de compresión no tiene significado, en pruebas de compresión, el metal se hincha pero no presenta fracturas frágiles.

Las relaciones aproximadas entre el esfuerzo de fluencia de tracción y el esfuerzo último y otros esfuerzos son:

$$F_{cy} = 0.9F_{ty} \quad \text{para templados H}$$

$$F_{cy} = F_{ty} \quad \text{para otros templados}$$

$$F_{su} = 0.6F_{tu}$$

$$F_{sy} = 0.6F_{ty}$$

El esfuerzo para materiales gruesos tiende a ser menor que para materiales delgados, como se muestra en la Tabla 2.12.



Tabla 2.12<sup>29</sup>. Esfuerzo de Tracción de la Plancha 5086 -H112 como una función del espesor

Espesor (pulg.)	Esfuerzo Ultimo de Tracción mínimo (ksi)	Esfuerzo de Fluencia de Tracción mínimo (ksi)	Espesor Esfuerzo (mm)	Esfuerzo Ultimo de Tracción Mínimo (MPa)	Esfuerzo de Fluencia de Tracción mínimo (MPa)
0.250 a 0499	36	18	4.0 a 12.5	250	125
0.5 a 1.0	35	16	12.5 a 40.0	240	105
1.001 a 2.0	35	14	40.0 a 80.0	235	95
2.001 a 3.0	34	14			

El espesor que se debe usar para determinar el esfuerzo de un producto es el espesor original del material, no el espesor final fabricado.

2.9.2. Módulo de Elasticidad (E), Módulo de Corte (G), la Relación de Poisson (ν)

El módulo de elasticidad E (también llamado módulo de Young) es la pendiente de la porción elástica de la curva esfuerzo-fuerza y es una medida de la rigidez del material y el esfuerzo de pandeo. El módulo de elasticidad de las aleaciones de aluminio es a grosso modo el peso ponderado del módulo de los componentes que lo constituyen, y tiende a ser el mismo para aleaciones en una serie dada, para la aleación de serie 6xxx, el E es 10100 ksi (69600 MPa). El templado no influye en el módulo de elasticidad, El módulo de elasticidad del acero es 29000 ksi (200000 MPa) es casi tres veces que del aluminio, haciendo del acero considerablemente mas rígido.

El módulo de corte del aluminio (también llamado módulo de rigidez) es calculado generalmente de la relación entre el módulo de elasticidad y la relación de Poisson (ν) del aluminio. La relación de Poisson es aproximadamente 1/3 para aleaciones de aluminio, similar al del acero.

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

<sup>29</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 102



### 2.9.3. Propiedades de Fractura

La ductilidad es la capacidad de un material de resistir una fuerza plástica antes de fracturarse. La tenacidad a la fractura es una medida de la resistencia del material a la extensión de una grieta. Las aleaciones 2xxx y 7xxx son menos tenaces y son usadas para aplicaciones de aeronáutica. La tenacidad a la fractura esta medida en unidades de  $\text{ksi} \sqrt{\text{in}}$  ( $\text{MPa} \sqrt{\text{m}}$ ) y es una función del espesor (los materiales gruesos tienen menor tenacidad a la fractura).

La elongación esta definida como el porcentaje de incremento en la distancia entre dos marcas calibradas de un espécimen probado a falla de tracción. La elongación de aleaciones de aluminio tienden a ser menores que la del acero al carbono laminado. Por ejemplo, mientras que el acero A36 tiene una elongación de 20%, la aleación comparable, 6061 -T6, tiene una elongación mínima requerida de 8% a 10%, dependiendo de la forma del producto.

### 2.9.4. La densidad y el coeficiente de expansión térmica

La densidad no varía mucho entre aleaciones. Para las aleaciones de aluminio, la densidad tiene un promedio de  $2700 \text{ Kg. / m}^3$ . Esto es un tercio de la densidad del acero al carbono y del acero inoxidable, el cual pesa aproximadamente  $7640 \text{ Kg. / m}^3$ . La densidad es el promedio ponderado de las densidades de los elementos que constituyen la aleación, la serie de aleación 5xxx y 6xxx son las mas livianas, porque el magnesio es el más liviano de los elementos principales de aleación. La tabla 2.13 nos da un listado de las densidades nominales de las aleaciones de aluminio.



TABLA 2.13<sup>30</sup> DENSIDAD NOMINAL DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO

Aleación	Densidad ( lb. / pulg <sup>3</sup> )	Densidad (Kg. / m <sup>3</sup> )
1100	0.098	2710
2014	0.101	2800
2024	0.100	2780
3003	0.099	2730
3004	0.098	2720
3005	0.098	2730
3105	0.098	2720
4043	0.097	2690
5005	0.098	2700
5050	0.097	2690
5052	0.097	2680
5083	0.096	2660
5086	0.096	2660
5154	0.096	2660
5183	0.096	2660
5356	0.096	2640
5454	0.097	2690
5456	0.096	2660
5554	0.097	2690
5556	0.096	2660
5654	0.096	2660
6005	0.097	2700
6061	0.098	2700
6063	0.097	2700
6066	0.098	2720
6070	0.098	2710
6105	0.097	2690
6351	0.098	2710
6463	0.097	2690
7075	0.101	2810

El coeficiente de expansión térmica, es la razón en la cual el material se expande cuando la temperatura se incrementa, es por si mismo una función de la temperatura, se incrementa con el incremento de temperatura. Los valores promedios son usados para un rango de temperatura de 20°C a 100°C. El coeficiente varía de acuerdo a la aleación. El promedio del coeficiente es aproximadamente de  $(23 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C})$ .

<sup>30</sup> “Aluminum Structures”, J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 111



La tabla 2.14 compara el coeficiente del aluminio con otros materiales.

TABLA 2.14<sup>31</sup>. COEFICIENTES DE EXPANSION TERMICA

Material	Coeficientes de Expansión térmica	
	$\times 10^{-6} / ^\circ F$	$\times 10^{-6} / ^\circ C$
Cobre	18	32
Magnesio	15	27
Aluminio	13	23
304 Acero inoxidable	9.6	17
Acero al carbono	6.5	12
Concreto	6.0	11

## 2.10. El Efecto de la Soldadura sobre las Propiedades Mecánicas

El efecto de soldadura sobre la resistencia varía de acuerdo a la aleación del aluminio. La reducción de la resistencia es menor para las aleaciones de serie 5xxx designado a ser especialmente apropiado para soldadura. Por otro lado las aleaciones con apreciables cantidades de cobre (estas aleaciones tienden a tener resistencias altas e incluyen todas las aleaciones de serie 2xxx y muchas de la serie 7xxx) son difíciles de soldar.

El efecto de la soldadura depende de muchos factores, incluyendo cuanto calor se aplica durante la soldadura. Esto puede variar por el proceso de soldado (gas tungsteno o el gas metal de arco de soldadura), los espesores de la parte soldada, la rapidez de soldado, y el precalentamiento, también depende del material de aporte usado.

Todos estos efectos son promediados para establecer el esfuerzo mínimo de soldado dado en el Manual de especificaciones de Aluminio Tabla 3.3-2. (ver Anexo 1).

Se debe tener en cuenta en esta tabla lo siguiente:

- El esfuerzo último de tracción soldado ( $F_{tuw}$ ) debe ser multiplicado por 0.9 antes de ser usada en las fórmulas para esfuerzos. Esto es debido a que la soldadura puede tener solo una inspección visual.

<sup>31</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 111



- b) El esfuerzo último de soldado ( $F_{tyw}$  y  $F_{cyw}$ ) para templados que no sean del tipo O debe ser multiplicado por 0.75 antes de ser usados en fórmulas para esfuerzos.

La soldadura, sin embargo no afecta el módulo de elasticidad (E) del metal.

### 2.11. Efecto de la Temperatura sobre las Propiedades del Aluminio

Cuando la temperatura decrece, la resistencia a la tracción y el valor de elongación de las aleaciones de aluminio se incrementan, pero a diferencia del acero, el aluminio no sufre de una baja temperatura de transición por el cual se incrementa el riesgo de fractura. Esto hace del aluminio una excelente alternativa para aplicaciones estructurales de baja temperatura.

Por otro lado, el aluminio tiene un punto de fundición más bajo que el acero (1220 ° F [660°C]), y el decrecimiento del esfuerzo del aluminio es poco significativo para muchas aleaciones sobre los 95° C.

### 2.12. Resistencia al Fuego

El aluminio no es apropiado cuando se expone a altas temperaturas, tales como un incendio, donde rápidamente se hincha. Los productos semi fabricados como los extruidos, láminas, planchas, son no combustibles bajo condiciones ordinarias.

### 2.13. Dureza

La dureza de las aleaciones de aluminio no es usada directamente en diseños estructurales, pero son fáciles de medir. La medida de la dureza algunas veces es usada con propósito de asegurar la calidad del templado. Los valores típicos de dureza para algunas aleaciones de templado comunes están dados en la tabla 2.15.

TABLA 2.15<sup>32</sup>. VALORES TÍPICOS DE DUREZA

Aleaciones Templado	Dureza Típica Brinnell (500 Kg. de carga 10 mm ball)
1100-H14	32
2014-T6	135
3003-H16	47
5005-H34	41
5052-H32	60
5454-H32	73
6061-T6	95
6063-T5	60
6063-T6	73
6101-T6	71

#### 2.14. Identificación de la Aleación

Se ha asignado un código de color a algunas aleaciones de aluminio fundido con el propósito de identificación. El color puede ser usado en etiquetas atadas al material, o en el caso de los productos extruidos, varillas y barras, pueden ser pintadas en los extremos. El color identifica solo la aleación más no el templeado.

La tabla 2.16 tiene un listado de colores asignados a las aleaciones.

TABLA 2.16<sup>33</sup>. CÓDIGO DE COLOR PARA ESPECIFICACIONES DE ALEACIONES DE ALUMINIO

Aleación	Color
1100	Blanco
2014	Gris
2024	Rojo
3003	Verde
3004	—
3005	—
3105	—
5005	—
5050	—
5052	Morado
5083	Rojo y Gris
5086	Rojo y Naranja
5154	Azul y Verde
5454	—

<sup>32</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 109

<sup>33</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 114



Continuación TABLA 2.16 CÓDIGO DE COLOR PARA  
ESPECIFICACIONES DE ALEACIONES DE ALUMINIO

Aleación	Color
5456	Gris y Morado
6005	—
6061	Azul
6063	Amarillo y Verde
6066	Rojo y Verde
6070	Azul y Gris
6105	—
6351	Morado y Naranja
7075	Negro



## CAPITULO 3.0 DISEÑO POR FACTOR DE RESISTENCIA Y FACTOR DE CARGA (LRFD)

### 3.1. Introducción

La primera versión del LRFD del AISC fué publicada en 1986. Al inicio, los diseñadores de todos los materiales usaban el diseño por esfuerzos permisibles (ASD), este método limita el esfuerzo bajo cargas nominales a esfuerzos últimos o esfuerzos de fluencia dividido por un factor de seguridad.

### 3.2. Concepto de LRFD<sup>34</sup>

El concepto básico a tener en cuenta es que ASD y LRFD son dos métodos de estimación de incertidumbre. Solo que el LRFD emplea la estadística para estimarlo. La prueba de muestras de un material particular indicará sus esfuerzos típicos, pero no así el esfuerzo actual de una viga fabricada con este material. Se considera un factor de seguridad como un margen para el error de estas predicciones. El éxito de este método es diseñar estructuras cuya resistencia (  $R$  ) sea mayor que el efecto de la carga (  $Q$  ).

El diseño de las estructuras para ser más resistentes que los efectos de las cargas a soportar, puede ser expresado como:

$$\frac{R}{Q} \geq 1.0 \quad (3.1)$$

$$\text{LRFD: } \frac{\phi R}{\gamma Q} \geq 1.0 \quad (3.2)$$

Donde:

$\phi$  = factor de resistencia

$\gamma$  = factor de carga

<sup>34</sup> "Aluminum Structures, J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág 390



El método LRFD aplica factores a la resistencia y a las cargas de la estructura.

$$\text{LRFD: } \frac{\phi_u F_{tu}; \phi_y F_{ty}; \phi_y F_{cy}; \text{etc}}{\sum(\gamma_D D + \gamma_L L, \text{etc})} \geq 1.0 \quad (3.3)$$

Donde:

$F_{tu}$  = esfuerzo último de tracción

$F_{ty}$  = esfuerzo de fluencia de tracción

$F_{cy}$  = esfuerzo de fluencia de compresión

$n_u$  = factor de seguridad de esfuerzo último

$n_y$  = factor de seguridad de esfuerzo de fluencia

$\phi_u$  = factor de resistencia de esfuerzo último

$\phi_y$  = factor de resistencia de esfuerzo de fluencia

$\gamma_D$  = factor de carga para carga muerta

D = efecto de la carga muerta de servicio por usarse en el cálculo de las combinaciones de cargas factorizadas

$\gamma_L$  = factor de carga para carga viva

L = efecto de la carga viva de servicio por usarse en el cálculo de las combinaciones de carga factorizada.

### 3.3. Factor de Carga

La ecuación 3.2 puede ser expresada como:

$$\phi R \geq \sum \gamma Q \quad (3.4)$$

LRFD requiere que el esfuerzo nominal de un miembro, multiplicado por un factor de resistencia  $\phi$  menor que 1, sea mayor o igual que las fuerzas en los miembros producidos por la sumatoria de las cargas nominales, cada una multiplicada por un factor de carga  $\gamma$ .

La parte izquierda de la ecuación 3.4 (factor de resistencia de esfuerzo nominal) es llamado diseño por esfuerzo (o factor de esfuerzo de estado límite).



La combinación de carga para el lado derecho de la ecuación esta especificada en el comentario para las Especificaciones del Aluminio LRFD ( en el Manual de Diseño de Aluminio , parte II B, sección 2.3<sup>35</sup>).

Los factores de combinación de carga para estructuras de edificación dado por ASCE 7-02 son:

$$1) \sum \gamma Q = 1.4(D + F)$$

$$2) \sum \gamma Q = 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$$

$$3) \sum \gamma Q = 1.2D + 1.6(L_r \text{ o } S \text{ o } R) + (L \text{ o } 0.8W)$$

$$4) \sum \gamma Q = 1.2D + 1.6W + L + 0.5(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$$

$$5) \sum \gamma Q = 1.2D + 1.0E + L + 0.2S$$

$$6) \sum \gamma Q = 0.9D + 1.6W + 1.6H$$

$$7) \sum \gamma Q = 0.9D + 1.0E + 1.6H$$

Donde:

$D$  = carga muerta

$E$  = carga por sismo

$F$  = carga debido a fluidos con presiones bien definidas y altura máxima.

$H$  = carga debido a la presión lateral del suelo y agua en el suelo.

$L$  = carga viva

$L_r$  = carga viva sobre el techo

$R$  = carga por lluvia

$S$  = carga por nieve

$T$  = fuerza auto tensada

$W$  = carga por viento

Vale la pena notar que la expresión para esfuerzos (llamada esfuerzos nominales) de los miembros de aluminio son los mismos en las especificaciones LRFD como en las especificaciones ASD. Por ejemplo, en las especificaciones

---

<sup>35</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-10



ASD sección 3.4.11 para ciertas vigas con una esbeltez mayor que  $S_2$ , el esfuerzo permisible de la viga es:

$$\frac{\phi_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{1.2r_y}\right)^2}$$

La expresión correspondiente para el diseño por esfuerzo en las especificaciones LRFD sección 3.4.11 es<sup>36</sup>:

$$\frac{\phi_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{1.2r_y}\right)^2}$$

En cada caso, el término del esfuerzo es el mismo:

$$\frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{1.2r_y}\right)^2}$$

No solamente las expresiones para los esfuerzos son los mismos en ASD y LRFD, sino también los valores de las propiedades mecánicas. En el Manual de Especificaciones de Aluminio Tablas 3.3-1 y 3.3-2 (ver Anexo 1), las especificaciones respectivas son idénticas para cada método.

Los diseñadores pueden usar cualquiera de los dos métodos ASD o LRFD. Sin embargo no es posible mezclar estos métodos en el diseño, cualquier método escogido debe ser usado para el diseño de todos los miembros de la estructura.

Las especificaciones de ASD para el aluminio pueden ser usadas para estructuras de edificaciones como para puentes (con factores de seguridad más alto para puentes), y las especificaciones LRFD solo pueden ser usadas para estructuras de tipo edificación. Si se desea diseñar puentes de aluminio usando LRFD, se debe usar la sección 7 (estructuras de aluminio) de AASHTO LRFD.

<sup>36</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 393



Mientras que el desarrollo del método LRFD puede ser complicado, el uso de este en la práctica no es más difícil que el ASD. Los pasos de diseño pueden resumirse como:

- Analice la estructura de la misma manera como con ASD, pero aplique un factor a las cargas. Determine el esfuerzo debido a las cargas factorizadas,  $f$ , por análisis estructural convencional elástico. Las cargas factorizadas son las cargas especificadas, muertas, viva, de viento, lluvia, nieve o sismo multiplicadas por un factor de carga dado en la sección 3.3.
- Ejecute todas las verificaciones de diseño como lo requiere ASD, pero use el esfuerzo de diseño del LRFD en vez del esfuerzo permisible ASD.
- Calcule el factor de esfuerzo de estado límite  $\phi F_L$  de la sección 3.4 del ADM y verifique que  $\phi F_L \geq f$
- La sección 3.4 del ADM da el factor de resistencia  $\phi$  y el esfuerzo de estado límite  $F_L$  para una variedad de miembros estructurales de aluminio y elementos. El esfuerzo de estado límite  $F_L$  depende de las propiedades del material y de la geometría de este.
- Para el estado límite de fluencia usar  $\phi = 0.95$  y para el estado límite de fractura  $\phi = 0.85$ .
- El ADM, incluye tablas de esfuerzo permisible para ASD pero no tablas de esfuerzos de diseño para LRFD.

### 3.4 Nomenclatura<sup>37</sup>

Se usará la siguiente nomenclatura:

- $a$  = dimensión detallada paralela a la dirección de la fuerza
- $a_e$  = ancho equivalente del panel rectangular
- $a_1$  = dimensión más corta del panel rectangular
- $a_2$  = dimensión más larga del panel rectangular
- $A$  = área de la sección transversal

<sup>37</sup> Aluminum Design Manual, 2005, PART I-B-11



- $A_c$  = área del elemento en compresión [ala en compresión mas 1/3 del área del alma entre el ala en compresión y el eje neutro].
- $A_h$  = área total de la sección transversal del atiesador longitudinal
- $A_s$  = área del atiesador
- $A_{sn}$  = área de desenroscado por unidad de longitud de acoplamiento
- $A_w$  = porción del área de la sección transversal  $A$  dentro de 1.0 pulg. (25 mm) de una soldadura.
- $b$  = ancho de la sección o elemento
- $b_e$  = ancho efectivo del elemento plano a ser usado en cálculo de la deflexión
- $b_o$  = ancho del elemento con un atiesador intermedio como se muestra en la fig. 3.4.9.2-1
- $b/t$  = relación ancho a espesor de un elemento plano de una sección transversal
- $B$  = Fórmula de pandeo con los siguientes subíndices:
- $c$  = compresión en columnas
  - $p$  = compresión en elementos planos
  - $t$  = compresión en elementos curvos
  - $tb$  = flexión en elementos curvos
  - $br$  = flexión en elementos planos
  - $s$  = corte en elementos planos
- $c$  = distancia del eje neutro elástico a una fibra extrema en flexión
- $C$  = fórmula de pandeo (ver B para los subíndices)
- $C$  = coeficiente el cual depende de la ubicación del tornillo
- $C_b$  = factor de gradiente de momento para la resistencia por pandeo lateral torsional
- $C_f$  = constante a ser determinada desde la Tabla 4.8.1 y figura 4.8.1-1 (ver Anexo 1)
- $C_m$  =  $(0.6 - 0.4 (M_1/M_2))$  para miembros cuyos extremos están impedidos de ladearse)
- = 0.85 para miembros cuyos extremos no están impedidos de ladearse.
- $C_p$  = factor de corrección
- $C_w$  = constante torsional de alabeo para una sección transversal



- $C_{wa} = t^2 \operatorname{sen}\theta (0.46 F_{cy} + 0.02 \sqrt{E F_{cy}})$
- $C_{wb} = C_{w3} + R_i (1 - \cos\theta)$
- $C_{w1} = 5.4 \text{ in. (140 mm)}$
- $C_{w2} = 1.3 \text{ in. (33 mm)}$
- $C_{w3} = 0.4 \text{ in. o } 10 \text{ mm}$  conveniente con otras unidades usadas
- $C_1 =$  coeficiente definido en la sección 4.9.4 del ADM
- $C_2 =$  coeficiente definido en la sección 4.9.4 del ADM
- $d =$  Peralte de la sección o viga
- $d_f =$  distancia entre los centros de las alas
- $d_s =$  ancho plano del borde rígido mostrado en la Fig. 3.4.9.1-1
- $d_1 =$  distancia libre desde el eje neutro al ala en compresión
- $D =$  Fórmula de Pandeo (ver B para subíndices)
- $D =$  Diámetro
- $D_h =$  Diámetro del agujero nominal
- $D_n =$  carga muerta nominal
- $D_s =$  Definido en Fig. 3.4.9.1-1
- $D_w =$  diámetro nominal de la arandela
- $D_{ws} =$  Longitud del diámetro nominal de la arandela y cabeza del tornillo
- $e =$  base del logaritmo natural  $\approx 2.72$
- $E =$  módulo de elasticidad a la compresión (ver Tabla 3.3.-1)
- $f =$  esfuerzo calculado
- $f_a =$  esfuerzo promedio sobre la sección transversal producido por la carga axial
- $f_b =$  esfuerzo de flexión máximo producida por cargas transversales y/o momento flector.
- $f_s =$  esfuerzo de corte causadas por torsión o por cargas de corte transversal.
- $F_a =$  esfuerzo de compresión de diseño para un miembro considerado como una columna axialmente cargada de acuerdo a la sección 3.4.7 a 3.4.10.
- $F_{ao} =$  esfuerzo de compresión de diseño de un miembro cargado axialmente considerado como una columna corta de acuerdo a la sección 4.7.2.
- $F_b =$  esfuerzo de flexión de diseño para miembros sujetos a pandeo solamente



$F_c$  = esfuerzo de compresión de diseño

$F_{cr}$  = esfuerzo de pandeo local para elementos de la sección 4.7.1

$F_{cy}$  = resistencia de fluencia a la compresión

$F_{cyw}$  = resistencia de fluencia a la compresión a través de una soldadura en ranura (0.2% empleada en 2 pulg. (50 mm) de longitud calibrada.

$F_e$  = esfuerzo crítico de pandeo elástico multiplicado por  $\phi_{cc}$

$$F_e = \frac{\phi_{cc} \pi^2 E}{(kL/r)^2}$$

$F_{eb}$  = esfuerzo de pandeo lateral elástico de la viga calculado usando la ecuación 3.4.11-3 o la Sección 4.9 con  $\phi_b = 1.00$

$F_{ec}$  = esfuerzo elástico crítico

$F_{ec}$  = esfuerzo de diseño de pandeo lateral elástico de la viga calculada asumiendo que los elementos no están pandeados.

$F_{ef}$  = esfuerzo torsional elástico – pandeo flexural

$F_{et}$  = esfuerzo de pandeo torsional elástico

$$F_{et} = \frac{1}{Ar_0^2} \left[ GJ + \frac{\pi^2 EC_w}{(K_t L_t)^2} \right]$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K_x L_b}{r_x} \right)^2}$$

$F_L$  = esfuerzo de estado límite

$F_m$  = valor principal del factor de fabricación

$F_n$  = esfuerzo de estado límite para una sección transversal 1.0 pulg. (25mm) o más de soldadura.

$F_{pw}$  = esfuerzo de estado límite sobre una sección transversal, parte de cuya área está apoyada dentro de 1.0 pulg (25 mm) de una soldadura.

$F_{rb}$  = esfuerzo de estado límite para vigas con elementos pandeados.

$F_{rc}$  = esfuerzo de estado límite para columnas con elementos pandeados.

$F_s$  = esfuerzo de diseño de corte para miembros sujetos solamente a torsión o corte.

$F_{ST}$  = esfuerzo de diseño de acuerdo a la sección 3.4.9.1 o 3.4.16.2



- $F_{su}$  = resistencia última de corte
- $F_{suw}$  = resistencia última de corte dentro de 1.0 pulg. (25 mm de una soldadura)
- $F_t$  = esfuerzo de tracción de diseño para el miembro cargado solamente axialmente de acuerdo a la sección 3.4.1.
- $F_{tu}$  = esfuerzo último de tracción
- $F_{tuw}$  = esfuerzo último de tracción a través de una soldadura de ranura
- $F_{tu1}$  = esfuerzo último de tracción del miembro en contacto con la cabeza del tornillo.
- $F_{tu2}$  = esfuerzo último de tracción del miembro que no está en contacto con la cabeza del tornillo
- $F_{ty}$  = esfuerzo de fluencia de tracción
- $F_{tyw}$  = esfuerzo de fluencia de tracción a través de una soldadura en ranura (0.2% empleada en 2 pulg. (50 mm) de longitud calibrada)
- $F_{UT}$  = esfuerzo de diseño de acuerdo con la sección 3.4.9.1 o 3.4.16.2
- $F_w$  = esfuerzo de estado límite sobre una sección transversal si el área entera estuviera apoyada dentro de 1.0 pulg. (25 mm) de una soldadura.
- $F_y$  = Límite de fluencia cualquiera de los dos  $F_{ty}$  o  $F_{cy}$ , el que sea menor
- $g$  = espaciamiento de remaches o agujeros de pernos perpendiculares a la dirección de la carga
- $g_o$  = distancia del centro de corte al punto de aplicación de la carga )
- $G$  = módulo de elasticidad en cortante
- $G_f$  = agarre (grip) de remaches o pernos
- $h$  = altura libre del alma de corte
- $I$  = Momento de Inercia
- $I_b$  = Momento de Inercia requerido para un rigidizador de apoyo
- $I_{cy}$  = Momento de inercia del ala en compresión sobre el alma
- $I_h$  = Momento de Inercia del atiesador Longitudinal
- $I_o$  = Momento de Inercia del atiesador sobre el eje centroidal del atiesador paralelo al elemento plano que está atiesado.
- $I_s$  = Momento de Inercia del atiesador transversal para resistir el corte al pandeo
- $I_x$  = Momento de Inercia de una viga respecto al eje perpendicular al alma



- $I_y$  = Momento de Inercia de una viga respecto al eje paralelo al alma
- $I_{yc}$  = Momento de Inercia del elemento a compresión respecto al eje paralelo a la vertical del alma
- $j$  = parámetro definido por la ecuación 4.9.3-5 o 6
- $J$  = constante de torsión
- $k$  = factor de longitud efectiva .k debe ser tomada mayor que o igual a la unidad a no ser que un análisis racional justifique un valor menor
- $k_t$  = coeficiente para miembros en tracción
- $k_x$  = coeficiente de longitud efectiva por pandeo sobre el eje x.
- $k_y$  = coeficiente de longitud efectiva por pandeo sobre el eje y
- $k_1$  = coeficiente para determinar el límite de esbeltez  $S_2$  para secciones para las cuales la fuerza de compresión de estado límite esta basada en la resistencia última.
- $k_2$  = coeficiente para determinar el esfuerzo de diseño por compresión en secciones con relación de esbeltez sobre  $S_2$  para los cuales el esfuerzo de compresión de estado límite esta basado en la resistencia última.
- $K_s$  = coeficiente dado en la sección 5.4.2.1 del ADM
- $K_t$  = coeficiente de longitud efectiva por pandeo torsional.  $K_t$  debe ser tomada Mayor que o igual a la unidad a no ser que un análisis racional justifique un valor menor . $L$  = longitud no soportada en el plano de pandeo.
- $L_b$  = longitud no soportada para pandeo
- $L_n$  = carga viva nominal
- $L_s$  = longitud del tubo entre atiesadores circunferenciales
- $L_t$  = longitud no soportada para torcedura
- $m$  = constante a ser determinada desde la Tabla 4.8.1-1 (ver Anexo 1)
- $M$  = Momento flexionante aplicada al miembro
- $M_a$  = Momento de flexion de estado limite para el miembro si el momento de flexión unicamente es aplicado al miembro
- $M_A$  = Valor absoluto de Momento en el cuarto punto del segmento de viga no soportada
- $M_B$  = Valor absoluto de Momento en el punto medio de un segmento de viga no soportada



$M_C$  = Valor absoluto de momento a tres cuartos del punto de un segmento de viga no soportada.

$M_e$  = Momento elástico crítico

$M_i$  = Resistencia a la flexión de miembros con espesores intermedios

$M_m$  = Valor principal del factor de material

$M_{MAX}$  = Valor absoluto del momento máximo en el segmento de viga no soportada

$M_1$  = resistencia a la flexión de un miembro de material delgado

$M_2$  = relación de Momentos flexionantes en los extremos donde  $M_2$  es el mayor de los dos Momentos y  $M_1/M_2$  es positivo cuando el miembro se curva en una curvatura inversa, negativo cuando se curva en una curva simple.

$n$  = número de pruebas

$n$  = número de fibras por unidad de longitud de rosca

$N$  = longitud de apoyo de la reacción o carga concentrada

$N$  = número de ciclos de falla

$N_s$  = número de rangos de esfuerzos en el espectro

$P$  = reacción interior aplicada o carga concentrada por alma para almas planas

$P_{as}$  = fuerza de corte de estado límite por rosca

$P_{at}$  = fuerza de tracción de estado límite por rosca

$P_{bs}$  = carga concentrada sobre apoyo atiesado

$P_L$  = reacción de estado límite o carga concentrada por alma para almas planas calculada de acuerdo a la sección 4.7.7 9

$P_{not}$  = resistencia de adherencia nominal por rosca

$P_{nov}$  = resistencia nominal por rosca

$P_{ns}$  = resistencia al corte nominal por rosca

$P_{nt}$  = resistencia de tracción nominal por rosca

$q$  = carga de diseño uniforme

$r$  = radio de giro

$$r_o = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_o^2 + y_o^2}$$



$r_s$  = radio de giro del atiesador

$r_x, r_y$  = radio de giro de la sección transversal con respecto a los ejes principales  
ver sección 4.9.2 para  $r_{ye}$  para secciones simétricamente simples no simétricas con respecto al eje de flexión .

$r_{ye}$  = radio de giro efectivo

$R$  = radio de transición, el radio de una unión de un detalle de soldadura

$R_b$  = radio de un espesor medio de un elemento redondo o radio máximo de un espesor medio de un elemento ovalado

$R_i$  = radio de flexión de la junta del ala y alma medido en las superficies internas de flexión

$R_s$  = relación de esfuerzos, la relación de esfuerzos mínimos a máximos esfuerzos

$s$  = espaciamiento de los atiesadores transversales (distancia libre entre atiesadores, que consiste de un par de miembros, uno en cada lado del alma, distancia centro a centro entre atiesadores, consiste de un miembro en un lado del alma solamente) espaciamientos de remache o agujeros de pernos paralelo a la dirección de la carga.

$$S = 1.28 \sqrt{\frac{E}{F_{cy}}}$$

$S_c$  = módulo de sección de una viga, lado de compresión

$S_{ra}$  = rango de esfuerzo aplicado

$S_{rd}$  = rango de esfuerzo permisible

$S_{re}$  = rango de esfuerzo equivalente

$S_{ri}$  = el i-esimo rango en el espectro

$S_t$  = módulo de sección de una viga, del lado de tracción

$S_w$  = lado de una soldadura

$S_x$  = desviación estandar de resultados de pruebas

$S_1, S_2$  = límites de esbeltez (con subíndices para columnas)

$t$  = espesor de un elemento

$t_{avg}$  = espesor promedio del elemento



- $t_c$  = peralte de la fibra comprometida de la rosca en  $t_2$  no incluye punto de enrosque o taladreado
- $t_i$  = espesor del espesor intermedio del material probado
- $t_{max}$  = espesor del espesor máximo del material probado
- $t_{max}$  = espesor mayor de un elemento de espesor roscado
- $t_{min}$  = espesor mínimo del material probado
- $t_{min}$  = menor espesor de un elemento de espesor adelgazado
- $t_1$  = espesor del elemento en contacto con la cabeza de la rosca
- $t_2$  = espesor del elemento que no esta en contacto con la cabeza de la rosca
- $U$  = parámetro definido por ecuación 4.9.3-8
- $V$  = fuerza de corte sobre el alma en la ubicación del atiesador
- $V_F$  = coeficiente de variación de un factor de fabricación
- $V_M$  = coeficiente de variación de un factor de material
- $V_P$  = coeficiente de variación de la relacion de cargas de fallas observadas dividida por el valor promedio de todas las cargas de fallas observadas
- $V_Q$  = coeficiente de variación de las cargas
- $x_o$  = x – coordenada del centro de corte
- $X_a$  = resistencia por el cual el 99% del material es esperado a conformar un nivel de confiabilidad de 95%
- $X_i$  = carga de falla en la prueba i- esima
- $X_m$  = significado de los resultados de las pruebas
- $y_o$  = y – coordenada del centro de corte
- $\alpha = D_n / L_n$
- $\alpha_i$  = número de ciclos en el espectro del i-esimo rango de fuerza dividido por el total numero de ciclos )
- $\alpha_s$  = factor igual a la unidad para un atiesador que consiste en miembros iguales en ambos lados del alma e igual a 3.5 para una atiesador que consiste de un miembro sobre un lado unicamente
- $\beta = 1 - (x_o / r_o)^2$
- $\beta_o$  = indice objetivo de confiabilidad

$\beta_s =$  constante de resorte ( fuerza transversal aplicada al ala en compresión de un miembro por unidad de longitud dividido por la deflexion debida a la fuerza )

$$\delta = \frac{(t_{\max} - t_{\min})}{t_{\min}} \text{ para espesores de elementos adelgazados}$$

$\lambda =$  parámetro de esbeltez

$\lambda_s =$  relación de esbeltez equivalente para un atiesador intermedio

$\rho_{st} =$  relación definida en la sección relación 3.4.9.1 y 3.4.16.2

$\phi =$  factor de resistencia

$\theta =$  ángulo entre el plano del alma y el plano de la superficie de apoyo ( $\theta < 90^\circ$ )

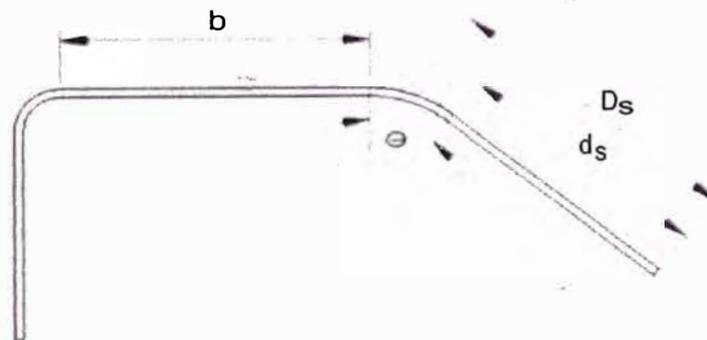


Figura 3.4.1-1

Elementos atiesados en el borde

Si  $r > 4t$ , entonces usar  $r = 4t$  para calcular  $b$ .

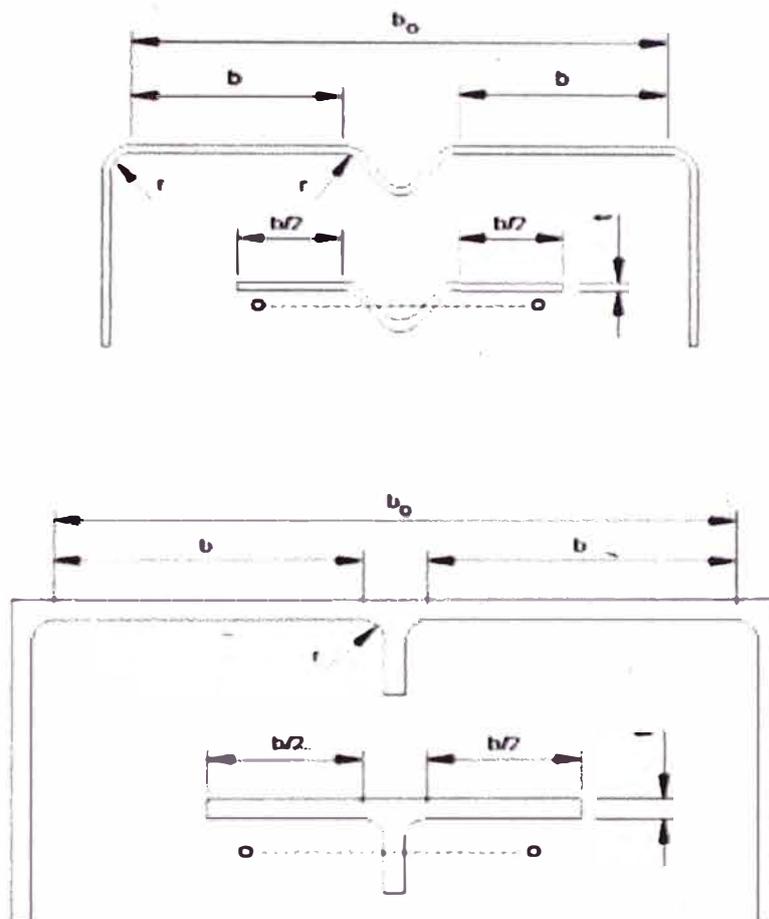


Figura 3.4.9.2-1

Elementos planos con un atiesador intermedio

Línea O-O es el eje neutro del atiesador y placa de ancho  $b/2$  en cada lado del atiesador,  $I$  es el momento de inercia de la parte mostrada en la sección parcial.

Si  $r > 4t$ , entonces usar  $r = 4t$  para calcular  $b$ .

### 3.5. Tablas relacionadas a las propiedades mecánicas y constantes de Pandeo

Esta sección consiste de las siguientes tablas que contienen fórmulas para determinar los esfuerzos permisibles y constantes y coeficientes necesarios para estas fórmulas (ver Anexo2)

3.3-1 Propiedades Mecánicas Mínimas para Aleaciones de Aluminio

3.3-1M Propiedades Mecánicas Mínimas para Aleaciones de Aluminio

3.3-2 Propiedades Mecánicas Mínimas para Aleaciones soldadas de Aluminio



- 3.3-2M Propiedades Mecánicas Mínimas para Aleaciones soldadas de Aluminio
- 3.3-3 Fórmulas para constantes de Pandeo para Productos cuyas Designaciones por Templado comienzan con -O,-H,-T1,-T2, .T3, o -T4
- 3.3-4 Fórmulas para constantes de Pandeo para Productos cuyas designaciones por Templado comienzan con -T5,-T6,-T7,-T8 o -T9

### Esfuerzo de Diseño

El esfuerzo de Diseño  $\phi F_L$  puede ser determinado de acuerdo con estas especificaciones:

- El factor de resistencia  $\phi$  debe ser tomado de la tabla 3.4-1
- Los valores del coeficiente  $k_t$  deben ser tomados de la tabla 3.4-2
- Los valores de  $k_1$  y  $k_2$  deben ser tomados de la tabla 3.3-3 y 3.3-4
- Las fórmulas de esta sección están listadas en la tabla 3.4-3

### 3.6. Miembros en Tracción

Los esfuerzos de tracción y resistencias son más fáciles de calcular que otros tipos de esfuerzos. El esfuerzo de tracción puede causar fracturas, es un modo de falla que es repentino y usualmente catastrófico.

La fuerza de tracción también puede causar deformación, pero las consecuencias son, quizás, no tan desastrosas como la fractura. Algunas deformaciones, ocurren en las estructuras debido a un perno sometido a torque o en miembros sometidos a esfuerzos elevados. Solamente cuando la deformación es excesiva ocurre la falla.

Debemos tener presente estos estados límites.

**Tracción Axial (3.4.1 ADM)<sup>38</sup>**

El esfuerzo por tracción axial producido por las cargas factorizadas no deben exceder

$$\phi F_L = \phi_y F_{ty} \quad (\text{Ecuación 3.4.1-1) (ADM)}$$

Sobre el área Total y

$$\phi F_L = \frac{\phi_u F_{tu}}{k_t} \quad (\text{Ecuación 3.4.1- 2)}$$

Sobre el área neta efectiva (ver sección 5.1.5)

Donde

$$\phi_y = 0.95 \text{ y } \phi_u = 0.85$$

Los valores de  $k_t$  se dan en la Tabla 3.4-2 (ADM)

El esfuerzo de Bloque de corte en el extremo de una conexión de un miembro en tracción se da en la sección 5.1.3.

**Tracción en fibras extremas de la viga- Tracción uniforme en elementos planos (3.4.2 ADM)<sup>39</sup>**

$$\phi F_L = \phi_y F_{ty} \quad (\text{Ecuación 3.4.2-1)}$$

$$\text{y } \phi F_L = \phi_u F_{tu} / k_t \quad (\text{Ecuación 3.4.2- 2 )}$$

$$\text{Donde: } \phi_y = 0.95 \text{ y } \phi_u = 0.85$$

**Tracción en fibras extremas de viga – Tubos redondos u ovalados (3.4.3 ADM)**

El esfuerzo de diseño es el menor de:

$$\phi F_L = 1.17 \phi_y F_{ty} \quad (\text{Ecuación 3.4.3-1)}$$

<sup>38</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-26

<sup>39</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-26



$$\phi F_L = 1.24 \phi_u F_{tu} / k_t \quad (\text{Ecuación 3.4.3-2})$$

Donde:  $\phi_y = 0.95$  y  $\phi_u = 0.85$

### Tracción en fibras extremas de la viga- Elementos planos pandeados en su propio plano. (3.4.4 ADM)

- a. Para elementos simétricos sobre el eje pandeado, el esfuerzo de diseño es el menor de :

$$\phi F_L = 1.3 \phi_y F_{ty} \quad (\text{Ecuación 3.4.4-1})$$

y

$$\phi F_L = 1.42 \phi_u F_{tu} / k_t \quad (\text{Ecuación 3.4.4-2})$$

- b. Para elementos asimétricos sobre el eje pandeado, el esfuerzo del extremo de la fibra del elemento no debe exceder el valor límite de a. y el esfuerzo a media altura del elemento no debe exceder el esfuerzo dado en la sección 3.4.2

Donde:  $\phi_y = 0.95$  y  $\phi_u = 0.85$

### Apoyo sobre remaches y pernos (3.4.5 ADM)<sup>40</sup>

$$\phi F_L = 2 \phi_u F_{tu} \quad (\text{Ecuación 3.4.5-1})$$

Donde  $\phi_u = 0.85$

Este valor debe ser usado para una relación de distancia del borde al diámetro del sujetador de 2 o mayor. Para relaciones pequeñas este esfuerzo de diseño deberá ser multiplicado por la relación: (distancia del borde) / (2x diámetro del sujetador). La distancia al borde es la distancia desde el centro del sujetador al borde del material en la dirección de la carga aplicada y no debe ser

<sup>40</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-26



menor que 1.5 veces el diámetro del sujetador extruido, cortado, aserrado, rolado o de bordes cepillados.

**Apoyo sobre superficies planas, pasadores y sobre pernos en agujeros ovalados** (3.4.6 ADM)

$$\phi F_L = 2\phi_u F_{tu}/1.5 \quad (\text{Ecuación 3.4.6-1})$$

Donde  $\phi_u = 0.85$

(Ver sección 5.2.2 para límites sobre longitudes ranuradas)

### 3.7. Miembros en Compresión

**Compresión en columnas, axial, sección total** (3.4.7 ADM)<sup>41</sup>

Para miembros en compresión axial, el esfuerzo de diseño es el menor determinado en esta sección y secciones 3.4.8 a 3.4.10

$$a. \quad \phi F_L = \phi_{cc} F_{cy} \quad (\text{Ecuación 3.4.7-1})$$

para  $\lambda \leq S_1$

$$b. \quad \phi F_L = \phi_{cc} (B_c - D_c^* \lambda) \quad (\text{Ecuación 3.4.7-2})$$

para  $S_1^* < \lambda < S_2^*$

$$c. \quad \phi F_L = \frac{\phi_{cc} F_{cy}}{\lambda^2} \quad (\text{Ecuación 3.4.7-3})$$

para  $\lambda \geq S_2$

Donde:

$$\lambda = (kl/r) \left( \frac{1}{\pi} \right) \sqrt{F_{cy}/E} \quad \text{parámetro de esbeltez} \quad (\text{Ecuación 3.4.7-4})$$

$$D_c^* = \pi D_c \sqrt{E/F_{cy}} \quad (\text{Ecuación 3.4.7-5})$$

$$S_1^* = \frac{(B_c - F_{cy})}{D_c^*} \quad (\text{Ecuación 3.4.7-6})$$

<sup>41</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-26



$$S_2^* = \frac{C_c}{\pi} \sqrt{\frac{F_{cy}}{E}} \quad (\text{Ecuación 3.4.7-7})$$

$$\phi_{cc} = 1 - 0.21\lambda \leq 0.95 \text{ para } \lambda \leq 1.2 \quad (\text{Ecuación 3.4.7-8})$$

$$\phi_{cc} = 0.14\lambda + 0.58 \leq 0.95 \text{ para } \lambda > 1.2 \quad (\text{Ecuación 3.4.7-9})$$

$k$  = factor de longitud efectiva por análisis racional.  $k$  puede ser tomada mayor que o igual a la unidad a no ser que un análisis racional justifique un valor menor.

$L$  = longitud no soportada

$r$  = radio de giro de la columna sobre el eje de pandeo.

### Secciones no sujetas a Pandeo Torsional o Flexo-torsional (3.4.7.1 ADM)<sup>42</sup>

Para secciones cerradas y otras secciones que no están sujetas a pandeo torsional o flexo-torsional,  $kL/r$  debe ser la mayor relación de esbeltez para pandeo por flexión de la columna.

### Secciones simétricas dobles o simples sujetas a Pandeo torsional o Flexo-Torsional (3.4.7.2 ADM).

Para secciones simétricas dobles o simples sujetas a pandeo Torsional o Flexo-torsional,  $kL/r$  debe ser la mayor de la mayor relación de esbeltez para pandeo por flexión y la relación de esbeltez equivalente determinada por pandeo flexo-torsional como sigue:

$$(kL/r)e = \pi \sqrt{\frac{E}{F_e}} \quad (\text{Ecuación 3.4.7.2-1})$$

Donde  $F_e$  es el esfuerzo elástico crítico determinado como sigue:

<sup>42</sup> Aluminum Design Manual 2005 ,PART I-B-27



Para Pandeo Torsional

$$F_e = F_{et} \quad (\text{Ecuación 3.4.7.2-2})$$

Para Pandeo Flexo-Torsional:

$$F_e = F_{ef} = \frac{1}{2\beta} \left[ (F_{ex} + F_{et}) - \sqrt{(F_{ex} + F_{et})^2 - (4\beta F_{ex} F_{et})} \right] \quad (\text{Ecuación 3.4.7.2-3})$$

Como una alternativa,  $F_e$  para Pandeo Flexo-Torsional se puede obtener como sigue:

$$F_e = F_{ef} = \frac{F_{ex} F_{et}}{F_{ex} + F_{et}} \quad (\text{Ecuación 3.4.7.2-4})$$

En las ecuaciones mencionadas

Eje-x es el eje simétrico centroidal

A = área de la sección transversal

$C_w$  = constante torsional de la sección transversal (constante de alabeo)

E = Módulo de elasticidad (ver tabla 3.3-1)

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{k_x L_b}{r_x} \right)^2} \quad (\text{Ecuación 3.4.7.2-5})$$

$$F_{et} = \frac{1}{A r_0^2} \left[ GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right] \quad (\text{Ecuación 3.4.7.2-6})$$

G = módulo de corte =  $3E/8$  (Ecuación 3.4.7.2-7)

J = constante de torsión

$k_x$  = coeficiente de longitud efectiva para pandeo sobre el eje -x

$K_t$  = factor de longitud efectiva para pandeo torsional) coeficiente de longitud efectiva para pandeo torsional.  $K_t$  debe tomarse mayor que o igual a la unidad a no ser que un análisis racional justifique un menor valor.

$L_t$  = longitud no arriostrada por torcedura

$L_b$  = (longitud no arriostrada por pandeo)



$$r_o = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_o^2} \quad (\text{Ecuación 3.4.7.2-8})$$

Radio polar de giro de la sección transversal sobre el centro de corte

$r_x, r_y$  = radio de giro de la sección transversal con respecto a los ejes principales centroidales.

$x_o$  = coordenada-x del centro de corte

$$\beta = 1 - (x_o / r_o)^2 \quad (\text{Ecuación 3.4.7.2-9})$$

### Secciones no simétricas sujetas a Pandeo Torsional o Flexo-Torsional

(3.4.7.3 ADM)<sup>43</sup>

Para secciones no simétricas sujetas a Pandeo Torsional o Flexo-Torsional  $kL/r$  debe ser determinada por un análisis racional.

### Compresión Uniforme en elementos de Columnas cuyo eje pandeado es un eje de simetría –Elementos planos soportados sobre un extremo (3.4.8 ADM)

$$a. \quad \phi F_L = \phi_y F_{cy} \quad (\text{Ecuación 3.4.8-1})$$

Para  $b/t \leq S_1$

$$b. \quad \phi F_L = \phi_c \left[ B_p - 5.1 D_p \frac{b}{t} \right] \quad (\text{Ecuación 3.4.8-2})$$

Para  $S_1 < b/t < S_2$

$$c. \quad \phi F_L = \frac{\phi_c k_2 \sqrt{B_p E}}{5.1 b/t} \quad (\text{Ecuación 3.4.8.-3})$$

Para  $b/t \geq S_2$

Donde

$$S_1 = \frac{B_p - \frac{\phi_y}{\phi_c} F_{cy}}{5.1 D_p} \quad (\text{Ecuación 3.4.8-4})$$

<sup>43</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-27



$$S_2 = \frac{k_1 B_p}{5.1 D_p} \quad (\text{Ecuación 3.4.8- 5})$$

b = distancia del extremo no arriostrado al pie del filete o flexión, excepto si el radio de la esquina interior excede 4 veces el espesor, entonces el radio interior se debe asumir igual a 4 veces el espesor en el cálculo de b. Elementos con ancho b se ilustran en la figura 3.4.8-1

$$\phi_y = 0.95$$

$$\phi_c = 0.85$$

**Compresión uniforme en elementos de columnas cuyos ejes pandeados no están en un eje de simetría – Elementos planos soportados sobre un único extremo. (3.4.8.1 ADM)<sup>44</sup>**

a.  $\phi F_L = \phi_y F_{cy}$  (Ecuación 3.4.8.1-1)

Para  $b/t \leq S_1$

b.  $\phi F_L = \phi_c \left[ B_p - 5.1 D_p \frac{b}{t} \right]$  (Ecuación 3.4.8.1-2)

Para  $S_1 < b/t < S_2$

c.  $\phi F_L = \frac{\phi_c \pi^2 E}{(5.1 b/t)^2}$  (Ecuación 3.4.8.1-3)

Para  $b/t \geq S_2$

Donde

$$S_1 = \frac{B_p - \frac{\phi_y}{\phi_c} F_{cy}}{5.1 D_p} \quad (\text{Ecuación 3.4.8.1-4})$$

<sup>44</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-28

$$S_2 = \frac{C_p}{5.1} \quad (\text{Ecuación 3.4.8.1-5})$$

b = distancia del extremo no arriostrado al pie del filete o flexión, excepto si el radio de la esquina interior excede 4 veces el espesor, entonces el radio interior se debe asumir igual a 4 veces el espesor en el calculo de b. Elementos con ancho b se ilustran en la figura 3.4.8-1

$$\phi_y = 0.95$$

$$\phi_c = 0.85$$

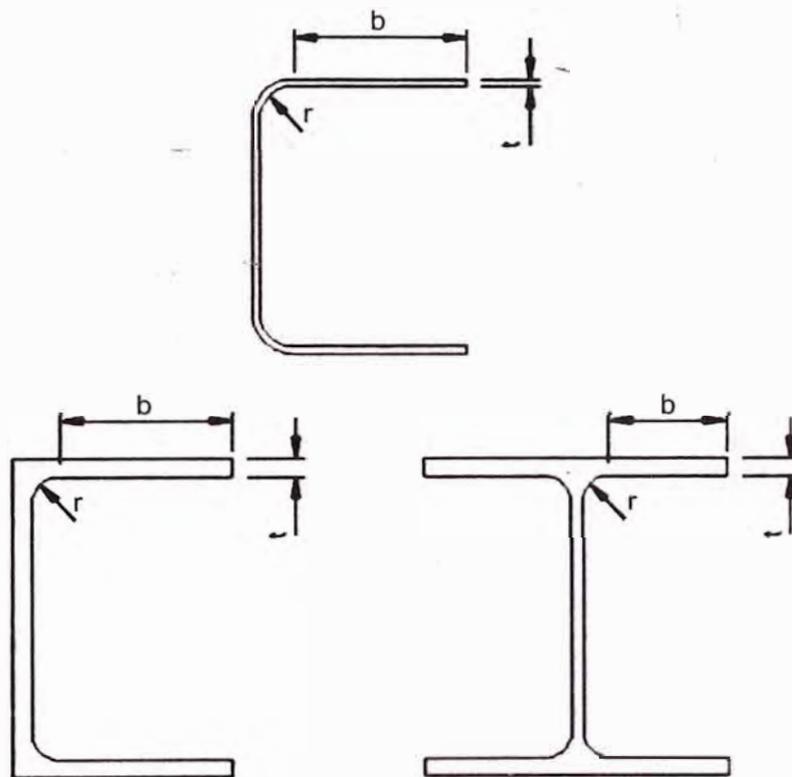


Figura 3.4.8.-1

Elementos Planos soportados sobre un borde

Si  $r > 4t$ , entonces usar  $r = 4t$  para calcular b.

### Compresión uniforme en elementos de columnas – Elementos planos soportados sobre ambos extremos (3.4.9 ADM)<sup>45</sup>

a. 
$$\phi F_L = \phi_y F_{cy} \quad (\text{Ecuación 3.4.9-1})$$

<sup>45</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-30



Para  $b/t \leq S_1$

$$b. \quad \phi F_L = \phi_c \left[ B_p - 1.6 D_p \frac{b}{t} \right] \quad (\text{Ecuación 3.4.9-2})$$

Para  $S_1 < b/t < S_2$

$$c. \quad \phi F_L = \frac{\phi_c k_2 \sqrt{B_p E}}{1.6 b/t} \quad (\text{Ecuación 3.4.9-3})$$

Para  $b/t \geq S_2$

Donde

$$S_1 = \frac{B_p - \frac{\phi_y}{\phi_c} F_{cy}}{1.6 D_p} \quad (\text{Ecuación 3.4.9-4})$$

$$S_2 = \frac{k_1 B_p}{1.6 D_p} \quad (\text{Ecuación 3.4.9-5})$$

$b$  = distancia del extremo no arriostrado al pie del filete o flexión, excepto si el radio de la esquina interior excede 4 veces el espesor, entonces el radio interior se debe asumir igual a 4 veces el espesor en el cálculo de  $b$ . Elementos con ancho  $b$  se ilustran en la figura 3.4.9-1

$$\phi_y = 0.95$$

$$\phi_c = 0.85$$

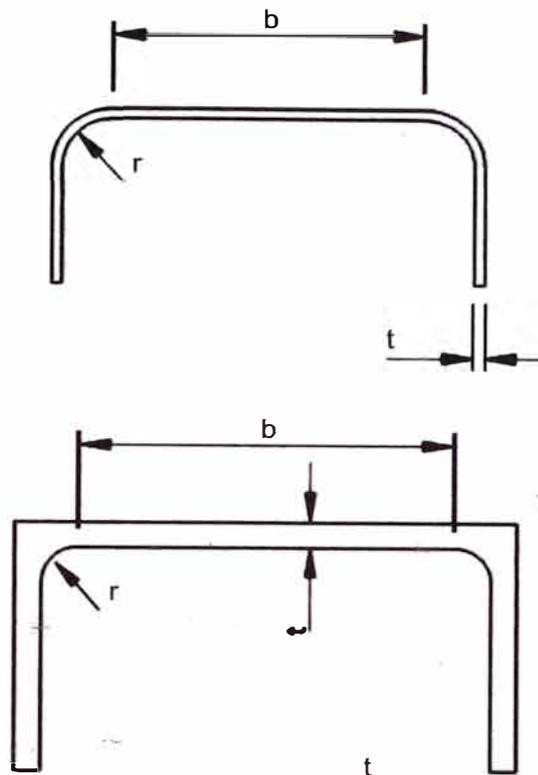


Figura 3.4.9.1

Elementos Planos soportados sobre un borde  
 Si  $r > 4t$ , entonces usar  $r = 4t$  para calcular  $b$ .

**Compresión Uniforme en elementos de columnas- Elementos planos soportados en un borde y con atiesadores en el otro borde (3.4.9.1 ADM)<sup>46</sup>**

La disposición de esta sección se aplica cuando  $D_s/b \leq 0.8$ .

El esfuerzo de diseño es el menor de

$$\phi F_L = \phi_y F_{cy} \quad \text{(Ecuación 3.4.9-1-1)}$$

y

$$\phi F_L = F_{UT} + (F_{ST} - F_{UT}) \rho_{st} \leq F_{ST} \quad \text{(Ecuación 3.4.9.1-2)}$$

Para un borde simple recto atiesado de espesor constante,  $\phi F_L$  no debe exceder el esfuerzo de diseño para el atiesador de acuerdo a la sección 3.4.8.

<sup>46</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-31

En las ecuaciones de encima

$D_s$  = definida en la figura 3.4.9.1-1 y -2

$F_{UT}$  = esfuerzo de diseño de acuerdo a la sección 3.4.8 sin considerar el atiesador

$F_{ST}$  = esfuerzo de diseño de acuerdo a la sección 3.4.9

$\rho_{st}$  = razón a ser determinado como sigue

$$\rho_{st} = 1.0 \quad \text{para } b/t \leq S/3 \quad (\text{Ecuación 3.4.9.1-3})$$

$$\rho_{st} = \frac{r_s}{9t \left( \frac{b/t}{S} - \frac{1}{3} \right)} \leq 1.0 \quad \text{para } S/3 < b/t \leq S \quad (\text{Ecuación 3.4.9.1-4})$$

$$\rho_{st} = \frac{r_s}{1.5t \left( \frac{b/t}{S} + 3 \right)} \leq 1.0 \quad \text{para } 2S > b/t > S \quad (\text{Ecuación 3.4.9.1-5})$$

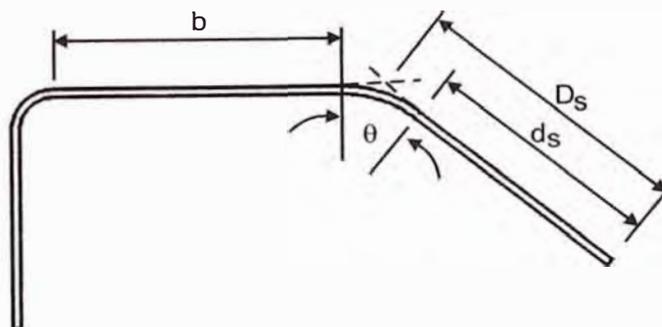


Figura 3.4.9.1-1; Elementos atiesados en el borde

Si  $r > 4t$ , entonces usar  $r = 4t$  para calcular  $b$ .



Figura 3.4.9.1-2; Elementos atiesados en el borde

Si  $r > 4t$ , entonces usar  $r = 4t$  para calcular  $b$ .

$r_s$  = radio de giro del atiesador determinado como sigue :

Para un atiesador simple recto de espesor constante similar al mostrado en la figura 3.4.9.1-1,  $r_s$  debe calcularse como:

$$r_s = \frac{d_s \text{sen}\theta}{\sqrt{3}} \quad \text{(Ecuación 3.4.9.1-6)}$$

Para otros atiesadores,  $r_s$  debe ser calculada sobre la mitad del espesor del elemento atiesado.

$d_s$  = ancho plano del borde atiesado mostrado en la figura 3.4.9.1-1

$$S = 1.28 \sqrt{\frac{E}{F_{cy}}} \quad \text{(Ecuación 3.4.9.1-7)}$$

$b$  = distancia del extremo no arriostado al pie del filete o flexión, excepto si el radio de la esquina interior excede 4 veces el espesor, entonces el radio interior se debe asumir igual a 4 veces el espesor en el calculo de  $b$ .

Elementos con ancho  $b$  se ilustran en la figura 3.4.9.1-1 y 3.4.9.1-2.

$$\phi_y = 0.95$$



**Compresión Uniforme en elementos de columnas- Elementos planos soportados sobre ambos bordes y con un atiesador intermedio. (3.4.9.2 ADM)<sup>47</sup>**

a.  $\phi F_L = \phi_y F_{cy}$  (Ecuación 3.4.9.2-1)

Para  $\lambda_s \leq S_1$

b.  $\phi F_L = \phi_c (B_c - D_c \lambda_s)$  (Ecuación 3.4.9.2-2)

Para  $S_1 < \lambda_s < S_2$

c.  $\phi F_L = \frac{\phi_c \pi^2 E}{\lambda_s^2}$  (Ecuación 3.4.9.2-3)

Para  $\lambda_s \geq S_2$

El esfuerzo de diseño  $\phi F_L$  obtenido encima no debe ser mayor que el esfuerzo de diseño de acuerdo a la sección 3.4.9 para los sub-elementos del elemento atiesador intermedio.

El esfuerzo de diseño  $\phi F_L$  obtenido arriba no debe ser menor que el determinado de acuerdo a la sección 3.4.9 ignorando el atiesador intermedio.

En las ecuaciones arriba mencionadas:

$A_s$  = área del atiesador

$I_o$  = momento de inercia de una sección que comprende el atiesador y una mitad del ancho del sub-elemento adyacente y las esquinas de transición entre ellos tomado sobre el eje centroidal de la sección paralela al elemento que es atiesado (Figura 3.4.9.2-1).

$$S_1 = \frac{B_c - \frac{\phi_y F_{cy}}{\phi_c}}{D_c} \quad \text{(Ecuación 3.4.9.2-4)}$$

<sup>47</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-33

$$S_2 = C_c \quad (\text{Ecuación 3.4.9.2-5})$$

$$\lambda_s = 4.62 \frac{b}{t} \sqrt{\frac{1 + A_s/bt}{1 + \sqrt{1 + \frac{10.67 I_o}{bt^3}}}} \quad (\text{Ecuación 3.4.9.2-6})$$

$$\phi_y = 0.95$$

$$\phi_c = 0.85$$

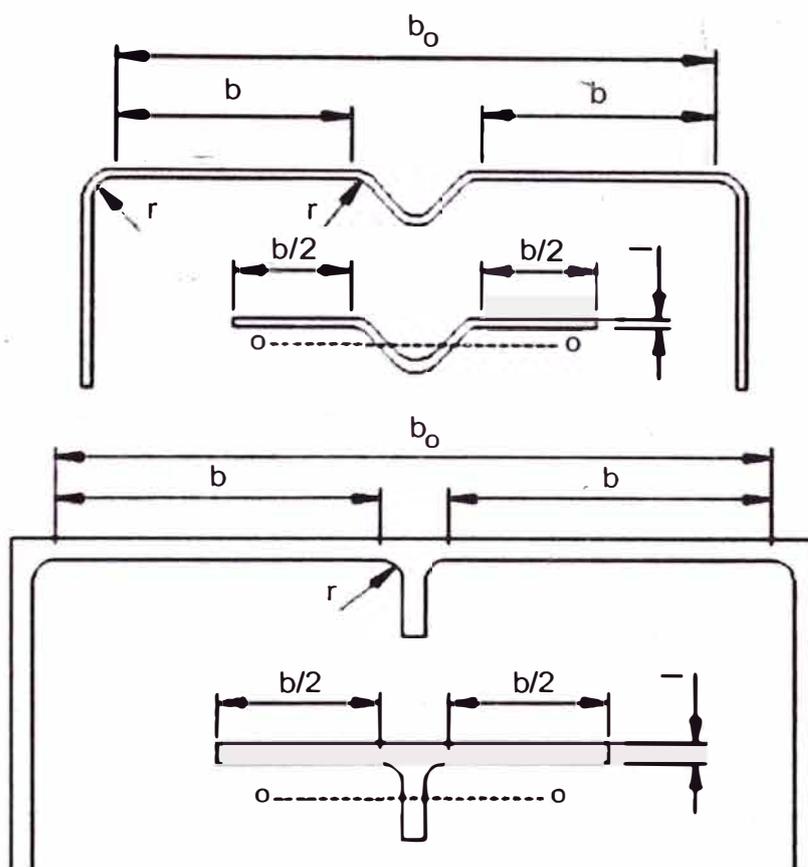


Figura 3.4.9.2-1 ; Elementos planos con un atiesador intermedio  
 Línea O-O es el eje neutro del atiesador y placa de ancho  $b/2$  sobre cada lado del atiesador,  $I$  es el momento de inercia de la porción mostrada en la sección parcial.

Si  $r > 4t$ , entonces usar  $r = 4t$  para calcular  $b$ .



### Compresión uniforme en elementos de columna – Elementos curvados soportados en ambos bordes (3.4.10 ADM)<sup>48</sup>

a.  $\phi F_L = \phi_y F_{cy}$  (Ecuación 3.4. 10-1)

Para  $R_b/t \leq S_1$

b.  $\phi F_L = \phi_c \left[ B_t - D_t \sqrt{\frac{R_b}{t}} \right]$  (Ecuación 3.4.10-2)

Para  $S_1 < R_b/t < S_2$

c.  $\phi F_L = \frac{\phi_{cp} \pi^2 E}{16 \left( \frac{R_b}{t} \right) \left( 1 + \frac{\sqrt{R_b/t}}{35} \right)^2}$  (Ecuación 3.4.10-3)

Para  $R_b/t \geq S_2$

Donde

$$S_1 = \left( \frac{B_t - \frac{\phi_y}{\phi_c} F_{cy}}{D_t} \right)^2 \quad \text{(Ecuación 3.4.10-4)}$$

$S_2 = R_b/t$  en la intersección de las ecuaciones 3.4.10-2 y 3.4.10-3

$$\phi_y = 0.95$$

$$\phi_c = 0.85$$

$$\phi_{cp} = 0.80$$

Para tubos con soldaduras circunferenciales, las ecuaciones de esta sección se aplican para  $R_b/t \leq 20$

<sup>48</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-35



### Vigas en compresión, Fibras extremas, Sección Total – Perfiles con alma única. (3.4.11 ADM)<sup>49</sup>

Para perfiles con alma única no sujetas a pandeo lateral (Pandeo sobre el eje más fuerte con soporte lateral continuo o pandeo sobre el eje débil), determinar el esfuerzo de diseño a compresión  $\phi F_L$  de la sección 3.4.15 a 3.4.19 como aplicable.

Para perfiles con alma única sujetas a pandeo lateral (Pandeo sobre el eje más fuerte sin soporte lateral continuo), el esfuerzo de diseño a compresión  $\phi F_L$  es el menor determinado por la sección 3.4.15 a 3.4.19 como aplicable y los siguientes:

$$a. \quad \phi F_L = \phi_y F_{cy} \quad (\text{Ecuación 3.4. 11-1})$$

$$\text{Para } \frac{L_b}{r_y \sqrt{C_b}} \leq S_1$$

$$b. \quad \phi F_L = \phi_b \left[ B_c - \frac{D_c L_b}{1.2 r_y \sqrt{C_b}} \right] \quad (\text{Ecuación 3.4.11-2})$$

$$\text{Para } S_1 < \frac{L_b}{r_y \sqrt{C_b}} < S_2$$

$$c. \quad \phi F_L = \frac{\phi_b C_b \pi^2 E}{\left( \frac{L_b}{1.2 r_y} \right)^2} \quad (\text{Ecuación 3.4.11-3})$$

$$\text{Para } \frac{L_b}{r_y \sqrt{C_b}} \geq S_2$$

Donde

$$S_1 = \frac{1.2 \left( B_c - \frac{\phi_y F_{cy}}{\phi_b} \right)}{D_c} \quad (\text{Ecuación 3.4.11-4})$$

<sup>49</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-35



$$S_2 = 1.2 C_c \quad (\text{Ecuación 3.4.11-5})$$

$$\phi_y = 0.95$$

$$\phi_b = 0.85$$

$r_y$  = radio de giro del perfil ( sobre un eje paralelo al alma) ( Para perfiles que son asimétricos sobre el eje horizontal  $x$  ,  $r_y$  debe ser calculado como si ambas alas fueran iguales como alas comprimidas).

$L_b$  = longitud de la viga entre puntos arriostrados o entre un punto arriostrado y el extremo libre de una viga cantilever. Los puntos arriostrados son los puntos en el cual el ala a compresión esta restringida contra movimientos laterales y la sección transversal esta restringida contra la torsión.

$C_b$  = coeficiente que depende de la variación de momentos sobre una longitud no arriostrada.  $C_b$  esta dada en la sección 4.9.4 o es tomada como 1.

De manera alternativa,  $\phi F_L$  puede ser calculada reemplazando  $r_y$  por  $r_{ye}$  dado en la seccion 4.9.

### Compresión en vigas, Fibras extremas, seccion Total – Tubos redondos u ovalados (3.4.12 ADM)<sup>50</sup>

a. 
$$\phi F_L = 1.17 \phi_y F_{cy} \quad (\text{Ecuación 3.4. 12-1})$$

Para 
$$\frac{Rb}{t} \leq S_1$$

b. 
$$\phi F_L = \phi_b \left( B_{tb} - D_{tb} \sqrt{\frac{Rb}{t}} \right) \quad (\text{Ecuación 3.4.12-2})$$

Para 
$$S_1 < \frac{Rb}{t} < S_2$$

<sup>50</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-35



- c. Para  $\frac{R_b}{t} \geq S_2$  ; el esfuerzo de diseño de pandeo debe ser determinado de las fórmulas de tubos en compresión en la sección 3.4.10 usando la fórmula que es apropiada para el valor particular de  $\frac{R_b}{t}$ .

En las ecuaciones arriba mencionadas

$R_b$  = radio de espesor medio de un elemento redondo o máximo radio de espesor medio de un elemento ovalado.

$$S_1 = \left( \frac{B_{tb} - 1.17 F_{cy} \phi_y / \phi_b}{D_{tb}} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 3.4.12-3})$$

$$S_2 = \left( \frac{B_{tb} - \frac{\phi_c}{\phi_b} B_t}{D_{tb} - \frac{\phi_c}{\phi_b} D_t} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 3.4.12-4})$$

Para tubos con soldaduras circunferenciales, la ecuación de esta sección se aplica

para  $\frac{R_b}{t} \leq 20$ .

$$\phi_y = 0.95$$

$$\phi_c = 0.85$$

$$\phi_b = 0.85$$



**Compresión en vigas, fibras extremas, secciones totales rectangulares sólidas y secciones circulares. (3.4.13 ADM).<sup>51</sup>**

Para secciones rectangulares pandeadas sobre el eje débil, varillas y barras cuadradas:

a.  $\phi F_L = 1.3 \phi_y F_{cy}$  (Ecuación 3.4. 13-1)

Para  $\frac{d}{t} \sqrt{\frac{L_b}{C_{dd}}} \leq S_1$

b.  $\phi F_L = \phi_b \left( B_{br} - 2.3 D_{br} \frac{d}{t} \sqrt{\frac{L_b}{C_{bd}}} \right)$  (Ecuación 3.4.13-2)

Para  $S_1 < \frac{d}{t} \sqrt{\frac{L_b}{C_{bd}}} < S_2$

c.  $\phi F_L = \frac{\phi_b \pi^2 E C_b}{5.29 \left( \frac{d}{t} \right)^2 \frac{L_b}{d}}$  (Ecuación 3.4.13-3)

Para  $\frac{d}{t} \sqrt{\frac{L_b}{C_{bd}}} \geq S_2$

Donde

$$S_1 = \frac{B_{br} - 1.3 \frac{\phi_y F_{cy}}{\phi_b}}{2.3 D_{br}}$$

(Ecuación 3.4.13-4)

$$S_2 = \frac{C_{br}}{2.3}$$

(Ecuación 3.4.13-5)

$$\phi_y = 0.95$$

(Ecuación 3.4.13-6)

$$\phi_b = 0.85$$

(Ecuación 3.4.13-7)

d = peralte de la sección

<sup>51</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-36



$L_b$  = longitud de la viga entre puntos arriostrados o entre un punto arriostrado y el extremo libre de una viga cantilever. Los puntos arriostrados son los puntos en el cual el ala a compresión esta restringida contra movimientos laterales y la sección transversal esta restringida contra la torsión.

$C_b$  = coeficiente que depende de la variación de momentos sobre una longitud no arriostrada.  $C_b$  esta dada en la sección 4.9.4 o es tomada como 1.

**Compresión en vigas, Fibras extremas, sección Total – Perfiles tubulares (3.4.14 ADM)<sup>52</sup>**

Para el propósito de estas especificaciones, los perfiles tubulares están definidos como secciones cerradas.

Para perfiles tubulares no sujetos a pandeo lateral (pandeado sobre el eje fuerte con soporte lateral continuo o pandeado sobre el eje débil) y circulares, cuadrados, hexagonales, y tubos octogonales, determine el esfuerzo de diseño por compresion  $\phi F_L$  desde las secciones 3.4.12 y 3.4.15 a 3.4.19 como aplicable.

Para perfiles tubulares sujetos a pandeo lateral (pandeado sobre el eje fuerte sin soporte lateral continuo), el esfuerzo de compresion permisible ( $\phi F_L$ ) es el valor menor determinado por las secciones 3.4.12 y 3.4.15 a 3.4.19 como aplicable y el siguiente:

a.  $\phi F_L = \phi_y F_{cy}$  (Ecuación 3.4. 14-1)

Para  $\frac{L_b S_c}{C_b (\sqrt{I_y J} / 2)} \leq S_1$

b.  $\phi F_L = \phi_b \left( B_c - 1.6 D_c \sqrt{\frac{L_b S_c}{C_b (\sqrt{I_y J} / 2)}} \right)$  (Ecuación 3.4.14-2)

<sup>52</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-36



$$\text{Para } S_1 < \frac{L_b S_c}{C_b \left( \sqrt{I_y J} / 2 \right)} < S_2$$

$$c. \quad \phi F_L = \frac{\phi_b \pi^2 E}{2.56 \frac{L_b S_c}{C_b \left( \sqrt{I_y J} / 2 \right)}} \quad (\text{Ecuación 3.4.14-3})$$

$$\text{Para } \frac{L_b S_c}{C_b \left( \sqrt{I_y J} / 2 \right)} \geq S_2$$

Donde

$$S_1 = \left( \frac{B_c - \frac{\phi_y F_{cy}}{\phi_b}}{1.6 D_c} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 3.4.14-4})$$

$$S_2 = \left( \frac{C_c}{1.6} \right)^2 \quad (\text{Ecuación 3.4.14-5})$$

$$\phi_y = 0.95$$

$$\phi_b = 0.85$$

$I_y$  = Momento de Inercia de la viga sobre el eje menor

$J$  = Constante de Torsión

$L_b$  = Longitud de la viga entre puntos arriostrados o entre un punto arriostrado y el extremo libre de una viga cantilever. Los puntos arriostrados son los puntos en el cual el ala a compresión esta restringida contra movimientos laterales o la seccion transversal esta restringida contra la torsión.

$C_b$  = Coeficiente que depende de la variación de momentos sobre una longitud no arriostrada.  $C_b$  está dada en la seccion 4.9.4 o es tomada como 1.



De manera alternativa,  $\phi F_L$  puede ser calculada usando la ecuación de la sección 3.4.11 y reemplazando  $r_y$  por  $r_{ye}$  dado en la sección 4.9.

Para tubos rectangulares angostos la curvatura sobre el eje fuerte con una relación peralte-ancho mayor que o igual a 6, el término  $\frac{\sqrt{I_y J}}{2}$  puede ser reemplazado por  $I_y$ .

**Compresión uniforme en elementos de viga –Elementos planos soportados en un borde.(3.4.15 ADM)<sup>53</sup>**

a.  $\phi F_L = \phi_y F_{cy}$  (Ecuación 3.4. 15-1)

Para  $b/t \leq S_1$

b.  $\phi F_L = \phi_b \left( B_p - 5.1 D_p \frac{b}{t} \right)$  (Ecuación 3.4.15-2)

Para  $S_1 < \frac{b}{t} < S_2$

c.  $\phi F_L = \frac{\phi_b k_2 \sqrt{B_p E}}{5.1 \frac{b}{t}}$  (Ecuación 3.4.15-3)

Para  $\frac{b}{t} \geq S_2$

Donde

$S_1 = \frac{B_p - \phi_y F_{cy} / \phi_b}{5.1 D_p}$  (Ecuación 3.4.15-4)

$S_2 = \frac{k_1 B_p}{5.1 D_p}$  (Ecuación 3.4.15-5)

<sup>53</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-37



$b$  = Distancia del extremo no arriostrado al pie del filete o flexión, excepto si el radio de la esquina interior excede 4 veces el espesor, entonces el radio interior se debe asumir igual a 4 veces el espesor en el cálculo de  $b$ . Elemento con ancho  $b$  es ilustrado en la figura 3.4.8-1.

$$\phi_y = 0.95$$

$$\phi_b = 0.85$$

**Compresión uniforme en elementos de viga – Elementos planos soportados en ambos bordes. (3.4.16 ADM)<sup>54</sup>**

a.  $\phi F_L = \phi_y F_{cy}$  (Ecuación 3.4. 16-1)

Para  $b/t \leq S_1$

b.  $\phi F_L = \phi_b \left( B_p - 1.6 D_p \frac{b}{t} \right)$  (Ecuación 3.4.16-2)

Para  $S_1 < \frac{b}{t} < S_2$

c.  $\phi F_L = \frac{\phi_b k_2 \sqrt{B_p E}}{1.6 \frac{b}{t}}$  (Ecuación 3.4.16-3)

Para  $\frac{b}{t} \geq S_2$

Donde

$$S_1 = \frac{B_p - \phi_y F_{cy} / \phi_b}{1.6 D_p}$$
 (Ecuación 3.4.16-4)

$$S_2 = \frac{k_1 B_p}{1.6 D_p}$$
 (Ecuación 3.4.16-5)

<sup>54</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-37



$b$  = distancia del extremo no arriostrado al pie del filete o flexion, excepto si el radio de la esquina interior excede 4 veces el espesor, entonces el radio interior se debe asumir igual a 4 veces el espesor en el cálculo de  $b$  . Elemento con ancho  $b$  es ilustrado en la figura 3.4.9-1.

$$\phi_y = 0.95$$

$$\phi_b = 0.85$$

**Compresión uniforme en elementos de viga Elementos curvados soportados en ambos bordes.(3.4.16.1 ADM)<sup>55</sup>**

a.  $\phi F_L = 1.17 \phi_y F_{cy}$  (Ecuación 3.4. 16.1-1)

Para  $\frac{Rb}{t} \leq S_1$

b.  $\phi F_L = \phi_b \left( B_t - D_t \sqrt{\frac{Rb}{t}} \right)$  (Ecuación 3.4.16.1-2)

Para  $S_1 < \frac{Rb}{t} < S_2$

c.  $\phi F_L = \frac{\phi_{cp} \pi^2 E}{16 \left( \frac{Rb}{t} \right) \left( 1 + \frac{\sqrt{Rb/t}}{35} \right)^2}$  (Ecuación 3.4.16.1-3)

Para  $Rb/t \geq S_2$

Donde

$$S_1 = \left( \frac{B_t - 1.17 F_{cy} \phi_y / \phi_b}{D_t} \right)^2$$
 (Ecuación 3.4.16.1-4)

$$S_2 = C_t$$
 (Ecuación 3.4.16.1-5)

$$\phi_y = 0.95$$

<sup>55</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-37



$$\phi_b = 0.85$$

$$\phi_{cp} = 0.80$$

$C_t$  debe ser determinado usando la curva trazada del esfuerzo de diseño para valores de  $R_b/t$  menores que y mayores que  $S_2$  o por solución de prueba y error.

Para tubos con soldaduras circunferenciales, las ecuaciones de esta sección se aplica para  $R_b/t \leq 20$ .

### Compresión uniforme en elementos de vigas – Elementos planos soportados en un borde y con atiesadores en el otro borde. (3.4.16.2 ADM)<sup>56</sup>

La disposición de esta sección se aplica cuando  $D_s/b \leq 0.8$ .

El esfuerzo de diseño es el menor de

$$\phi F_L = \phi_y F_{cy} \quad (\text{Ecuación 3.4. 16.2-1})$$

y

$$\phi F_L = F_{UT} + (F_{ST} - F_{UT}) \rho_{ST} \leq F_{ST} \quad (\text{Ecuación 3.4.16.2-2})$$

Para un atiesador recto de espesor constante,  $\phi F_L$  no debe exceder el esfuerzo de diseño para el atiesador de acuerdo a la sección 3.4.8.

En las ecuaciones arriba mencionadas.

$D_s =$  definido en la figura 3.4.9.1-1 y 2

$F_{UT} =$  esfuerzo de diseño de acuerdo a la sección 3.4.15 sin considerar el atiesador.

$F_{ST} =$  esfuerzo de diseño de acuerdo a la sección 3.4.16

$\rho_{ST} =$  razón a ser determinado como sigue :

$$\rho_{ST} = 1.0 \text{ para } b/t \leq S/3$$

<sup>56</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-38



$$\rho_{ST} = \frac{r_s}{9t \left( \frac{b/t}{S} - \frac{1}{3} \right)} \leq 1.0 \quad \text{para} \quad S/3 < b/t \leq S$$

$$\rho_{ST} = \frac{r_s}{1.5t \left( \frac{b/t}{S} + 3 \right)} \leq 1.0 \quad \text{para} \quad 2S > b/t > S$$

$r_s$  = radio de giro del atiesador determinado como sigue : Para un atiesador de borde simple recto de espesor constante similar al mostrado en la figura 3.4.9.1-1 ,  $r_s$  debe ser calculado como :

$$r_s = \frac{d_s \operatorname{sen} \theta}{\sqrt{3}}$$

Para otros atiesadores,  $r_s$  -debe ser calculado sobre el espesor medio del elemento a ser atiesado.

$d_s$  = ancho plano del borde del atiesador mostrado en la figura 3.4.9.1-1

$$S = 1.28 \sqrt{\frac{E}{F_{cy}}}$$

$b$  = distancia del extremo no arriostrado al pie del filete o flexión , excepto si el radio de la esquina interior excede  $4t$  , entonces el radio interior se debe asumir igual a  $4t$  para calcular  $b$  . Elemento con ancho  $b$  es ilustrado en la figura 3.4.9.1-1.

$$\phi_y = 0.95$$

**Compresión uniforme en elementos de vigas – Elementos planos soportados en ambos bordes y con un atiesador intermedio.**(3.4.16.3 ADM)<sup>57</sup>

a.  $\phi F_L = \phi_y F_{cy}$  (Ecuación 3.4. 16.3-1)

Para  $\lambda_s \leq S_1$

<sup>57</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-38



$$b. \quad \phi F_L = \phi_b (B_c - D_c \lambda_s) \quad (\text{Ecuación 3.4.16.3-2})$$

$$\text{Para } S_1 < \lambda_s < S_2$$

$$c. \quad \phi F_L = \frac{\phi_b \pi^2 E}{\lambda_s^2} \quad (\text{Ecuación 3.4.16.3-3})$$

$$\text{Para } \lambda_s \geq S_2$$

El esfuerzo de diseño  $F_c$  obtenido arriba no debe ser mayor al esfuerzo de diseño de acuerdo a la sección 3.4.16 para los sub-elementos del elemento intermedio del atiesador.

El esfuerzo de diseño  $F_c$  obtenido arriba no debe ser menor que el determinado de acuerdo a la sección 3.4.16 ignorando el atiesador intermedio.

En las ecuaciones arriba mencionadas:

$A_s$  = área del atiesador

$I_o$  = Momento de inercia de una sección del atiesador comprimido y una mitad del ancho de los sub-elementos adyacentes y las esquinas de transición entre ellas tomado sobre el eje centroidal de la sección paralela al elemento que es atiesado (Figura 3.4.9.2-1).

$$S_1 = \frac{B_c - \phi_y F_{cy} / \phi_b}{D_c} \quad (\text{Ecuación 3.4.16.3 -4})$$

$$S_2 = C_c \quad (\text{Ecuación 3.4.16.3 -5})$$

$$\lambda_s = 4.62 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{1 + \frac{A_s/bt}{1 + \sqrt{1 + \frac{10.67 I_o}{b t^3}}}} \quad (\text{Ecuación 3.4.16.3-6})$$

$$\phi_y = 0.95$$

$$\phi_b = 0.85$$



**Elementos de vigas en compresión (Elemento pandeado en su propio plano)**  
**- Elementos planos soportados sobre bordes en tensión, borde en compresión libres. (3.4.17 ADM)<sup>58</sup>**

a.  $\phi F_L = 1.3 \phi_y F_{cy}$  (Ecuación 3.4.17-1)

Para  $b/t \leq S_1$

b.  $\phi F_L = \phi_b \left( B_{br} - 3.5 D_{br} \frac{b}{t} \right)$  (Ecuación 3.4.17-2)

Para  $S_1 < \frac{b}{t} < S_2$

c.  $\phi F_L = \frac{\phi_b \pi^2 E}{(3.5b/t)^2}$  (Ecuación 3.4.17-3)

Para  $b/t \geq S_2$

Donde

$$S_1 = \frac{B_{br} - 1.3 F_{cy} \phi_y / \phi_b}{3.5 D_{br}} \quad \text{(Ecuación 3.4.17-4)}$$

$$S_2 = \frac{C_{br}}{3.5} \quad \text{(Ecuación 3.4.17-5)}$$

$$\phi_y = 0.95$$

$$\phi_b = 0.85$$

<sup>58</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-38



**Elementos de vigas en compresión (Elemento pandeado en su propio plano)**  
**- Elemento plano soportado sobre ambos bordes (3.4.18 ADM)<sup>59</sup>**

a.  $1.3 \phi_y F_{cy}$  (Ecuación 3.4.18-1)

Para  $h/t \leq S_1$

b.  $\phi F_L = \phi_b \left( B_{br} - m D_{br} \frac{h}{t} \right)$  Ecuación 3.4.18-2

Para  $S_1 < \frac{h}{t} < S_2$

c.  $\phi F_L = \frac{\phi_b k_2 \sqrt{B_{br} E}}{\left( m \frac{h}{t} \right)}$  (Ecuación 3.4.18-3)

Para  $h/t \geq S_2$

Donde

$$S_1 = \frac{B_{br} - 1.3 F_{cy} \phi_y / \phi_b}{m D_{br}} \quad \text{(Ecuación 3.4.18-4)}$$

$$S_2 = \frac{k_1 B_{br}}{m D_{br}} \quad \text{(Ecuación 3.4.18-5)}$$

$$m = 1.15 + c_o / 2c_c \quad \text{Para } -1 < c_o / c_c < 1$$

$$m = 1.3 / (1 - c_o / c_c) \quad \text{Para } c_o / c_c \leq -1$$

$c_c$  = distancia del eje neutro a la fibra extrema del elemento con el esfuerzo de compresión mayor.

$c_o$  = distancia del eje neutro a la otra fibra extrema del elemento

Las distancias a las fibras en compresión son negativas y las distancias a las fibras en tensión son positivas.

<sup>59</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-39

$h$  = altura libre del alma ( ilustrada en la figura 3.4.18-1 )

$$\phi_y = 0.95$$

$$\phi_b = 0.85$$

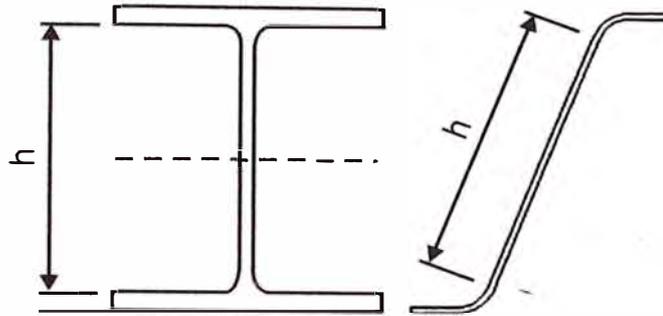


Figura 3.4.18-1; Notación de dimensión

**Elementos de vigas en compresión (Elementos pandeados en su propio plano)- Elementos planos soportados en ambos bordes y con un atiesador longitudinal. (3.4.19 ADM)<sup>60</sup>**

La disposición de esta sección se aplica para atiesadores localizados a  $0.4d_1$  desde el ala como se muestra en la figura 3.4.19-1.

a.  $\phi F_L = 1.3 \phi_y F_{cy}$  (Ecuación 3.4.19-1)

Para  $h/t \leq S_1$

b.  $\phi F_L = \phi_b \left( B_{br} - 0.29 D_{br} \frac{h}{t} \right)$  (Ecuación 3.4.19-2)

Para  $S_1 < \frac{h}{t} < S_2$

c.  $\phi F_L = \frac{\phi_b k_2 \sqrt{B_{br} E}}{(0.29 h / t)}$  (Ecuación 3.4.19-3)

<sup>60</sup> Aluminum Design Manual 2005 ,PART I-B-40

Para  $h / t \geq S_2$

Donde

$$S_1 = \frac{B_{br} - 1.3 F_{cy} \phi_y / \phi_b}{0.29 D_{br}} \quad (\text{Ecuación 3.4.19-4})$$

$$S_2 = \frac{k_1 B_{br}}{0.29 D_{br}} \quad (\text{Ecuación 3.4.19-5})$$

$h$  = altura libre del alma (ver figura 3.4.19 -1 )

$d_1$  = distancia libre desde el eje neutro al ala en compresión (ver Figura 3.4.19-19)

$$\phi_y = 0.95$$

$$\phi_b = 0.85$$

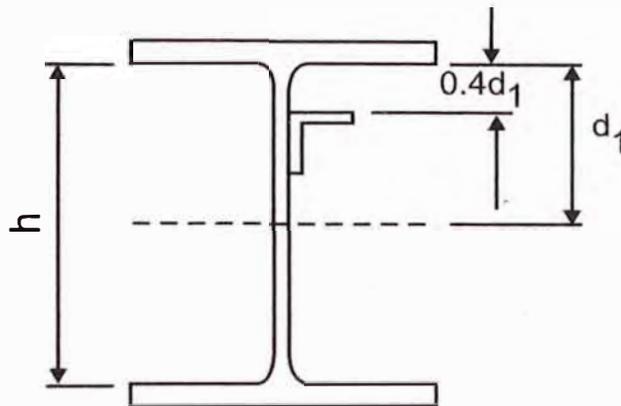


Figura 3.4.19-1 ; Dimensiones  $d$ , y  $h$

**Corte en elementos – Elementos planos no atiesados soportados en ambos bordes (3.4.20 ADM)<sup>61</sup>**

a. 
$$\phi F_L = \frac{\phi_y F_{ty}}{\sqrt{3}} \quad (\text{Ecuación 3.4.20-1})$$

<sup>61</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-40



Para  $h/t \leq S_1$

$$b. \quad \phi F_L = \phi_{vp} \left( B_s - 1.25 D_s \frac{h}{t} \right) \quad (\text{Ecuación 3.4.20-2})$$

Para  $S_1 < \frac{h}{t} < S_2$

$$c. \quad \phi F_L = \frac{\phi_v \pi^2 E}{(1.25 h/t)^2} \quad (\text{Ecuación 3.4.20-3})$$

Para  $h/t \geq S_2$

Donde

$h$  = peralte libre del alma ( ver figura 3.4.18-1 )

$$S_1 = \frac{B_s - F_{ty} \phi_y / (\phi_{vp} \sqrt{3})}{1.25 D_s} \quad (\text{Ecuación 3.4.20-4})$$

$S_2 = h/t$  en la intersección de las ecuaciones 3.4.20-2 y 3.4.20-3

$$\phi_y = 0.95$$

$$\phi_v = 0.80$$

$$\phi_{vp} = 0.90$$

**Corte en elementos – Elementos planos atiesados soportados en ambos bordes (3.4.21 ADM)<sup>62</sup>**

$$a. \quad \phi F_L = \frac{\phi_y F_{ty}}{\sqrt{3}} \quad (\text{Ecuación 3.4.21-1})$$

Para  $a_e/t \leq S_1$

$$b. \quad \phi F_L = 1.375 \phi_{vp} \left( B_s - 1.25 D_s \frac{a_e}{t} \right) \quad (\text{Ecuación 3.4.21-2})$$

<sup>62</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-40



Para  $S_1 < \frac{a_e}{t} < S_2$

c.  $\phi F_L = \frac{1.375\phi_v \pi^2 E}{(1.25 a_e/t)^2}$  (Ecuación 3.4.21-3)

Para  $a_e/t \geq S_2$

Donde

$$a_e = \frac{a_1}{\sqrt{1 + 0.7 \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^2}}$$

$a_1$  = dimensión más corta del panel rectangular

$a_2$  = dimensión más grande del panel rectangular

$$S_1 = \frac{B_s - \frac{\phi_y F_{ty}}{1.375 \phi_{vp} \sqrt{3}}}{1.25 D_s}$$
 (Ecuación 3.4.21-4)

$S_2 = a_e/t$  en la intersección de las ecuaciones 3.4.21-2 y 3.4.21-3

$$\phi_y = 0.95$$

$$\phi_v = 0.80$$

$$\phi_{vp} = 0.90$$

### 3.8 Miembros en Flexión, Flexo -Compresión

**Miembros en Flexión y Carga axial combinados (4.1 ADM)<sup>63</sup>**

**Compresión y Flexión combinados (4.1.1 ADM)**

Un miembro sujeto a cargas de compresión axial y momento flector debe ser calculado de acuerdo con las dos siguientes formulas (ambas ecuaciones deben ser chequeadas).

<sup>63</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-41



$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} f_{bx}}{F_{bx} \left(1 - \frac{f_a}{F_{ex}}\right)} + \frac{C_{my} f_{by}}{F_{by} \left(1 - \frac{f_a}{F_{ey}}\right)} \leq 1.0 \quad (\text{Ecuación 4.1.1-1})$$

$$\frac{f_a}{F_{aw}} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (\text{Ecuación 4.1.1-2})$$

Cuando  $\frac{f_a}{F_a} < 0.15$ , la siguiente ecuación 4.1.1-3 puede ser usada en lugar de la ecuación 4.1.1-1 y 4.1.1-2:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (\text{Ecuación 4.1.1-3})$$

En las ecuaciones 4.1.1-1, 4.1.1-2, y 4.1.1-3, los subíndices x e y, combinados con los subíndices b, m y e indican el eje de flexión sobre el cual un esfuerzo particular o parámetro de diseño es aplicado y

$f_a$  = esfuerzo de compresión promedio sobre la sección transversal producido por el factor de carga a compresión.

$f_b$  = esfuerzo de flexión máximo producido por factor de cargas transversales y/o momento final.

$F_a$  = esfuerzo de compresión de diseño  $\phi F_L$  para miembro considerado como columna axialmente cargada de acuerdo a las secciones 3.4.7 a 3.4.10 o 4.7.2

$F_b$  = esfuerzo de compresión de diseño  $\phi F_L$  para miembro considerado como una viga de acuerdo a las secciones 3.4.11 a 3.4.19 o 4.7.2

$C_m$  =  $0.6 - 0.4(M_1/M_2)$  para miembros cuyos extremos están impedidos de ladearse.

= 0.85 para miembros cuyos extremos no están impedidos de ladearse.

$M_1/M_2$  = relación de Momentos flexionantes en los extremos donde  $M_2$  es el mayor de los dos Momentos y  $M_1/M_2$  es positivo cuando el miembro se curva en una curvatura inversa, negativo cuando se curva en una curva simple.



$F_w$  = esfuerzo de diseño a compresión  $\phi F_L$  de un miembro cargado axialmente considerado como una columna corta de acuerdo a la sección 4.7.2 sin considerar la sección 3.4.7

$F_e$  = esfuerzo crítico de pandeo elástico multiplicado por  $\phi_{cc}$

$$F_e = \frac{\phi_{CC} \pi^2 E}{(kL/r)^2}$$

$r$  = radio de giro sobre el eje flexionado

$L$  = Longitud no soportada en el plano de pandeo

$k$  = factor de longitud efectiva en el plano de pandeo.

### Tracción y Flexión combinados (4.1.2 ADM)<sup>64</sup>

Un miembro sujeto a tracción y flexión axial debe ser calculado de acuerdo a la fórmula:

$$\frac{f_a}{F_t} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad (\text{Ecuación 4.1.2-1})$$

En la ecuación 4.1.2-1, los subíndices  $x$  e  $y$ , combinados con el subíndice  $b$  indican el eje de flexión sobre el cual un esfuerzo particular o un parámetro de diseño es aplicado y donde:

$f_a$  = esfuerzo promedio de tracción sobre la sección transversal producido por el factor de carga en tracción.

$f_b$  = esfuerzo de flexión máxima producida por el factor de cargas transversales y/o momento flector

$F_b$  = esfuerzo de flexión de diseño para miembros como vigas de acuerdo a la sección 3.4.2 a 3.4.4 y 4.7.3

$F_t$  = fuerza de tracción de diseño para el miembro cargado solamente axialmente de acuerdo a la sección 3.4.1.

<sup>64</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-41

**Torsión y Corte en Tubos (4.2 ADM)<sup>65</sup>**

El esfuerzo de diseño de corte en tubos redondos u ovalados sujetos a torsión o cargas de corte puede ser determinado mediante la sección 3.4.20 con la relación  $h/t$  dado por

$$\frac{h}{t} = 2.9 \left( \frac{R_b}{t} \right)^{5/8} \left( \frac{L_s}{R_b} \right)^{(1/4)} \quad (\text{Ecuación 4.2.-1})$$

Donde

$R_b$  = radio de un espesor medio de un tubo redondo o radio máximo de un espesor medio de un tubo ovalado

$t$  = espesor de tubo

$L_s$  = longitud del tubo entre rigidizadores circunferenciales, o longitud total si los rigidizadores circunferenciales no están presentes.

**Torsión y Flexión en Perfiles abiertos (4.3 ADM)<sup>66</sup>**

Los esfuerzos en secciones abiertas causadas por torsión debido a momentos de giro aplicadas directamente o debido a cargas laterales o soportes no en el plano de centro de corte de secciones abiertas pueden incluir esfuerzos de corte, flexión y alabeo.

Los esfuerzos así calculados más aquellos debidos a flexión no pueden exceder el esfuerzo de diseño apropiado para el tipo de esfuerzo en el elemento considerado.

<sup>65</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-41

<sup>66</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-41

**Corte, Compresión y Flexión combinados (4.4 ADM)<sup>67</sup>**

El diseño de corte, compresión y flexión combinados puede ser determinado por cualquiera de estas fórmulas.

- a. Para paredes de superficies curvas o miembros tubulares redondos:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} + \left( \frac{f_s}{F_s} \right)^2 \leq 1.0 \quad (\text{Ecuación 4.4-1})$$

- b. Para almas de perfiles rectangulares, planchas o vigas ensambladas o miembros similares:

$$\frac{f_a}{F_a} + \left( \frac{f_b}{F_b} \right)^2 + \left( \frac{f_s}{F_s} \right)^2 \leq 1.0 \quad (\text{Ecuación 4.4-2})$$

Donde

$f_a$  = esfuerzo de compresión promedio producido por el factor de carga en compresión axial.

$F_a$  = esfuerzo de compresión de diseño para miembros sujetos a compresión solamente.

$f_b$  = esfuerzo de flexión máximo (compresión) producido por la aplicación de factor de momento flector

$F_b$  = esfuerzo de flexión de diseño (compresión) para miembros sujetos o flexión solamente

$f_s$  = esfuerzo de corte causadas por el factor de torsión o por cargas de corte transversal )

$F_s$  = fuerza de diseño de corte para miembros sujetos solamente a torsión o corte)

<sup>67</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-42

**Atiesadores Longitudinales para almas (4.5 ADM)<sup>68</sup>**

Si un atiesador longitudinal es usado sobre el alma de una viga, debe ser localizado tal que la distancia desde el pie del ala en compresión al centro del atiesador sea 0.4 de la distancia desde el pie del ala en compresión al eje neutro de la viga. El rigidizador longitudinal debe tener un momento de inercia, sobre el alma de la viga, no menor que el dado por la expresión:

$$I_h = \frac{0.02 \alpha_s f t h^3}{E} \left[ \left( 1 + \frac{6 A_h}{h t} \right) \left( \frac{s}{h} \right)^2 + 0.4 \right] \quad (\text{Ecuación 4.5-1})$$

Donde:

$A_h$  = área total de la sección transversal del atiesador longitudinal

$f$  = esfuerzo de compresión al pie del ala

$h$  = altura libre del alma entre alas

$I_h$  = Momento de Inercia del atiesador longitudinal. Para un atiesador que consiste de miembros iguales sobre ambos lados del alma, el momento de inercia  $I_h$  debe ser la suma de los momentos de inercia sobre el centro de línea del alma. Para un atiesador que consiste de un miembro sobre un lado únicamente, el momento de inercia debe ser tomado sobre la cara del alma en contacto con el atiesador.

$s$  = distancia entre atiesadores transversales

$t$  = espesor del alma

$\alpha_s = 1$ , para un atiesador que consiste en miembros iguales en ambos lados del alma .

$\alpha_s = 3.5$ , para un atiesador que consiste de un miembro sobre un lado del alma únicamente

<sup>68</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-42

**Atiesadores Transversales para Almas (4.6 ADM)<sup>69</sup>**

Cuando un atiesador esta compuesto de un par de miembros, uno sobre cada lado del alma, el espaciamiento del atiesador  $s$  debe ser la distancia libre entre el par de atiesadores. Cuando un atiesador esta compuesto de un miembro sobre un lado únicamente del alma, el espaciamiento del atiesador  $s$  debe ser la distancia entre las líneas del remache u otras líneas de conexión.

Para un atiesador compuesto de miembros de igual lado sobre cada lado del alma, el momento de inercia del atiesador debe ser calculado sobre el centro de línea del alma. Para un atiesador compuesto de un miembro sobre un lado únicamente del alma, el momento de inercia del atiesador debe ser calculado sobre la cara del alma en contacto con el atiesador.

En la determinación del requerido momento de inercia del atiesador, la distancia  $h$  debe ser tomada como la altura total libre del alma indiferente de si o no el atiesador longitudinal esta presente.

A no ser que el borde exterior del atiesador este rigidizado de manera continua, su espesor no debe ser menor que 1/12 del ancho libre del ala sobresaliente.

**Atiesadores para alma de corte (4.6.1 ADM)<sup>70</sup>**

Los atiesadores aplicados a las almas de las vigas para resistir el pandeo por corte deben tener un momento de inercia no menor que el valor dado por la siguiente expresión:

$$\frac{s}{h} \leq 0.4, \quad I_s = \frac{0.55V h^2}{E} \left( \frac{s}{h} \right) \quad (\text{Ecuación 4.6.1-1})$$

$$\frac{s}{h} > 0.4, \quad I_s = \frac{0.088V h^2}{E} \left( \frac{s}{h} \right) \quad (\text{Ecuación 4.6.1-2})$$

<sup>69</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-42

<sup>70</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-42



Donde

$h$  = altura libre del alma

$I_s$  = Momento de Inercia del atiesador

$s$  = espaciamiento del atiesador

$V$  = fuerza de corte no factorizada sobre el alma en la ubicación del atiesador

Los atiesadores deben extenderse de ala a ala pero no necesitan estar conectados a ambas alas.

### Atiesadores de Apoyo (4.6.2 ADM)<sup>71</sup>

Los atiesadores de Apoyo en los puntos de apoyo de las cargas concentradas deben ser conectados al alma con suficientes remaches, u otros medios para transmitir la carga. Tales atiesadores deben ser fijados para formar un apoyo uniforme y compacto contra las alas cargadas, a menos que la soldadura, diseñada para transmitir la reacción total o carga, estén estipuladas entre el ala y el atiesador.

Solamente esa parte de la sección transversal del atiesador el cual se apoya por fuera del chaflán del ala del ángulo debe ser considerada como apoyo efectivo.

El momento de Inercia del apoyo del atiesador no debe ser menor que el dado por la siguiente expresión:

$$I_b = I_s + \frac{1.95 P_{bs} h^2}{\pi^2 E} \quad (\text{Ecuación 4.6.2-1})$$

Donde

$E$  = módulo de elasticidad en compresión

$h$  = altura libre del alma entre alas

$I_b$  = Momento de Inercia requerido para un atiesador de apoyo

$I_s$  = Momento de Inercia requerida para resistir el corte al pandeo

$P_{bs}$  = carga concentrada sobre el atiesador

<sup>71</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-42



**Efectos de Pandeo Local sobre el desempeño de los Miembros (4.7 ADM)**  
**Esfuerzo de Pandeo Local (4.7.1 ADM)<sup>72</sup>**

Donde los valores del esfuerzo de pandeo local sean requeridos para ser calculados, el esfuerzo crítico,  $F_{cr}$ , dado en la Tabla 4.7.1-1 debe ser usado. Para casos no considerados en la Tabla 4.7.1-1, el valor de  $F_{cr}$  debe ser determinado usando la expresión para  $\phi F_L$  en la subsección apropiada de la sección 3.4 para el caso de  $b/t > S_2$  con el factor de resistencia  $\phi$  tomado como 1.0.

Tabla 4.7.1-1

Sección	Esfuerzo de Pandeo Local, $F_{cr}$
3.4.8 y 3.4.15	$\frac{\pi^2 E}{(5.1 b/t)^2}$
3.4.9 y 3.4.16	$\frac{\pi^2 E}{(1.6 b/t)^2}$
3.4.9.1 y 3.4.16.2	$\frac{(\phi F_L)^2}{\phi_y F_{cy}}$
3.4.18	$\frac{\pi^2 E}{(m h/t)^2}$ $\frac{\pi^2 E}{(0.65 h/t)^2}$ para $y_{NA} = h/2$
3.4.19	$\frac{\pi^2 E}{(0.29 h/t)^2}$

<sup>72</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-43



### Promedio compensado del esfuerzo de compresión axial (4.7.2 ADM)<sup>73</sup>

Como una alternativa para usar el menor de los esfuerzos del esfuerzo en compresión de diseño de una sección de elementos para el diseño del esfuerzo de compresión axial de la sección, el promedio compensado del esfuerzo de compresión axial debe ser determinado de acuerdo con esta sección.

El promedio compensado del esfuerzo de compresión axial de diseño de una sección es el promedio del esfuerzo de diseño de los elementos de la sección, donde el esfuerzo de diseño para cada elemento esta compensado por la relación del área del elemento al área total de la sección.

El esfuerzo de diseño en elementos con atiesadores no debe exceder el esfuerzo de diseño de un atiesador intermedio o un atiesador de extremo.

El esfuerzo de diseño en compresión axial de la sección no debe exceder el dado por la sección 3.4.7.

### Promedio compensado Esfuerzo de Flexión (4.7.3 ADM)<sup>74</sup>

Como una alternativa para usar el menor de los esfuerzos de una sección de elementos para el esfuerzo de flexión de la sección, el esfuerzo debe ser determinado de acuerdo con este párrafo.

El esfuerzo de diseño en elementos con atiesadores no debe exceder el esfuerzo de diseño de un atiesador intermedio o un atiesador de extremo.

Para perfiles no sujetos a pandeo lateral, el momento de flexión de diseño  $M_a$  es el menor del momento de flexión compresión de diseño y el momento de flexión tracción de diseño.

El Momento de flexo compresión de diseño es

$$M_{ac} = F_{cf} I_f / c_{cf} + F_{cw} I_w / c_w \quad (\text{Ecuación 4.7.3-1})$$

<sup>73</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-43

<sup>74</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-43

Donde

$F_{cf}$  = esfuerzo de compresión de diseño para los elementos planos en compresión uniforme.

$F_{c_{fw}}$  = esfuerzo de compresión de diseño para los elementos planos en flexión en su propio plano.

$I_f$  = Momento de inercia del grupo de alas sobre el eje neutro de la sección completa. El grupo de alas consiste de elementos planos en compresión uniforme y de elementos planos en tensión uniforme y sus atiesadores en los extremos o intermedios.

$I_w$  = Momento de inercia del grupo de almas sobre el eje neutro de la sección completa. El grupo de almas consiste de elementos planos en flexión en sus propios planos y atiesadores intermedios.

$c_{cf}$  = la distancia desde el centro de línea del ala en compresión al eje neutro de la sección transversal entera.

$c_{cw}$  = la distancia desde la fibra extrema en compresión del grupo de almas al eje neutro de la sección transversal entera.

(Ver figura 4.7.3-1).

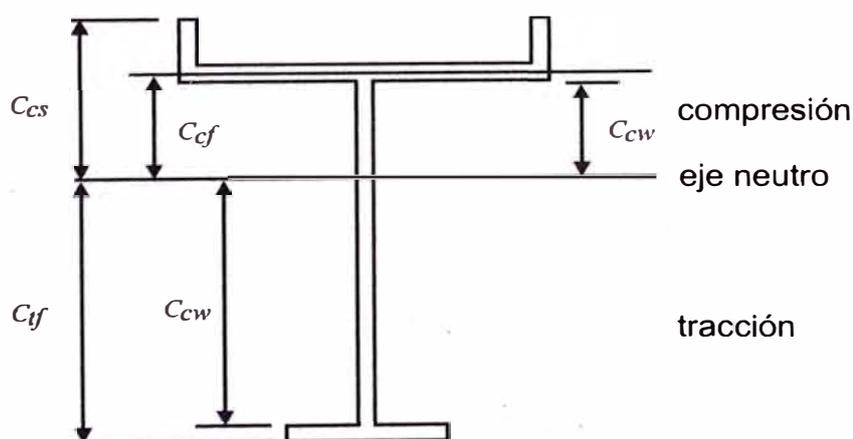


Figura 4.7.3-1



Si hay atiesadores localizados más lejos que el ala en compresión desde el eje neutro de la sección transversal entera, el momento de flexo-compresión de diseño no debe exceder.

$$\varphi F_{cf} I_f / c_{cs} + F_{cw} I_w / c_{cw} \quad \text{(Ecuación 4.7.3-2)}$$

Donde

$c_{cs}$  = la distancia desde el eje neutro de la sección transversal entera a la fibra extrema de las alas en compresión atiesadas.

El momento de flexo tracción de diseño es

$$M_{at} = F_{tf} I_f / c_{tf} + F_{tw} I_w / c_{tw} \quad \text{(Ecuación 4.7.3-3)}$$

Donde

$F_{tf}$  = el esfuerzo de tracción de diseño para los elementos planos en tracción uniforme

$F_{tw}$  = el esfuerzo de tensión de diseño para elementos planos en flexión en sus propios planos.

$I_f, I_w$  = Igual a lo mencionado anteriormente

$c_{tf}$  = la distancia desde la fibra extrema en tensión al eje neutro de la sección transversal entera.

$c_{tw}$  = la distancia desde la fibra extrema del grupo de almas al eje neutro de la sección transversal entera.

Para perfiles sujetos a pandeo lateral, el momento flector de diseño  $M_a$  es el menor del momento de flexo compresión de diseño  $M_{ac}$ , el momento de flexo tracción de diseño  $M_{at}$ , y  $F_b S$  donde

$F_b$  = esfuerzo flexo compresión de diseño dado por la sección 3.4.11 o 3.4.14

$S$  = Módulo de sección de la sección transversal entera

### Efecto del Pandeo Local sobre la resistencia de la columna (4.7.4 ADM)<sup>75</sup>

<sup>75</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-44



Una limitación adicional debe ser considerada en el esfuerzo de diseño para columnas en el cual el pandeo local de la sección transversal ocurre con un esfuerzo que es menor que el calculado esfuerzo de flexión pandeo de la columna, asumiendo que los elementos no están pandeados. El esfuerzo de diseño  $\phi F_L$  no debe exceder al valor dado por

$$\phi F_{rc} = \phi_u (F_{ec})^{1/3} (F_{cr})^{2/3} \quad (\text{Ecuación 4.7.4-1})$$

Para  $\phi_u F_{cr} < \phi F_L$  (Ecuación 4.7.4-2)

Donde

$\phi F_L$  = esfuerzo de diseño para columna dado en la sección 3.4.7

$F_{cr}$  = esfuerzo de pandeo local del elemento dado en la sección 4.7.1

$$F_{ec} = \frac{\pi^2 E}{(kL/r)^2}$$

$\phi F_{rc}$  = esfuerzo de diseño para columnas con elementos pandeados

$$\phi_u = 0.85$$

El esfuerzo de diseño no debe exceder el esfuerzo de diseño dado en la sección 4.7.2

### **Efecto de Pandeo Local sobre la resistencia de la viga (4.7.5 ADM)<sup>76</sup>**

El esfuerzo de flexo compresión de diseño debe ser reducido para una viga de alma simple cuyas alas consisten de placas delgadas, elementos planos soportados sobre un extremo y en el cual el pandeo local de la sección transversal ocurre con un esfuerzo que es menor que el esfuerzo de pandeo lateral de la viga, calculado asumiendo que los elementos no están pandeados.

---

<sup>76</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-45



El esfuerzo de diseño no debe exceder el valor dado por

$$\phi F_{rb} = \phi_y (F_{eb})^{1/3} (F_{cr})^{2/3} \quad (\text{Ecuación 4.7.5-1})$$

$$\text{Para } \phi_y F_{cr} < \phi F_L \quad (\text{Ecuación 4.7.5-2})$$

Donde

$F_{cr}$  = esfuerzo de pandeo local del elemento dado en la sección 4.7.1

$F_{eb}$  = esfuerzo de pandeo lateral elástico de viga calculada usando la ecuación 3.4.11-3 con  $\phi_b = 1.0$  o las ecuaciones de la sección 4.9

$\phi F_{rb}$  = esfuerzo de diseño para vigas con elementos pandeados

$\phi F_L$  = esfuerzo de diseño para viga dado en la sección 3.4.11 o sección 4.9

$$\phi_y = 0.95$$

El esfuerzo de diseño también no debe exceder el esfuerzo de diseño para la sección dado en el párrafo 4.7.2.

### Ancho efectivo para el cálculo de Flexión deflexión (4.7.6 ADM)<sup>77</sup>

El concepto de ancho efectivo debe ser usado para determinar la sección efectiva para el momento de inercia usado para calcular deflexiones.

Para secciones que contienen elementos cubiertos en las secciones 3.4.15, 3.4.16, 3.4.18 o 3.4.19 con  $b/t$  o  $h/t$  valores que exceden 1.65  $S_2$  y elementos cubiertos en la sección 3.4.16.2 o 3.4.16.3 con  $F_{cr} < f_a$ , el ancho efectivo  $b_e$  de un elemento delgado sujeto a esfuerzo de compresión directa es :

$$\text{Si } f_a \leq F_{cr}, b_e = b \quad (\text{Ecuación 4.7.6-1})$$

$$\text{Si } f_a > F_{cr}, b_e = b \sqrt{F_{cr}/f_a} \quad (\text{Ecuación 4.7.6-2})$$

<sup>77</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-45



Donde

$b_e$  = ancho efectivo de un elemento plano a ser usado en el calculo de la deflexión.

$b$  = ancho del elemento definido anteriormente

$F_{cr}$  = esfuerzo de pandeo local del elemento dado en la sección 4.7.1

$f_a$  = esfuerzo de compresión para el elemento debido a cargas no factorizadas aplicadas

La misma expresión es usada para calcular el ancho efectivo del lado a compresión del alma pandeada, con un esfuerzo máximo de flexión compresión debido a cargas aplicadas,  $f_b$ , reemplazando a  $f_a$ . En este caso el área efectiva del alma será colocada despues del ala en compresión.

### Inestabilidad del alma de almas planas (4.7.7 ADM)<sup>78</sup>

Para reacciones interiores y cargas concentradas:

$$\phi P_L = \frac{\phi_w C_{wa} (N + C_{w1})}{C_{wb}} \quad (\text{Ecuación 4.7.7-1})$$

Para reacciones de apoyo y cargas concentradas:

$$\phi P_L = \frac{1.2\phi_w C_{wa} (N + C_{w2})}{C_{wb}} \quad (\text{Ecuación 4.7.7-2})$$

Donde

$$C_{wa} = t^2 \text{sen}\theta (0.46 F_{cy} + 0.02 \sqrt{E F_{cy}}) \quad (\text{Ecuación 4.7.7-3})$$

$$C_{wb} = C_{w3} + R_i (1 - \cos\theta) \quad (\text{Ecuación 4.7.7-4})$$

$$C_{w1} = 5.4 \text{ pulg. (140 mm)}$$

$$C_{w2} = 1.3 \text{ pulg. (33 mm)}$$

$$C_{w3} = 0.4 \text{ pulg. (10mm)}$$

<sup>78</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-45



$E$  = módulo de elasticidad en compresión del alma

$F_{cy}$  = esfuerzo de fluencia en compresión del alma

$\phi P_L$  = fuerza transversal de diseño por alma para almas planas

$N$  = Longitud de apoyo de la reacción o de la carga concentrada

$R_i$  = para perfiles hechos para flexión,  $R_i$  = radio de pandeo en la junta del ala y el alma medido al interior del pandeo; para perfiles extruidos,  
 $R_i = 0$

$t$  = espesor del alma

$\theta$  = ángulo entre el plano del alma y el plano de la superficie de apoyo  
( $\theta \leq 90$  grados)

$\phi_w$  = factor de resistencia = 0.90



### Inestabilidad del alma y Flexión para almas planas combinadas (4.7.8ADM)<sup>79</sup>

La combinación de diseño de reacciones interiores y cargas concentradas y flexionadas debe ser determinada por la siguiente fórmula:

$$\left(\frac{M}{\phi M_a}\right)^{1.5} + \left(\frac{P}{\phi P_L}\right)^{1.5} \leq 1.0 \quad (\text{Ecuación 4.7.8-1})$$

Donde

M= momento flector debido a cargas factorizadas aplicadas al miembro

$\phi M_a$  = momento flector de diseño del miembro si el momento flector solamente es aplicado al miembro

P = reacción interior aplicada o carga concentrada debida a cargas factorizadas por alma para almas planas

$\phi P_L$  = reacción interior de diseño o carga concentrada por alma para almas planas calculadas de acuerdo a la sección 4.7.7

<sup>79</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-46





### Fatiga (4.8 ADM)<sup>80</sup>

Los detalles de soldadura, juntas mecánicamente sujetadas y materiales base de aleaciones de aluminio sujetos a fluctuaciones repetitivas de esfuerzos deben de cumplir todos los requerimientos estáticos de esta especificación tan bien como los requerimiento por fatiga de esta sección. El diseño por fatiga de las coladas y detalles asociados debe ser hecho por pruebas de acuerdo con la sección 9. del manual .

Las categorías de detalles por parámetros de diseño por fatiga deben ser escogidas de la figura 4.8-1 y la Tabla 4.8-1

El esfuerzo máximo y mínimo usado para calcular el rango de esfuerzos son esfuerzos nominales causados por cargas no factorizadas y determinada por métodos estándar elásticos.

Esfuerzos perpendiculares al plano esperado de agrietamiento debe ser usado.

### Constante de amplitud de carga (4.8.1 ADM)

Para la constante de amplitud de carga

$$S_{ra} \leq S_{rd} \quad \text{(Ecuación 4.8.1-1)}$$

Donde

$S_{ra}$  = rango de esfuerzo aplicado de cargas de servicio , la diferencia algebraica entre el esfuerzo calculado mínimo y máximo en el miembro o detalle .

$S_{rd}$  = rango de esfuerzos permisibles

$$S_{rd} = C_f N^{-1/m} \quad \text{(Ecuación 4.8.1-2)}$$

$C_f, m$  = constantes de la Tabla 4.8.1-1 y se muestra en la figura 4.8.1-1

$N$  = número de ciclos de falla

<sup>80</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-46



Si el rango de esfuerzos aplicados,  $S_{ra}$ , es menor que el límite de la constante de amplitud de fatiga dado en la tabla 4.8.1-1, entonces ninguna consideración de fatiga debe ser necesaria. El rango de esfuerzo permisible  $S_{rd}$  no debe ser menor que el valor de la ecuación 4.8.1-2 cuando  $N= 5 \times 10^6$  ciclos y no debe ser mayor que el valor de la ecuación 4.8.1-2 cuando  $N= 10^5$  ciclos.

**Variable de amplitud de carga (4.8.2 ADM)<sup>81</sup>**

Si el rango máximo de esfuerzo en el espectro de una carga factorizada es menor que el límite de fatiga, entonces ninguna consideración de fatiga debe ser necesaria.

Para variables de amplitud de carga:

$$S_{re} \leq S_{rd} \quad \text{(Ecuación 4.8.2-1)}$$

Donde

$S_{re}$  = rango de esfuerzo equivalente

$$S_{re} = \left( \sum_{i=1}^{N_s} \alpha_i S_{ri}^m \right)^{1/m} \quad \text{(Ecuación 4.8.2-2)}$$

$S_{rd}$  = rango de esfuerzo permisible de cargas no factorizadas

$$S_{rd} = C_f N^{-1/m} \quad \text{(Ecuación 4.8.2-3)}$$

$\alpha_i$  = Número de ciclos en el espectro de rango de esfuerzo  $i$  dividido por el número total de ciclos

$S_{ri}$  =  $i$ -ésimo rango de esfuerzo en el espectro

$C_f, m$  = Constantes de la Tabla 4.8.1-1 y se muestra en la figura 4.8.1-1

$N_s$  = Número de rango de esfuerzo en el espectro

$N$  = Número de ciclos de falla

<sup>81</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-46



El rango de esfuerzo permisible  $S_{rd}$  no debe ser mayor que el valor de la ecuación 4.8.2-3 cuando  $N=10^5$  ciclos.

### **Compresión en vigas con almas individuales incluye vigas con almas únicas con porciones tubulares (4.9 ADM)<sup>82</sup>**

Para compresión en vigas con almas individuales incluyendo vigas con almas únicas con porciones tubulares, el análisis debe ser hecho usando la sección 3.4.11 o reemplazando  $r_y$  de la sección 3.4.11 con  $r_{ye}$  determinado de acuerdo con la sección 4.9.1 a 4.9.3. Secciones con el ala en tracción parcialmente o completamente arriostrada y con el ala arriostrada lateralmente deben ser diseñados usando la sección 4.9 sin considerar la restricción del ala en tracción u otro método de análisis racional.

### **Secciones de doble simetría y secciones simétricas sobre el eje flexionado (4.9.1 ADM)**

Para chequear las secciones de la viga arriostrada o puntos soportados o entre puntos arriostrados o soportados de tramos de viga sujetos a momento flector solamente o con cargas aplicadas transversalmente en el eje neutro de la viga:

$$r_{ye} = \frac{1}{1.7} \sqrt{\frac{I_y d}{S_c} \left[ 1 + 0.152 \frac{J}{I_y} \left( \frac{k_y L_b}{d} \right)^2 \right]} \quad (\text{Ecuación 4.9.1-1})$$

Para chequear los tramos de viga entre el arriostre o puntos soportados de vigas sujetos a carga transversal aplicada sobre el ala superior o el ala inferior (donde la carga es libre de moverse lateralmente con la viga si la viga se pandea):

<sup>82</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-52



$$r_{ye} = \frac{1}{1.7} \sqrt{\frac{I_y d}{S_c} \left[ \pm 0.5 + \sqrt{1.25 + 0.152 \frac{J}{I_y} \left( \frac{k_y L_b}{d} \right)^2} \right]} \quad (\text{Ecuación 4.9.1-2})$$

El signo negativo delante del término 0.5 debe ser usado cuando la carga este sobre un ala actuando hacia el centro de corte, el signo positivo debe ser usado cuando la carga este sobre un ala actuando fuera del centro de corte:

En las ecuaciones anteriores

$e_{je-y}$  = el eje simétrico centroidal o eje principal tal que el ala en tracción tiene un valor en la coordenada “y” positivo y se pandea sobre el eje -x.

$r_{ye}$  = Radio efectivo de giro

$I_y$  = Momento de inercia de la viga sobre el eje paralelo al alma

$S_c$  = Módulo de sección de la viga, del lado en compresión

$J$  = Constante de torsión de la viga. Para una sección no tubular abierta un valor aproximado de  $J$  debe ser calculado asumiendo que la sección esta compuesta de rectángulos y dejando  $J$  igual a la suma de los términos  $b_t^3/3$  para cada rectángulo donde  $b$  es la dimensión mas grande. El término para cada rectángulo cuya relación  $b/t$  es menor que 10 debe ser calculado por la expresión

$$\left( \frac{1}{3} - 0.2 \frac{t}{b} \right) b_t^3$$

Para secciones que contienen partes abiertas y porciones tubulares ,  $J$  debe ser considerado como la suma de  $J$  para las partes abiertas y partes tubulares.

$k_y$  = Coeficiente de longitud efectiva para alas en compresión sobre el eje-y .

$k_y$  no debe ser menor que 1.

$L_b$  = Longitud de la viga entre los puntos arriostrados o entre un punto arriostrado y el extremo libre de una viga cantilever .Los puntos de arriostramiento son los puntos en los cuales el ala en compresión esta



restringida contra movimientos laterales o la sección transversal esta restringida contra torsión.

$d =$  Peralte de la viga

### Secciones simples simétricas pero asimétricas respecto al eje en flexión (4.9.2 ADM)<sup>83</sup>

Para una viga que es asimétrica respecto al eje en flexión, el valor de  $r_{ye}$  en la sección 4.9.1 es calculado asumiendo  $I_y, S_c$ , y  $J$  como si ambas alas fueran las mismas que el ala en compresión con el peralte total permaneciendo igual.

### Secciones simétricamente simples, simétricas o asimétricas respecto al eje en flexión, Secciones doblemente simétricas y secciones sin un eje de simetría (4.9.3 ADM)

Para una carga que no causa torsión o pandeo lateral un valor más preciso de  $r_{ye}$  es determinado de acuerdo a esta sección. Si la carga causa torsión y/o pandeo lateral, esfuerzo de alabeo y/o esfuerzo de flexión lateral, la disposición de la sección 4.3 se debe aplicar.

$$r_{ye} = \frac{Lb}{1.2\pi} \sqrt{\frac{M_e}{ES_c}} \quad (\text{Ecuación 4.9.3-1})$$

Donde

$M_e =$  Momento elástico crítico determinado como sigue:

$$M_e = A F_{ey} \left[ U + \sqrt{U^2 + r_o^2 \left( \frac{F_{et}}{F_{ey}} \right)} \right] \quad (\text{Ecuación 4.9.3-2})$$

<sup>83</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-52



$M_e$  Para vigas cantilever debe ser determinado por un análisis racional a no ser que el extremo libre este arriostrado o si la carga de la viga este cubierta en la sección 4.9.4.

En las ecuaciones dadas

$e_y$  Es el eje simétrico centroidal o eje principal tal que el ala en tensión tiene un valor en la coordenada "y" positivo y se pandea sobre el eje -x.

$A$  = área de la sección transversal

$C_1$  y  $C_2$  = coeficientes a ser tomados desde la sección 4.9.4, o para casos no cubiertos en la sección 4.9.4, determinarlos por análisis racional

$C_w$  = constante torsional de alabeo para una sección transversal

$E$  = Módulo de elasticidad en compresión (ver la Tabla 3.3.1)

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{k_y L_b}{r_y}\right)^2} \quad (\text{Ecuación 4.9.3-3})$$

$$F_{et} = \frac{1}{A r_o^2} \left( GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right) \quad (\text{Ecuación 4.9.3-4})$$

$G$  = Módulo de corte =  $3E/8$

$g_o$  = Distancia del centro de corte al punto de aplicación de la carga; es positivo cuando la carga esta aplicada directamente fuera del centro de corte y negativo cuando la carga esta directa hacia el centro de corte. Cuando no hay una carga transversal (caso de momento únicamente  $g_o=0$ )

$I_y$  = Momento de inercia de la sección sobre el eje y

$J$  = Constante de torsión (definido en 4.9.1)

$$J = \frac{1}{2 I_x} \left( \int_A y^3 dA + \int_A y x^2 dA \right) - y_o \quad (\text{Ecuación 4.9.3-5})$$



Para secciones I doblemente simétricos,  $j=0$

Para secciones I simplemente simétricas, como una alternativa para las ecuaciones 4.9.3-5,

$$j = 0.45 d_f \left( \frac{2I_{cy}}{I_y} - 1 \right) \left[ 1 - \left( \frac{I_y}{I_x} \right)^2 \right] \quad (\text{Ecuación 4.9.3-6})$$

Donde  $I_{cy}$  es el momento de inercia del ala en compresión tomado sobre el alma,  $I_x$  e  $I_y$  son los momentos de inercia de la sección completa sobre los ejes  $x$  e  $y$ , y  $d_f$  es la distancia entre el centro del ala o para las secciones T  $d_f$  es la distancia entre el centroide del ala y el centro del alma.

Para secciones I simétricas simples donde el ala menor no es menor que 80 por ciento del área del ala más grande  $j$  debe ser tomado como  $-y_o$ .

$k_y$  = Coeficiente de longitud efectiva para alas en compresión sobre el eje- $y$ .

$k_y$  no debe ser menor que 1.

$L_t$  = longitud no arriostrada por torsión

$$r_o = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_o^2 + y_o^2} \quad (\text{Ecuación 4.9.3-7})$$

= radio polar de giro para secciones transversales sobre el centro de corte

$r_x, r_y$  = radio de giro de la sección transversal sobre el centroide de los ejes principales.

$S_c$  = Módulo de sección para la fibra extrema en flexo compresión sobre el eje  $x$ .

$$U = C_1 g_o - C_2 j \quad (\text{Ecuación 4.9.3-8})$$

$x_o$  = coordenada  $x$  del centro de corte

$y_o$  = coordenada  $y$  del centro de corte

El origen del sistema de coordenadas es la intersección de los ejes principales

**Coefficientes de pandeo Lateral (4.9.4 ADM)<sup>84</sup>**

Para casos no cubiertos en las secciones 4.9.4.3 y 4.9.4.4, los coeficientes  $C_b$ ,  $C_1$ , y  $C_2$  deben ser determinados como se especifica en las secciones 4.9.4.1 o 4.9.4.2.

**Secciones doblemente simétricas (4.9.4.1 ADM)**

$$C_b: \quad C_b = \frac{12.5 M_{MAX}}{2.5 M_{MAX} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \quad (\text{Ecuación 4.9.4.1-1})$$

Donde

$M_{MAX}$  = valor absoluto de momento máximo en el segmento de viga no arriostrado

$M_A$  = valor absoluto de momento en la cuarta parte del segmento de viga no arriostrado

$M_B$  = valor absoluto de momento en el punto medio del segmento de viga no arriostrado

$M_C$  = valor absoluto de momento a los tres cuartos del segmento de viga no arriostrado

Los valores de  $C_b$  para secciones de vigas cantilever doblemente simétricas no arriostradas en el extremo libre están dados en la sección 4.9.4.4. Los valores de  $C_b$  para vigas cantilever arriostradas en el extremo libre pueden ser evaluados usando la ecuación 4.9.4.1-1.

$C_1$ : cuando los momentos varían linealmente entre los extremos del segmento no arriostrado  $C_1 = 0$ . Para algunos casos especiales los valores de  $C_1$  están dados en la sección 4.9.4.3

Para otras variaciones, a no ser que estén disponibles valores más precisos,  $C_1$  puede ser tomado como 0.5.

<sup>84</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-53



$C_2$ : si  $j = 0$ , el valor de  $C_2$  no es necesario.

### Secciones simples simétricas (4.9.4.2)<sup>85</sup>

$C_b$ : Para secciones con  $I_{cy}/I_y$  menores que o iguales a 0.1 o mayores que o igual a 0.9,  $C_b = 1.0$

Para secciones con  $I_{cy}/I_y$  mayores que 0.1 y menores que 0.9, el valor de  $C_b$  debe ser determinado de acuerdo a la ecuación 4.9.4.1-1.

Cuando  $M_{MAX}$  produce compresión sobre el ala más grande y el ala más pequeña esta también sujeta a compresión en la longitud no arriostrada, luego el miembro debe ser chequeado en la ubicación de  $M_{MAX}$  tan bien como en la ubicación donde el ala menor esta sujeta a su máxima compresión.  $C_b$  en la ubicación de  $M_{MAX}$  debe ser calculada usando la ecuación 4.9.4.1-1.  $C_b$  para la ubicación donde el ala mas pequeña esta sujeto a su máxima compresión debe ser tomado como 1.67.

$C_1$ : cuando los momentos varían linealmente entre los extremos del segmento no arriostrado  $C_1 = 0$ . Para algunos casos especiales los valores de  $C_1$  están dados en la sección 4.9.4.3. Para otros casos  $C_1$  debe ser determinado por análisis racional.

$C_2$ : cuando los momentos varían linealmente entre los extremos del segmento no arriostrado  $C_2 = 1$ . Para algunos casos especiales los valores de  $C_2$  están dados en la sección 4.9.4.3. Para otros casos  $C_2$  debe ser determinado por análisis racional.

<sup>85</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-53

**Casos especiales – Secciones simétricas dobles o simples (4.9.4.3 ADM)<sup>86</sup>**

Para vigas simplemente apoyadas con cargas listadas abajo, los valores siguientes de  $C_b$ ,  $C_1$  y  $C_2$  deben ser usados, excepto para secciones con

$I_{cy}/I_y$  menores que o iguales a 0.1 o mayores que o iguales a 0.9 donde  $C_b$  debe ser tomado como 1.0:

- a) Carga uniformemente distribuida sobre el tramo total

$$C_b = 1.13, C_1 = 0.41 C_b, C_2 = 0.47 C_b$$

- b) Una carga concentrada ubicada a una distancia  $L$  del extremo del tramo

$$C_b = 1.75 - 1.6a(1 - a) \quad \text{(Ecuación 4.9.4.3-1)}$$

$$C_1 = \frac{C_b}{a(1-a)\pi^2} \text{sen}^2 \pi a \quad \text{(Ecuación 4.9.4.3-2)}$$

$$C_2 = \frac{C_b - C_1}{2} \quad \text{(Ecuación 4.9.4.3-3)}$$

- c) Dos cargas concentradas ubicadas simétricamente a una distancia  $L$  de cada extremo del tramo

$$C_b = 1 + 2.8a^3 \quad \text{(Ecuación 4.9.4.3-4)}$$

$$C_1 = \frac{2C_b}{a\pi^2} \text{sen}^2 \pi a \quad \text{(Ecuación 4.9.4.3-5)}$$

$$C_2 = (1 - a)C_b - \frac{C_1}{2} \quad \text{(Ecuación 4.9.4.3-6)}$$

**Vigas Cantilever (4.9.4.4 ADM)<sup>87</sup>**

Para las vigas cantilever arriostrada en un apoyo y no arriostrada en el extremo libre  $C_b$  debe ser tomado como sigue:

Carga concentrada en el extremo libre y aplicada en el centroide

<sup>86</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-54

<sup>87</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-54

$$C_b = 1.28, k_y = 1.0$$

Carga uniformemente transversales aplicada en el centroide

$$C_b = 2.08, k_y = 1.0$$

Momento flector uniforme

$$C_b = 0.5, k_y = 2.1$$

### Alas apoyadas elásticamente en compresión (4.10 ADM)<sup>88</sup>

Esfuerzos de diseño en alas apoyadas elásticamente en compresión, tales como el ala en compresión de una junta de plegado saliente de techo o de una viga en T cargado con las dos alas en compresión, debe ser determinado con la sección 3.4.11 con el siguiente valor efectivo de  $L_b/r_y$ , sustituido en las fórmulas para esfuerzos de diseño.

$$\text{Efectivo } \frac{L_b}{r_y} = 2.7 \left( \frac{E A_c^2}{\beta_s I_{yc}} \right)^{1/4} \quad (\text{Ecuación 4.10-1})$$

Donde

$A_c$  = Área del elemento en compresión (ala en compresión más 1/3 del área del alma entre el ala en compresión y el eje neutro)

$E$  = módulo de elasticidad en compresión

$I_{yc}$  = Momento de inercia del elemento en compresión sobre un eje paralelo al alma vertical.

$\beta_s$  = constante de elasticidad ( fuerza transversal aplicada al ala en compresión del miembro por unidad de longitud dividido por la deflexión debido a la fuerza )

<sup>88</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-54

### Ángulos simples en flexión (4.11 ADM)<sup>89</sup>

La resistencia de un ángulo simple en flexión ( $M_n$ ) se da en esta sección. La resistencia de diseño es  $\phi M_n$  donde  $\phi = 0.95$  para el estado de límite de fluencia y  $\phi = 0.85$  para todos los otros estados límites.

a) Para el Pandeo Local:

1. Si el lado volteado es un punto de compresión máximo (Figura 4.11-1)



Figura 4.11-1

$$M_n = 1.3 F_{cy} S \quad \text{(Ecuación 4.11-1)}$$

Para  $b/t \leq S_1$

$$M_n = [B_{br} - 4 D_{br} (b/t)] S_c \quad \text{(Ecuación 4.11-2)}$$

Para  $S_1 < b/t < S_2$

$$M_n = \pi^2 E S_c / (4(b/t))^2 \quad \text{(Ecuación 4.11-3)}$$

Para  $b/t \geq S_2$

Donde

$$S_1 = (B_{br} - 1.3 F_{cy}) / (4 D_{br}) \quad \text{(Ecuación 4.11-4)}$$

$$S_2 = C_{br} / 4 \quad \text{(Ecuación 4.11-5)}$$

<sup>89</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-54

2. Si un lado esta en compresión uniforme (Figura 4.11-2) :

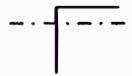


Figura 4.11-2

$$M_n = F_{cy} S_c \quad \text{(Ecuación 4.11-6)}$$

Para  $b/t \leq S_1$

$$M_n = [B_p - 5.1 D_p (b/t)] \bar{S}_c \quad \text{(Ecuación 4.11-7)}$$

Para  $S_1 < b/t < S_2$

$$M_n = \pi^2 E S_c / (5.1(b/t))^2 \quad \text{(Ecuación 4.11-8)}$$

Para  $b/t \geq S_2$

Donde

$$S_1 = (B_p - F_{cy}) / (5.1 D_p) \quad \text{(Ecuación 4.11-9)}$$

$$S_2 = C_p / 5.1 \quad \text{(Ecuación 4.11-10)}$$

b. Por Fluencia (Figura 4.11-3)

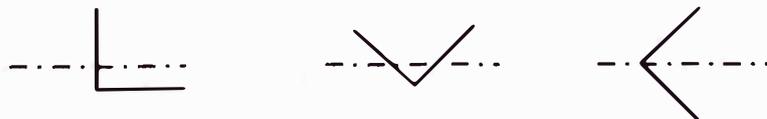


Figura 4.11-3

$$M_n = 1.3 M_y \quad \text{(Ecuación 4.11-11)}$$

Donde  $M_y$  = momento de fluencia sobre el eje de pandeo

c. Por Pandeo lateral –Torsional

$$\text{Para } M_e \leq M_y, M_n = (0.92 - 0.17 M_e / M_y) M_e \quad \text{(Ecuación 4.11-12)}$$

Para  $M_e > M_y$ ,  $M_n = (1.92 - 1.17 \sqrt{M_y/M_e}) M_y \leq 1.3 M_y$  (Ecuación 4.11-13)

Donde  $M_e$  = Momento de pandeo lateral torsional elástico desde la sección 4.11.1 o 4.11.2 como sea aplicable.

$C_b$  debe ser determinado de acuerdo con la sección 4.9.4.1 pero no debe exceder 1.5.

### Flexión sobre ejes geométricos (4.11.1 ADM)<sup>90</sup>

Flexión sobre ejes geométricos como se muestra en la figura 4.11.1-1

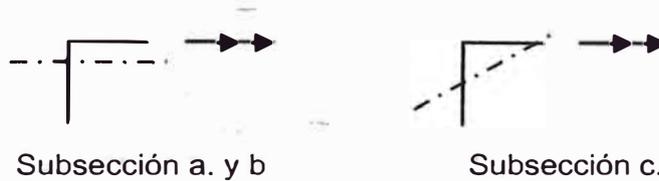


Figura 4.11.1-1

- a) Ángulos con restricción lateral-torsional continua:  
 $M_n$  es el menor de :
1. Resistencia de pandeo local determinado por la sección 4.11.a.
  2. Esfuerzo de fluencia determinado por la sección 4.11.b
- b) Ángulos de lados iguales con restricción lateral-torsional solamente en el punto de máximo momento: Los esfuerzos deben ser calculados con  $S_c$  siendo el módulo de sección geométrica,  $M_n$  es el menor de:
- 1) Resistencia de pandeo local determinado por la sección 4.11.a.
  - 2) Esfuerzo de fluencia determinado por la sección 4.11.b
  - 3) Si el lado volteado está en compresión, la resistencia por pandeo lateral-torsional está determinado por la sección 4.11.c con

<sup>90</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-55



$$M_e = \frac{0.82 E b^4 t C_b}{L_b^2} \left[ \sqrt{1 + 0.78 \left( L_b t / b^2 \right)^2} - 1 \right] \quad (\text{Ecuación 4.11.1-1})$$

Si el lado volteado esta en tracción, la resistencia por pandeo lateral torsional esta determinado por la sección 4.11 c con

$$M_e = \frac{0.82 E b^4 t C_b}{L_b^2} \left[ \sqrt{1 + 0.78 \left( L_b t / b^2 \right)^2} + 1 \right] \quad (\text{Ecuación 4.11.1-2})$$

c) Ángulos con lados iguales sin restricción lateral –torsional:

Las resistencias deben ser calculadas con  $S_c$  siendo 0.8 del módulo de sección geométrica.

Si el lado volteado esta en compresión,  $M_n$  es el menor de:

- 1) Resistencia de pandeo local determinado por la sección 4.11 a (1)
- 2) Pandeo Lateral torsional determinado por la sección 4.11 c con

$$M_e = \frac{0.66 E b^4 t C_b}{L_b^2} \left[ \sqrt{1 + 0.78 \left( L_b t / b^2 \right)^2} - 1 \right] \quad (\text{Ecuación 4.11.1-3})$$

Si el lado volteado esta en tracción,  $M_n$  es el menor de:

- 1) Esfuerzo de fluencia determinado por la sección 4.11 b
- 2) Pandeo lateral torsional determinado por la sección 4.11 c con

$$M_e = \frac{0.66 E b^4 t C_b}{L_b^2} \left[ \sqrt{1 + 0.78 \left( L_b t / b^2 \right)^2} + 1 \right] \quad (\text{Ecuación 4.11.1-4})$$

d) Ángulos de lados desiguales sin restricción lateral torsional :

Los momentos sobre los ejes geométricos deben ser recalculados en momentos sobre los ejes principales y el ángulo debe ser diseñado como un ángulo flexionado sobre un eje principal (sección 4.11.2).

**Pandeo sobre ejes principales (4.11.2 ADM)<sup>91</sup>**

El pandeo sobre ejes principales es mostrado en la figura 4.11.2-1

a. Ángulos de lados iguales , pandeado en el eje mayor:  $M_n$  es el menor de:

1) Resistencia de pandeo local determinado por la sección 4.11 a

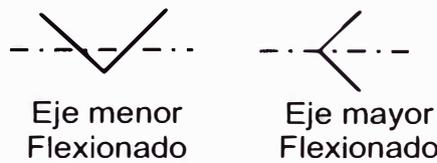


Figura 4.11.2-1

1) Resistencia de pandeo lateral-torsional determinado por la sección 4.11 c con

$$M_e = \frac{0.46 C_b E b^2 t^2}{L_b} \quad \text{(Ecuación 4.11.2-1)}$$

b. Ángulos de lados desiguales , pandeado en el eje mayor :  $M_n$  es el menor de:

1) Resistencia al pandeo local determinado por la sección 4.11 a para el lado volteado en compresión

2) Resistencia lateral torsional determinado por la sección 4.11 c, con

$$M_e = 4.9E \frac{I_z}{L_b^2} C_b \left[ \sqrt{\beta_w^2 + 0.052 (L_b t / r_z)^2} + \beta_w \right] \quad \text{(Ecuación 4.11.2-2)}$$

$I_z$  = momento de inercia con respecto al eje principal menor

$r_z$  = radio de giro con respecto al eje principal menor

$$\beta_w = \left[ \frac{1}{I_w} \int z (w^2 + z^2) dA \right] - 2 z_o \quad \text{(Ecuación 4.11.2-3)}$$

$\beta_w$  es una propiedad de la sección para ángulos de lados desiguales y es positivo cuando el lado más corto esta en compresión y negativo cuando el lado más grande esta en compresión. Si el

<sup>91</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-55



lado más grande esta en compresión en cualquier lado a lo largo de la longitud no arriostrada del ángulo  $\beta_w$  es negativo.

$z_o =$  coordenada a lo largo del eje z del centro de corte con respecto al centroide.

$I_w =$  momento de inercia del eje principal mayor

c. Ángulos de lados iguales y desiguales , pandeado en el eje menor :

- 1) Si los lados volteados están en compresión,  $M_n$  es el menor del esfuerzo de pandeo local determinado por la sección 4.11 a (1) y el esfuerzo de fluencia es determinado por la sección 4.11 b
- 2) Si los lados volteados están en tensión,  $M_n$  es el esfuerzo de fluencia
- 3) determinado por la sección 4.11 b.

### Elementos de espesores (variables) (4.12 ADM)<sup>92</sup>

Para la compresión uniforme sobre elementos con variación lineal de espesor donde  $\delta \leq 2.0$  :

a. Para elementos de espesores variables con el extremo más grueso apoyado y el extremo más delgado libre, la relación de esbeltez es

$$(1 - 0.12\delta) \left( \frac{b}{t_{avg}} \right)$$

b. Para elementos de espesores variables con el extremo más delgado apoyado y el extremo más grueso libre, la relación de esbeltez es

$$\left( \frac{b}{t_{avg}} \right)$$

c. Para elementos de espesores variables con ambos extremos apoyados ,la relación de esbeltez es

$$\left( \frac{b}{t_{avg}} \right)$$

<sup>92</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-56

Donde

$b$  = ancho del elemento

$$t_{avg} = (t_{max} + t_{min}) / 2$$

= espesor promedio de un elemento

$t_{min}$  = espesor mínimo

$t_{max}$  = espesor máximo

$$\delta = \frac{t_{max} - t_{min}}{t_{min}}$$

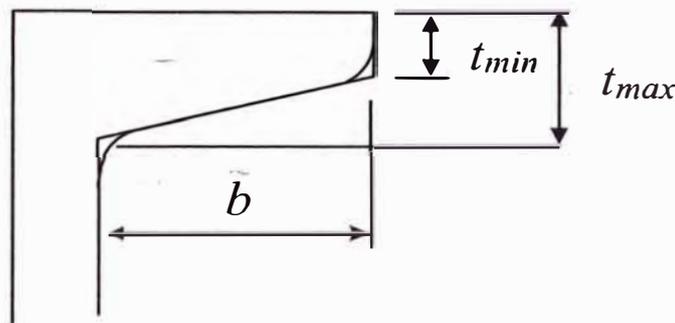


Figura 4.12-1

### Esfuerzo de compresión de elementos viga (4.13 ADM)<sup>93</sup>

Como una alternativa a la sección 3, el esfuerzo de compresión de elementos de vigas compuestas enteramente de elementos planos señaladas en las secciones 3.4.15, 3.4.16, 3.4.16.2, 3.4.16.3 o 3.4.18, deben ser determinadas como sigue en las secciones 4.13.1 y 4.13.2. El esfuerzo de diseño para el perfil debe luego ser determinado usando la sección 4.7.3, excepto que la resistencia de cualquier elemento atiesado no necesita ser limitado al esfuerzo del atiesador.

<sup>93</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-56



**Esfuerzo de compresión de elementos viga – elementos planos en compresión uniforme (4.13.1 ADM)<sup>94</sup>**

a.  $\phi F_L = \phi_y F_{cy}$  (ecuación 4.13.1-1)

Para  $\lambda_{eq} \leq S_1$

b.  $\phi F_L = \phi_b (B_p - D_p \lambda_{eq})$  (ecuación 4.13.1-2)

Para  $S_1 < \lambda_{eq} < S_2$

c.  $\phi F_L = \frac{\phi_b k_2 \sqrt{B_p E}}{\lambda_{eq}}$  (Ecuación 4.13.1-3)

Para  $\lambda_{eq} \geq S_2$

Donde

$$S_1 = \frac{B_p - \phi_y F_{cy} / \phi_b}{D_p} \quad \text{(Ecuación 4.13.1-4)}$$

$$S_2 = \frac{k_1 B_p}{D_p} \quad \text{(Ecuación 4.13.1-5)}$$

$$\lambda_{eq} = \pi \sqrt{\frac{E}{F_{cr}}} \quad \text{(Ecuación 4.13.1-6)}$$

$$F_{cr} = M_{cr} / S_c$$

Donde  $M_{cr}$  es el momento de pandeo elástico de la viga bajo flexión pura con apoyo lateral continuo determinado por análisis elástico lineal y  $S_c$  es el modulo de sección en compresión de la sección transversal completa.

<sup>94</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-56

**Esfuerzo de compresión de elementos viga –elementos planos en flexión en su propio plano (4.13.2 ADM)<sup>95</sup>**

$$a) \phi F_L = 1.3 \phi_y F_{cy} \quad (\text{Ecuación 4.13.2-1})$$

Para  $\lambda_{eq} \leq S_1$

$$b) \phi F_L = \phi_b (B_{br} - D_{br} \lambda_{eq}) \quad (\text{Ecuación 4.13.1-2})$$

Para  $S_1 < \lambda_{eq} < S_2$

$$c) \phi F_L = \frac{\phi_b k_2 \sqrt{B_{br} E}}{\lambda_{eq}} \quad (\text{Ecuación 4.13.2-3})$$

Para  $\lambda_{eq} \geq S_2$

Donde

$$S_1 = \frac{B_{br} - 1.3 \phi_y F_{cy} / \phi_b}{D_{br}} \quad (\text{Ecuación 4.13.1-4})$$

$$S_2 = \frac{k_1 B_{br}}{D_{br}} \quad (\text{Ecuación 4.13.2-5})$$

$$\lambda_{eq} = \pi \sqrt{\frac{E}{F_{cr}}} \quad (\text{Ecuación 4.13.2-6})$$

$$F_{cr} = M_{cr} / S_c$$

Donde  $M_{cr}$  es el momento de pandeo elástico de la viga bajo flexión pura con apoyo lateral continuo determinado por análisis elástico lineal y  $S_c$  es el módulo de sección en compresión de la sección transversal completa.

<sup>95</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-57



## CAPITULO 4.0. CONEXIONES

Las conexiones son importantes para conservar la integridad de las estructuras, pero ellas tienden a ser los componentes menos analizados. La falla en una conexión es más catastrófica que algún otro modo de falla, como el pandeo local por ejemplo.

### 4.1. CONEXIONES MECÁNICAS

La conexión mecánica es la manera más segura para unir miembros de aluminio estructural, las juntas están sujetadas mecánicamente con remaches, pernos, pasadores o tornillos. Las conexiones mecánicas se usan más que las conexiones soldadas en estructuras de aluminio que en acero, la razón más importante es que la soldadura o cualquier calentamiento sobre 450 ° F (230 ° C), a pesar de una duración corta, reduce la resistencia del material.

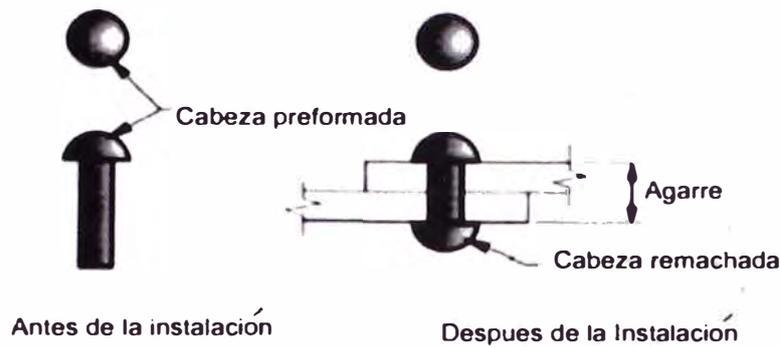
#### 4.1.1. TIPOS DE CONEXIONES

Cuatro clases de conexiones mecánicas son usualmente utilizadas para estructuras de aluminio: Remaches, Pernos, Pasadores y Tornillos.

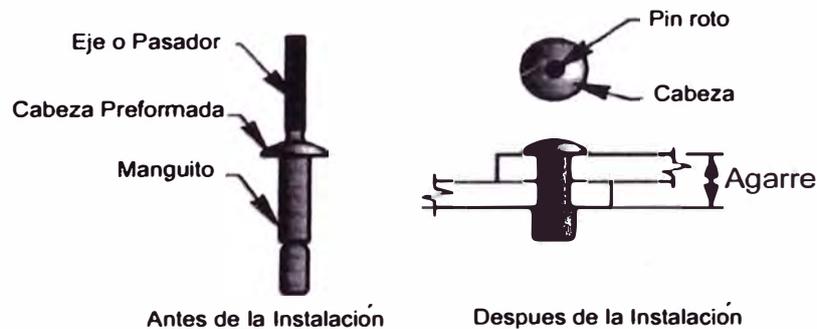
**Remaches** estos son generalmente remachados en frío. Las aleaciones 6053-T61, 6061-T6, y 7075- T73 son las más usados.

El remache (ver Figura 4-1) es insertado dentro del agujero desde un lado y es lo suficientemente largo tal que hay suficiente material del otro lado a través del lado posterior de la junta para ser forjado en una cabeza remachada.

El diámetro del agujero debe ser 4% más grande que el diámetro nominal del remache (7% para remaches en caliente), porque se asume que el remache llena el agujero, el área efectiva del remache al corte es el diámetro del agujero, no del diámetro nominal del remache.

Figura 4-1<sup>96</sup>; Cabeza remachada en frío

El Aluminum Design Manual ADM<sup>97</sup>, Parte VII, Tablas 5-6 a 5-13, nos da las especificaciones de remaches, dimensiones y presiones de remache. Los remaches pueden resistir únicamente cargas de corte, sin embargo ellos no son seguros en tracción, y son reemplazados por pernos. Los remaches más comunes son los remaches ciegos, llamados así porque pueden ser instalados desde un solo lado sin acceso al otro lado y son de acero inoxidable o aluminio (ver Figura 4-2).

Figura -4.2<sup>98</sup>; Remache ciego

Uno de los parámetros más importantes para seleccionar un remache ciego es el espesor total del material a unir, llamado grip o agarre, el cual establece la longitud del remache para formar la cabeza

<sup>96</sup> "Aluminum Structures, J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 253

<sup>97</sup> Aluminum Design Manual 2005 ,PART VII-92

<sup>98</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel, Pág. 254

posterior. El diámetro más pequeño de remache permitido por las especificaciones de Aluminio (sección 5.5.3) para revestimientos de edificaciones y planchas de escurrimiento es de 3/16 pulg. (5mm).

**Pernos** los pernos de aluminio pueden ser de cabeza hexagonal o cabeza cuadrada, con tuercas hexagonales o cuadradas respectivamente. Las dimensiones de los pernos de aluminio, tuercas y roscas son las mismas dadas por ASME estándar para acero. Los pernos conforme a ASME B18.2.1, siendo 1 pulg. (25.4mm) el diámetro más grande ofrecido porque esa es la barra más grande disponible con el cual pueden ser hechos. Las roscas están de acuerdo con ASME B1.1. Las arandelas son opcionales para pernos en agujeros, pero si deben usarse para pernos en ranuras. Las tuercas deben ser conforme a ASME B18.2.2 (ver Figura 4-3). El manual de Diseño en Aluminio, Parte VII, Tablas 5-15 a 5-19, da las dimensiones.

Las aleaciones más usadas para pernos son 2024-T4, 6061-T6, y 7075-T73. (La aleación 6262-T9 es usada casi exclusivamente para tuercas).

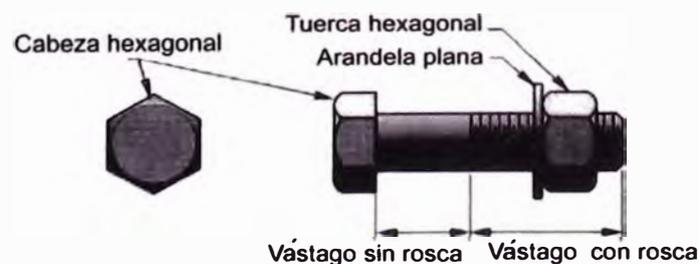


Figura 4-3<sup>99</sup>; Perno y Tuerca

Sin embargo los pernos usados en estructuras de aluminio no necesitan ser de aluminio. El ADM<sup>100</sup> sección 5.2.1 permite el uso de

<sup>99</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 255

<sup>100</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-59

otros materiales tales como la serie 300 de acero inoxidable y acero al carbono galvanizado.

El perno de fijación (Lockbolt) es otra clase de conexión que combina las características del remache y del perno. Un perno de sujeción está formado por un pasador (análogo al perno) y un collar (similar a la tuerca) (ver Figura 4-4).

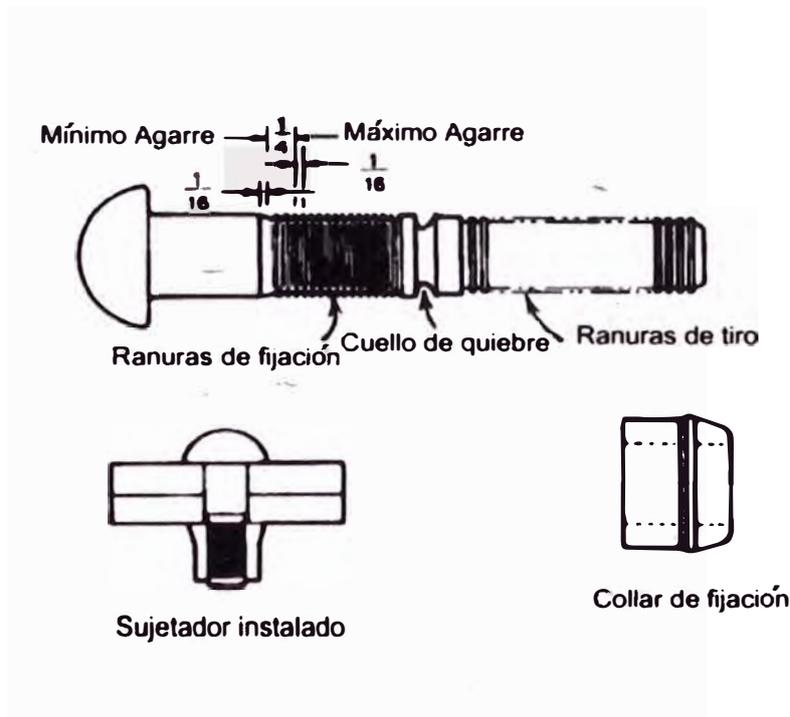


Figura 4-4<sup>101</sup>; Perno de fijación

Los pernos de fijación están disponibles en acero inoxidable o acero al carbono o aleaciones de aluminio (2024-T4, 6061-T6 y 7075-T73) y pueden ser fabricados para cumplir con las especificaciones MIL-P-23469. Los diámetros del perno de fijación en aluminio y acero inoxidable se muestran en la Tabla 4.1.

<sup>101</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 256

Tabla 4.1<sup>102</sup>. Aluminio y Acero Inoxidable  
Diámetros de Pernos de Fijación y Rangos de Agarre

Diámetro Nominal (pulg.)	Rango de Agarre (pulg.)
3/16	1/8
1/4	1/8
5/16	1/4
3/8	1/4
1/2	1/4
5/8	1/4
3/4	1/4

**Pasadores de acero inoxidable y aluminio** Un pasador esta hecho de una barra redonda con un agujero en ambos extremos para recibir una chaveta (cotter pin), los pasadores no empalman las partes conectadas, ellos son usados solamente donde la junta es sostenida por otra conexión como pernos. Los pasadores de aluminio son muy económicos y pueden ser fabricados de cualquier diámetro de barra.

**Tornillos** son a menudo usados en estructuras de aluminio para conectar revestimientos de edificaciones (ver Figura 4-5).



Figura 4-5<sup>103</sup> ; Tornillo de plancha metálica

<sup>102</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 257

<sup>103</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 258



Las especificaciones de Aluminio no establece el requerimiento de material para tornillos, pero tornillos de aleaciones de aluminio 7075-T73, o la serie 300 de acero inoxidable son duraderos. El manual de especificación de aluminio da pautas sobre diseño de tornillos desde 0.164 pulg. (4.2mm) (No 8) a 0.25 pulg. (6.3 mm) de diámetro. Sin embargo, las especificaciones indican que los requerimientos para tornillos para revestimiento de edificaciones y escurrimiento sea No 12 (diámetro nominal 0.216 pulg.) como un mínimo, el No 12 es efectivamente, la mínima dimensión para ser usado en construcción.

Los tornillos que sujetan recubrimientos de pórticos estructurales son típicamente No 14 (1/4 pulg. De diámetro nominal) x 1 pulgada de longitud, de la serie B300 de acero inoxidable. Los tornillos usados para las juntas de los recubrimientos de techos son típicamente No 14 x 3/4 de pulg. , de la serie A300 de acero inoxidable. El tipo designado por A y B son los más usados en estas conexiones y ambas requieren de un agujero pretaladrado.

Las arandelas son usadas bajo la cabeza del tornillo para aminorar la probabilidad de falla bajo carga en tracción. Las arandelas de metal con empaquetaduras de neoprene (llamadas arandelas combinadas) también sellan la junta contra la filtración.

#### 4.1.2 Selección de Material de los conectores

La corrosión de los conectores genera un mayor decrecimiento de la resistencia de la estructura que la corrosión de un miembro principal.

Cuando se usan diferentes materiales para conectar los miembros de una estructura se origina la corrosión galvánica, esto se produce porque tienen un potencial eléctrico diferente. Se previene usando conectores de material igual al metal base. Los conectores de aleaciones de aluminio de alta resistencia 2024 y 7075 son menos resistentes a la corrosión que los de 6061, algunas veces, las aleaciones de alta resistencia son anodizadas.



En el manual de Aluminio Parte I-B sección 5.2.1 se especifica 0.2 mil (0.005mm) de espesor de recubrimiento anodizado para pernos 2024. La lista de aleaciones para producir conectores se da en la tabla 4.2.

Tabla 4.2<sup>104</sup> Esfuerzos Permisibles para conectores de Aluminio para Estructuras de Edificación

Aleación Templado	Esfuerzo Mínimo de Corte		Esfuerzo permisible de corte sobre el Area Efectiva		Esfuerzo de Tracción Mínimo		Esfuerzo permisible de Tracción sobre el Area Efectiva	
	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)
2017-T4	33	225	14	95	55	380	24	165
2024-T42	37	255	16	110	62	425	26	180
2117-T4	26	180	11	75	38	260	16	110
2219-T6	30	205	13	90	55	380	24	160
6053-T61	20	135	8.5	60	30	205	13	90
6061-T6	25	170	10.5	75	42	290	18	125
7050-T7	39	270	17	115	70	485	30	205
7075-T6	42	290	18	125	77	530	33	225
7075-T73	41	280	18	120	68	470	29	200
7178-T6	46	315	20	135	84	580	36	250
7277-T62	35	240	15	105	60	415	26	175

Notas

Esfuerzos aplicados a diámetros de 0.063 pulg. (1.60 mm) a 1.00 pulg. (25.00 mm), excepto el diámetro 7277, los cuales son 0.500 pulg. (12.50 mm) a 1.250 pulg. (32.00 mm) .

Esfuerzo permisible es el esfuerzo mínimo dividido por 2.34.

Todos los remaches son remachados en frío.

Las tuercas deben cumplir la norma ASTM F467, las tuercas de ¼ de pulg. , los pernos (M6) y de dimensiones menores deben ser de aleación 2024-T4; las tuercas de dimensiones mayores deben ser de aleación 6061-T6 o 6262-T9, las arandelas planas deben ser Alclad 2024-T4, las arandelas de resorte deben ser 7075-T6.

El AISI reconoce docenas de aleaciones de acero inoxidable para conectores. Existen tres categorías de acero inoxidable el martensítico, el ferrítico y el austenítico, las tres tienen en común por lo menos 10.5% de

<sup>104</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 263

cromo. El carbón incrementa la resistencia pero reduce el efecto de resistencia a la corrosión del cromo.

El acero inoxidable martensítico, es el de menor resistencia a la corrosión del grupo.

Los aceros inoxidables austeníticos son los más apropiados para el uso con aluminio y constituyen el 80% de todos los conectores de acero inoxidable. Contienen un 18% de cromo y un 8% de níquel, los cuales son muy resistentes a la corrosión. Si no se especifica el tipo de aleación de acero inoxidable se puede indicar un 18-8 como es típicamente conocido. El Tipo 304 es de mayor resistencia a la corrosión y el tipo 316 es el mejor pero el más caro, y es usado en ambientes marinos.

Los conectores de Acero al carbono, los pernos de la serie A307 y A325 pueden ser usados, pero los pernos A490 no están permitidos por las especificaciones de Aluminio porque ellos se tornan quebradizos cuando se galvanizan. Los remaches de acero están prohibidos por las especificaciones de Aluminio.

#### 4.1.3. Propiedades mecánicas de los conectores

Las propiedades mecánicas mínimas (esfuerzo por corte y esfuerzo último de tracción) de los pernos de aluminio se dan en la Tabla 5.2.3.1 y 5.2.3.1.M del Manual de especificaciones de Aluminio (ver Anexo 2).

Las especificaciones para pernos de aluminio están también contenidas en ASTM F468, pernos no ferrosos, tornillos hexagonales para uso general, cada perno fabricado debe ser marcado con un código, designando su aleación como se especifica en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3<sup>105</sup> ASTM F468 Código de Marca en la Cabeza del Tornillo

Marca	Aleación
F468X	2024-T4
F468Y	6061-T6
F468Z	7075-T73

Los esfuerzos mínimos y los esfuerzos permisibles para pernos y remaches están dados en el ADM Tabla 5.3.4.1. La Tabla 4.2 también da esta información

Los pernos conforme al ASTM F593 son fáciles de identificar, cada perno esta marcado como “F593” y con un código designando la condición. Un ejemplo de esto se da en la figura 4-6.

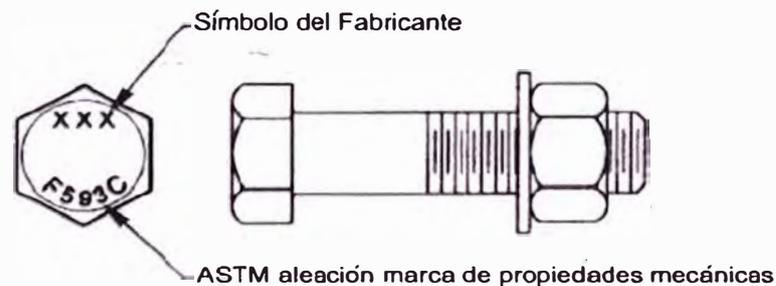


Figura 4-6<sup>106</sup> ; ASTM F 593 marcas en la cabeza del perno

Las tuercas deben ser del mismo grupo de aleación que el perno. Los esfuerzos de fluencia no son usados para determinar el esfuerzo de corte del conector porque el efecto de fluencia de corte de un conector es casi imperceptible y no limita la resistencia de la conexión.

<sup>105</sup> “Aluminum Structures”, J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 262

<sup>106</sup> “Aluminum Structures”, J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 264

4.1.4. Tipos de carga sobre las conexiones

Las conexiones en las estructuras de Aluminio pueden estar sujetas a corte, tracción, o una combinación de corte y tracción. La Tabla 4.4, muestra las funciones de desempeño de cada conexión.

Tabla 4.4<sup>107</sup> Cargas de Conexiones

Conexión	¿Resiste el Corte?	¿Resiste la Tracción?
Remache	Si	No
Perno	Si	Si
Pasador	Si	No
Tornillo	Si	Si

4.1.5. Modos de falla para juntas conectadas mecánicamente

Los modos de falla para juntas empernadas y remachadas en corte se muestran en la Figura 4-7 y estos son:

- 1) Falla por corte del conector
- 2) Falla por apoyo
- 3) Falla por tracción de la parte conectada
- 4) Rotura del extremo de la parte conectada,

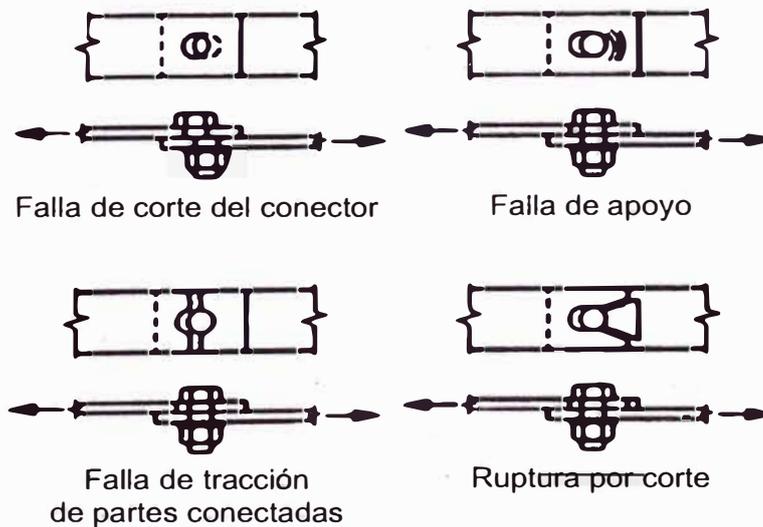


Figura 4-7<sup>108</sup>; Modos de Falla de conexiones empernadas

<sup>107</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel, Pág. 264

<sup>108</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel, Pág. 269

El diseño estructural de los conectores se realiza teniendo en cuenta las especificaciones estructurales del material usado para fabricar el conector.

- a) **Aluminio** según las especificaciones de Aluminio se requiere un factor de seguridad de 2.34 o un factor de resistencia de 0.65 para ser aplicado al esfuerzo de tracción mínimo y esfuerzo de corte último de los pernos o remaches para estructuras de edificación. Para tornillos se utiliza un factor de seguridad de 3.0 o un factor de resistencia de 0.50.

4.1.6. Mínima distancia al borde (ADM Sección 5. (5.1.1))<sup>109</sup>

Si la distancia del centro de un conector al borde de la parte conectada en la dirección de la fuerza sobre el conector es menor de  $2D$ , el esfuerzo de apoyo de diseño de la parte conectada deberá ser factorizada por esa distancia dividida por  $2D$ , donde  $D$  es el diámetro nominal del conector.

La distancia del centro del conector al borde de una parte no debe ser menor que  $1.5D$ . (Ver Figura 4.8 y 4.9)

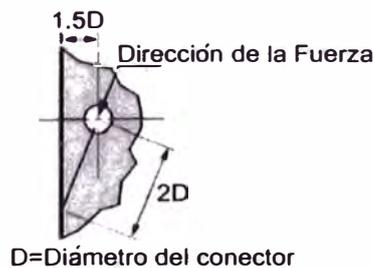


Figura 4-8<sup>110</sup>; Distancia al borde del agujero del perno

Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-58

<sup>110</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 278

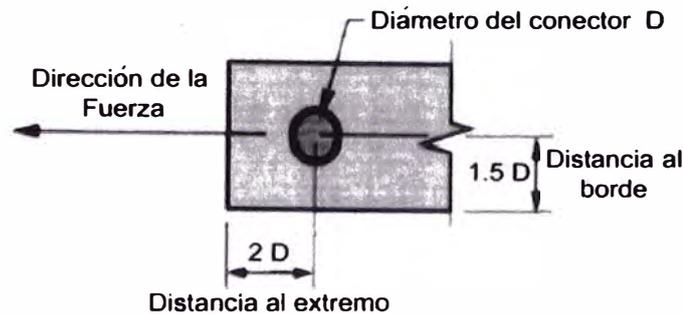


Figura 4.9<sup>111</sup>; Distancia al borde y extremo del agujero del perno

#### 4.1.7. Máximo espaciamiento de conectores (ADM Sección 5.(5.1.2))<sup>112</sup>

El espaciamiento tanto horizontal (pitch) como vertical (gage) de los componentes de los conectores de los miembros en tracción no debe exceder de  $(3+30t)$  pulg.  $[(75+20t)$  mm] donde  $t$  es el espesor del componente exterior.

1) En los componentes exteriores de los miembros en compresión:

El espaciamiento del conector en la dirección del esfuerzo estará basado en el esfuerzo de diseño de la sección 3.4.7 con una longitud efectiva  $kL=s/2$  donde  $s$  es el espaciamiento.

2) La distancia del conector perpendicular a la dirección de la fuerza deberá estar basada en el esfuerzo de diseño de la sección 3.4.9 con un ancho  $b=0.8g$  donde  $g$  es la distancia (gage). Si solamente se usa una línea de conectores, el esfuerzo de diseño deberá estar basado en la sección 3.4.8.1 con un ancho  $b =$  distancia al borde del conector.

#### 4.1.8. Ruptura del bloque de cortante (ADM Sección 5. (5.1.3))<sup>113</sup>

La resistencia de diseño de la ruptura del bloque de cortante  $\phi R_n$  de conexiones empernadas sobre un modo de falla con corte sobre algunos segmentos y tracción sobre otros segmentos es:

<sup>111</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 283

<sup>112</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-58

<sup>113</sup> Aluminum design Manual 2005 , PART I-B-58



Para  $F_{tu} A_{nt} \geq F_{su} A_{nv}$

$$\phi R_n = \phi \left( \left( \frac{F_{ty}}{\sqrt{3}} \right) A_{gv} + F_{tu} A_{nt} \right) \quad (\text{Ecuación 5.1.3-1})$$

De otro modo

$$\phi R_n = \phi (F_{su} A_{nv} + F_{ty} A_{gt}) \quad (\text{Ecuación 5.1.3-2})$$

La resistencia de diseño de la ruptura del bloque de cortante  $\phi R_n$  de conexiones soldadas sobre un modo de falla con corte sobre algunos segmentos y tracción sobre otros segmentos es:

Para  $F_{tu} A_{gt} \geq F_{su} A_{gv}$

$$\phi R_n = \phi \left( \left( \frac{F_{ty}}{\sqrt{3}} \right) A_{gv} + F_{tu} A_{gt} \right) \quad (\text{Ecuación 5.1.3-3})$$

De otro modo

$$\phi R_n = \phi (F_{su} A_{gv} + F_{ty} A_{gt}) \quad (\text{Ecuación 5.1.3-4})$$

Donde

$$\phi = 0.85$$

$$A_{gv} = \text{área total en corte}$$

$$A_{gt} = \text{área total en tracción}$$

$$A_{nv} = \text{área neta en corte}$$

$$A_{nt} = \text{área neta en tracción}$$

#### 4.1.9. Área Neta (ADM Sección 5. (5.1.4))<sup>114</sup>

El área neta  $A_n$  de un miembro es la suma de los productos del espesor y del menor ancho neto de cada elemento calculado como sigue:  
El ancho de los agujeros deben ser tomados como el diámetro nominal del agujero por perforar o agujeros ensanchados y el diámetro nominal más 1/32 pulg. (0.8 mm) para agujeros punzonados.

<sup>114</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-58



Para una cadena de agujeros extendidos en una pieza a través de una línea diagonal o zigzag, el ancho neto de la pieza debe obtenerse deduciendo del ancho total la suma de los anchos de los agujeros de todos los agujeros en la cadena, y añadiendo, para cada espaciamento transversal (gage), la cantidad de  $\frac{s^2}{4g}$  donde:

- $s$  = espaciamiento longitudinal centro a centro (pitch) de dos agujeros consecutivos.
- $g$  = espaciamiento transversal centro a centro (gage) entre líneas de conectores

4.1.10. Área Neta efectiva (ADM Sección 5. (5.1.5))<sup>115</sup>

El área neta efectiva para ángulos, canales, tees, secciones Z e I debe ser determinada como sigue:

- 1) Si la tracción es transmitida directamente a cada elemento de sección transversal del miembro por conectores mecánicos o soldados, el área neta efectiva  $A_e$  es el área neta.
- 2) Si la tracción es transmitida por conectores mecánicos o soldados a través de alguno pero no de todos los elementos de sección transversal del miembro, el área neta efectiva  $A_e$  es :

$$A_e = A_n \left( 1 - \frac{\bar{x}}{L} \right) \left( 1 - \frac{\bar{y}}{L} \right) \quad \text{(Ecuación 5.1.5-1)}$$

Donde:

- $A_n$  = área neta del miembro en la conexión
- $L$  = longitud de la conexión en la dirección de la carga, medida desde el centro de los conectores o al final de la soldadura.
- $\bar{x}$  = excentricidad de la conexión en la dirección del eje x
- $\bar{y}$  = excentricidad de la conexión en la dirección del eje y

<sup>115</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-58



Si la longitud de la conexión  $L$  es cero, el área neta efectiva es el área neta de los elementos conectados.

#### 4.1.11. Agarre (Grip) (ADM Sección 5. (5.1.6))<sup>116</sup>

Si el agarre (espesor total de partes a ser conectadas) de un conector de aluminio excede  $4.5 D$ , la resistencia al corte nominal del conector debe ser reducida dividiéndola por  $\left[ \frac{1}{2} + \frac{G_f}{(9D)} \right]$  donde  $G_f$  es el espesor y  $D$  es el diámetro nominal del conector.

#### 4.1.12. Resistencia y disposición de conexiones (ADM Sección 5. (5.1.7))<sup>117</sup>

Si el centro de resistencia de una conexión no coincide con la línea de acción resultante de la carga, los miembros y conexiones deben estar proporcionados para estimar las excentricidades de carga en la conexión.

#### 4.1.13. Agujeros avellanados (ADM Sección 5. (5.1.8))<sup>118</sup>

La longitud de apoyo para agujeros avellanados debe ser el espesor de la pieza menos un medio de la profundidad de la broca.

#### 4.1.14. Pernos en Tracción (ADM Sección 5. (5.2.3))<sup>119</sup>

La carga de diseño en tracción sobre un perno de aluminio es la raíz del área del perno  $\left( \frac{\pi}{4} \left[ D - 1.191 \frac{P}{n} \right]^2 \right)$  veces su esfuerzo de diseño en tracción, el cual es  $0.65 F_{tu}$

<sup>116</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-59

<sup>117</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-59

<sup>118</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-59

<sup>119</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-59



Donde

$n$  = número de hilos / pulg. (Ver Tabla 5.2.3-1 o Tabla 5.2.3-1M Anexo 2).

#### 4.1.15. Cortante en Pernos (ADM Sección 5. (5.2.4))<sup>120</sup>

La carga de diseño por corte sobre un perno de aluminio es las veces del área efectiva de corte por su esfuerzo de diseño por corte, el cual es  $0.65 F_{su}$  (ver Tabla 5.2.3-1 o Tabla 5.2.3-1M). El área efectiva de corte para pernos sin hilos en el plano de-corte debe estar basada sobre el diámetro nominal. El área efectiva de corte para pernos con hilos en el plano de corte debe estar basada sobre la raíz del diámetro  $(D - 1.191/n)$ .

#### 4.1.16. Apoyo de Pernos (ADM Sección 5. (5.2.5))<sup>121</sup>

La carga de diseño de apoyo aplicada por un perno a una parte de aluminio es las veces del esfuerzo de diseño de apoyo de la parte (ver Sección 3.4.5 y 3.4.6) por el área efectiva de apoyo del perno. El área efectiva de apoyo del perno es su diámetro nominal multiplicado por la longitud de apoyo (ver sección 5.1.8 para agujeros avellanados).

#### 4.1.17. Mínimo espaciamiento de Pernos (ADM Sección 5. (5.2.6))<sup>122</sup>

La mínima distancia entre centros de pernos debe ser 2.5 veces el diámetro nominal del perno.

<sup>120</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-59

<sup>121</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-59

<sup>122</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-59

4.1.18. Perno de fijación (ADM Sección 5. (5.2.7))<sup>123</sup>

Los pernos de fijación deben cumplir los requerimientos para pernos convencionales y deben ser instalados de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Las áreas de apoyo bajo la cabeza y el collar no deben ser menor que los pernos y tuercas convencionales.

4.1.19. Conexiones empernadas de deslizamiento crítico (ADM Sección 5. (5.2.8))<sup>124</sup>

Las conexiones de deslizamiento crítico entre miembros de aluminio o entre miembros de aluminio y acero deben cumplir con el Research Council on Structural Connections (RCSC) Specification for Structural Joints Using ASTM A325 o A 490 Bolts, Load and Resistance Factor Design.

El factor de corte sobre un perno en una conexión crítica de deslizamiento no debe exceder el corte de diseño para el perno (Sección 5.2.8.4), el diseño del apoyo para los miembros conectados (Sección 3.4.5), o la carga de deslizamiento de diseño (Sección 5.2.8.5).

4.1.20. Agujeros (ADM Sección 5. (5.2.8.3))<sup>125</sup>

Los agujeros deben ser agujeros estándar, agujeros sobredimensionados, agujeros ranurados cortos o grandes. La dimensión nominal para cada tipo de agujero no debe exceder aquellos mostrados en la Tabla 1 de la especificación RCSC.

<sup>123</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-59

<sup>124</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-59

<sup>125</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-60

4.1.21. Diseño por esfuerzo (ADM Sección 5. (5.2.8.4))<sup>126</sup>

La carga factorizada de corte sobre un perno no debe exceder el esfuerzo de diseño de corte del perno. El esfuerzo de diseño de corte de un perno es  $\phi R_n$

Donde:

$$R_n = F_n A_b \quad (\text{Ecuación 5.2.8.4-1})$$

Donde:

$R_n$  = esfuerzo nominal de perno

$F_n$  = 48 ksi para cortante sobre pernos con hilos en el plano de corte

$F_n$  = 60 ksi para cortante sobre pernos sin hilos en el plano de corte

$A_b$  = área de la sección transversal nominal (área del vástago sin rosca) de un perno.

$\phi$  = factor de resistencia = 0.75

La carga factorizada de corte sobre un perno dividida por el diámetro nominal del perno y el espesor de la parte conectada no debe exceder el esfuerzo de diseño de apoyo especificada en la sección 3.4.5.

4.1.22. Diseño por resistencia al deslizamiento (ADM Sección 5. (5.2.8.5))<sup>127</sup>

En adición a los requerimientos de la sección 5.2.8.4, los pernos deben ser proporcionados tal que el diseño por resistencia al deslizamiento no exceda las cargas nominales. El diseño por resistencia al deslizamiento es

$$\phi R_s = \phi D \mu T_m N_s \quad (\text{Ecuación 5.2.8.5-1})$$

Donde:

$\phi$  = Factor de resistencia

<sup>126</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-60

<sup>127</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-60



- = 1.0 para agujeros estándar
- = 0.85 para agujeros sobredimensionados y agujeros ranurados cortos
- = 0.70 para agujeros ranurados grandes transversales a la dirección de la carga
- = 0.60 para agujeros ranurados grandes paralelos a la dirección de la carga

$R_s$  = Resistencia nominal de deslizamiento para un perno único

$D$  = 0.80, factor de probabilidad de deslizamiento

$\mu$  = Coeficiente principal de deslizamiento

- = 0.5 para superficies de aluminio desgastadas con escoria de carbón para SSPC SP-5 a un perfil de sustrato promedio de 2.0 mils (0.05 mm) en contacto con superficies similares de aluminio o superficies de acero pintadas con zinc con un máximo de espesor de membrana seca de 4 mils (0.1 mm) son superficies de clase B. Para otras superficies, los coeficientes de deslizamiento deben ser determinados de acuerdo con las especificaciones RCSC del apéndice A.

$T_m$  = Tracción mínima del sujetador especificada en la Sección 5.2.8.7

$N_s$  = Número de planos de deslizamiento

El efecto sobre la resistencia al deslizamiento de los cambios de temperatura de la temperatura de instalación y la diferencia en el coeficiente de expansión térmica del aluminio y el acero debe ser direccionado.

#### 4.1.23. Arandelas (ADM Sección 5. (5.2.8.6))<sup>128</sup>

- a) Las arandelas deben ser usadas bajo la cabeza de los pernos y bajo las tuercas.

<sup>128</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-60



- b) En un agujero ranurado largo, en una capa exterior, una arandela galvanizada de acero o una barra de por lo menos 5/16 pulg. (8mm) de espesor con agujeros estándar, deben ser usadas. La arandela o barra debe cubrir completamente la ranura pero no necesariamente debe ser endurecida.
- c) Cuando la cara exterior de la parte empernada tiene una pendiente mayor que 1:20 con respecto al plano normal del eje del perno, se debe usar una arandela achaflanada.

#### 4.1.24. Instalación (ADM Sección 5. (5.2.8.7))<sup>129</sup>

Los pernos deben ser ajustados de acuerdo con las especificaciones RCSC.

#### 4.1.25. Conexiones Atornilladas (ADM Sección 5. (5.4))<sup>130</sup>

Esta Sección se aplica a tornillos con un diámetro nominal de 0.164 pulg. (4.2 mm) a 0.25 pulg. (6.3 mm) .Los tornillos deben ser con rosca, con o sin un punto auto perforado. Como una alternativa a la Sección 5.4.1 y 5.4.2, los esfuerzos deben estar basados en pruebas de acuerdo a la Sección 9. Los tornillos deben ser instalados y fijados de acuerdo con las especificaciones del fabricante.

La siguiente nomenclatura se aplica a esta Sección:

$A_{sn}$  = área sin rosca por unidad de longitud de acoplamiento

$C$  = coeficiente que depende de la ubicación del tornillo

$D$  = diámetro nominal del tornillo

$D_h$  = diámetro nominal del agujero

$D_w$  = diámetro nominal de la arandela

$D_{ws}$  = diámetro nominal mayor de la arandela y la cabeza del tornillo

<sup>129</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-60

<sup>130</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-61



$F_{tu1}$  = esfuerzo de tracción última del miembro en contacto con la cabeza del tornillo.

$F_{tu2}$  = esfuerzo de tracción última del miembro que no esta en contacto con la cabeza del tornillo.

$F_{ty1}$  = esfuerzo de fluencia en tracción del miembro en contacto con la cabeza del tornillo.

$F_{ty2}$  = esfuerzo de fluencia en tracción del miembro que no esta en contacto con la cabeza del tornillo.

$K_s$  = coeficiente que depende del espesor de los miembros

$n$  = número de hilos por unidad de longitud del tornillo

$\phi_{sc}$  = factor de resistencia = 0.5

$\phi_u$  = factor de resistencia = 0.85

$P_{nt}$  = esfuerzo de tracción nominal del tornillo

$P_{not}$  = esfuerzo nominal de adherencia de un tornillo

$P_{nov}$  = esfuerzo nominal de arranque de un tornillo

$P_{ns}$  = esfuerzo de corte nominal de un tornillo

$t_1$  = espesor del miembro en contacto con la cabeza del tornillo

$t_2$  = espesor del miembro que no esta en contacto con la cabeza del tornillo

$t_c$  = profundidad de los hilos de acoplamiento del tornillo dentro de  $t_2$  no incluye el punto de enrosque o el punto perforado.

#### 4.1.26. Tracción en Tornillos (ADM Sección 5. (5.4.2))<sup>131</sup>

Para tornillos sometidos a cargas en tracción, la cabeza del tornillo o arandela, si la arandela es suministrada, debe tener un

<sup>131</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-61



diámetro  $D_w$  no menor que 5/16 pulg. (8 mm). Las arandelas deben ser de por lo menos 0.05 pulg. (1.3 mm) de espesor.

La fuerza de diseño por tracción de un tornillo es el menor de:

- 1)  $\phi_{sc} P_{not}$  (ver sección 5.4.2.1)
- 2)  $\phi_{sc} P_{nov}$  (ver sección 5.4.2.2)
- 3)  $\phi_{sc} \frac{P_{nt}}{1.25}$

#### 4.1.27. Adherencia [Pull-out] (ADM Sección 5. (5.4.2.1))<sup>132</sup>

El esfuerzo nominal de adherencia  $P_{not}$  para arrancar un tornillo fuera de la parte de los hilos, es:

1. Para UNC hilos ( tipos de hilos de un tornillo C,D,F,G y T )

- a) Para 0.06 pulg.  $\leq t_c \leq 0.125$  pulg. (1.5mm.  $\leq t_c \leq 3$  mm)

$$P_{not} = K_s D t_c F_{ty2} \quad (\text{Ecuación 5.4.2.1-1})$$

Donde:

$$K_s = 1.01 \text{ para } 0.06 \text{ pulg. } \leq t_c \leq 0.08 \text{ pulg}$$

$$(1.5\text{mm. } \leq t_c \leq 2 \text{ mm})$$

$$K_s = 1.20 \text{ para } 0.08 \text{ pulg. } \leq t_c \leq 0.125 \text{ pulg}$$

$$(2\text{mm. } \leq t_c \leq 3 \text{ mm})$$

- b) Para 0.125 pulg.  $< t_c < 0.25$  pulg. (3 mm  $< t_c < 6.3$ mm )

$$P_{not} = 1.2 D F_{ty2} (0.25 - t_c) + 1.16 A_{sn} F_{tu2} (t_c - 0.125)$$

(Ecuación 5.4.2.1-2)

- c) Para 0.25 pulg.  $\leq t_c \leq 0.375$  pulg. (6.3mm.  $\leq t_c \leq 10$  mm)

$$P_{not} = 0.58 A_{sn} t_c F_{tu2}$$

(Ecuación 5.4.2.1-3)

2. Para hilos espaciados ( tipos de tornillos con hilos AB,B,BP,BF, y BT)

<sup>132</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-61



a) Para  $0.038 \text{ pulg.} \leq t_c \leq 2/n$  ( $1 \text{ mm.} < t_c < 2/n$ )

$$P_{not} = K_s D t_c F_{ty2} \quad (\text{Ecuación 5.4.2.1-4})$$

Donde :

$$K_s = 1.01 \text{ para } 0.038 \text{ pulg.} \leq t_c < 0.08 \text{ pulg}$$

$$(1 \text{ mm.} \leq t_c < 2 \text{ mm})$$

$$K_s = 1.20 \text{ para } 0.08 \text{ pulg.} \leq t_c < 2/n$$

$$(2 \text{ mm.} \leq t_c < 2/n)$$

b) Para  $2/n < t_c < 4/n$

$$P_{not} = 1.2 D F_{ty2} (4/n - t_c) + 3.26 D F_{tu2} (t_c - 2/n) \quad (\text{Ecuación 5.4.2.1-5})$$

c) Para  $4/n \leq t_c \leq 0.375 \text{ pulg.}$  ( $4/n \leq t_c \leq 8 \text{ mm}$ )

$$P_{not} = 1.63 D t_c F_{tu2} \quad (\text{Ecuación 5.4.2.1-6})$$

#### 4.1.28. Pull over (ADM Sección 5. (5.4.2.2))<sup>133</sup>

El esfuerzo nominal de arranque  $P_{nov}$  para retirar un material conectado sobre la cabeza de un tornillo o arandela, es:

$$P_{nov} = C t_1 F_{tu1} (D_{ws} - D_h) \quad (\text{Ecuación 5.4.2.2-1})$$

Donde C es un coeficiente que depende de la ubicación del tornillo (1.0 para sujetadores cóncavos y 0.7 para sujetadores convexos , y  $D_{ws}$  es el diámetro mayor de la cabeza del tornillo o el diámetro de la arandela , pero no mayor que 5/8 pulg. (16 mm). (Ver sección 5.4.2 para el espesor de la arandela). El esfuerzo nominal de arranque no debe ser menor que el esfuerzo calculado de la ecuación 5.4.2.2-2 para tornillos avellanados.

Para tornillos avellanados con un ángulo nominal de cabeza de 82°, el esfuerzo nominal de arranque es:

<sup>133</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-62



$$P_{nov} = (0.27 + 1.45 t_1 / D) D t_1 F_{ty1} \quad (\text{Ecuación 5.4.2.2-2})$$

Para  $0.06 \text{ pulg.} \leq t_1 < 0.19 \text{ pulg.}$  ( $1.5 \text{ mm.} \leq t_1 < 5 \text{ mm}$ ) y  $t_1 / D \leq 1.1$

Si  $t_1 / D > 1.1$ , usar  $t_1 / D = 1.1$

#### 4.1.29. Corte y Apoyo del Tornillo (ADM Sección 5. (5.4.3))<sup>134</sup>

La fuerza de corte sobre un tornillo no debe exceder el menor de:

- 1)  $2 \phi_u F_{tu1} D t_1$ . Si el tornillo es avellanado, una mitad de la longitud avellanada debe ser deducida de  $t_1$ .
- 2)  $\phi_u F_{tu2} D t_2$
- 3)  $4.2 \left( D t_2^3 \right)^{1/2} \phi_{sc} F_{tu2}$ , para  $t_2 \leq t_1$
- 4)  $\phi_{sc} P_{ss} / 1.25$

#### 4.1.30. Mínimo espaciamento de tornillos (ADM Sección 5. (5.4.4))<sup>135</sup>

La mínima distancia entre centros de tornillo debe ser 2.5 veces el diámetro nominal del tornillo.

#### 4.1.31. Conexiones para revestimientos de edificaciones (ADM Sección 5. (5.5))<sup>136</sup>

##### a. Recubrimiento Longitudinal (ADM Sección 5(5.5.1))

El mínimo recubrimiento longitudinal debe ser aquel expresado en la Tabla 5.5.1-1 Anexo 2.

##### b. Recubrimiento transversal (ADM Sección 5 (5.5.2))

Para una lámina corrugada sinusoidal, el mínimo recubrimiento transversal para techos debe tener un ancho igual a la distancia

<sup>134</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-62

<sup>135</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-62

<sup>136</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-62



entre corrugados, y el mínimo recubrimiento transversal para los lados debe tener un ancho igual a la mitad de la distancia entre corrugados.

Para una lámina trapezoidal de una profundidad mayor que 1 pulg. (25mm) el mínimo recubrimiento transversal tanto para techos como para los lados debe tener un ancho de desarrollo igual al ancho de la parte plana más estrecha más 2 pulg. (50 mm). Una lamina trapezoidal con una profundidad de 1 pulg. (25 mm) o menos debe tener un sobrecubrimiento de probado diseño incluyendo una característica de anti-sifonaje.

c. Conectores en traslapes (ADM Sección 5 (5.5.3))

El tamaño mínimo de conectores usados en traslapes longitudinales y transversales debe ser # 12 (5.5 mm) para tornillos y 3/16 pulg. (5mm) de diámetro para remaches. El máximo espaciamiento para sujetadores de traslapes transversales debe ser 12 pulg. (300 mm). Los sujetadores longitudinales deben estar localizados a no más de 2 pulg. (50mm) del extremo de la plancha traslapada.

d. Ecurrimiento (ADM Sección 5 (5.5.4))

El escurrimiento debe estar formado de planchas de aluminio.

#### 4.2. CONEXIONES SOLDADAS (ADM (Sección 7. Construcción Soldada))

##### **Generalidades (ADM 7.1)<sup>137</sup>**

Las soldaduras deben cumplir con el American Welding Society D1.2 Structural Welding Code –Aluminum . Las aleaciones de relleno deben cumplir el AWS A5.10 y ser seleccionada de la Tabla 7.1-1.

##### **Miembros Soldados (ADM 7.2)<sup>138</sup>**

<sup>137</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-68

<sup>138</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-68



### Generalidades (ADM 7.2.1)

Se debe considerar 1 pulg. (25mm) a cada lado del centro de línea de una soldadura como zona afectada por la soldadura. Las propiedades mecánicas para metales afectados por la soldadura se detallan en la Tabla 3.3-2 Anexo 1. El módulo de elasticidad para metales afectados por soldadura es el mismo que para metales no soldados.

Los esfuerzos de diseño son calculados de acuerdo con la Sección 7.2.1 y son aplicados a:

- 1) Los miembros en tracción axial con soldaduras transversales que afectan su sección transversal entera.
- 2) Los esfuerzos de apoyo en metales afectados por soldadura.
- 3) Las columnas o vigas soportados en ambos extremos con soldadura transversal que afecta su sección transversal entera y no más lejos que  $0.05 L$  del extremo.
- 4) Las columnas o vigas de tubos o elementos curvados con soldadura transversal que afecta su sección transversal entera.
- 5) Los elementos planos de columnas o vigas con soldaduras soportadas en los extremos únicamente.

Los esfuerzos de diseño para estos miembros soldados deben ser calculados con la misma fórmula como para miembros no soldados con las siguientes correcciones.

- a) El esfuerzo de diseño para tracción axial (Sección 3.4.1 a 3.4.4), apoyo (Secciones 3.4.5 y 3.4.6), y compresión axial o corte (Sección 3.4.7 a 3.4.21) con esbeltez menor que  $S_1$  se debe calcular usando las propiedades mecánicas de soldadura de la Tabla 3.3-2 Anexo 1.
- b) El esfuerzo de diseño para tubos y elementos curvados en compresión axial o cortante (Sección 3.4.10, 3.4.12, y 3.4.16.1) con esbeltez mayor que  $S_1$  se debe calcular usando las propiedades mecánicas de soldadura de la Tabla 3.3-2 y constante de Pandeo de la Tabla 3.3-3 indiferente del templado antes de la soldadura.



- c) El esfuerzo de diseño para todos los otros elementos en compresión axial cortante ( Sección 3.4.7, a 3.4.21) con esbeltez mayor que  $S_1$  debe ser calculado usando las propiedades mecánicas no soldadas de la Tabla 3.3-1 y constante de Pandeo de la Tabla 3.3-3 o 3.3-4 apropiadas para el templado antes de la soldadura.

### Miembros con Parte de la sección transversal soldada –afectada (ADM 7.2.2)<sup>139</sup>

Para miembros con parte de la sección transversal soldada –afectada, el esfuerzo de diseño es

$$\phi F_{pw} = \phi F_n - \frac{A_w}{A} (\phi F_n - \phi F_w) \quad (\text{Ecuación 7.2.2-1})$$

Donde:

$\phi F_{pw}$  = Esfuerzo de diseño de la sección transversal, parte de la cual es soldada-afectada

$\phi F_n$  = Esfuerzo de diseño si ninguna parte de la sección transversal fue soldada-afectada. Usar la constante de pandeo para metales no soldables de la Tabla 3.3-3 o 3.3-4 y propiedades mecánicas de la Tabla 3.3-1.

$\phi F_w$  = Esfuerzo de diseño si la sección transversal entera fue soldada-afectada. Usar la constante de pandeo para materiales templados Tabla 3.3-3 indiferente del templado antes de la soldadura, propiedades mecánicas de la Tabla 3.3-2.

$A$  = área de la sección transversal neta de un miembro en tracción o ala en tracción de una viga; area total de la sección transversal de una columna o ala en compresión de una viga. El ala de la viga consiste de la porción de la sección mas lejos que  $2c/3$  para el eje neutro, donde  $c$  es la distancia del eje neutro a la fibra extrema.

$A_w$  = Area de la sección transversal soldada-afectada. Si  $A_w < 0.15A$ ,  $A_w$  debe ser tomada como cero.

<sup>139</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-68



### **Columnas o Vigas con soldaduras transversales, Soportes y Cantilever con soldaduras transversales (ADM 7.2.3)<sup>140</sup>**

Para columnas o vigas soportadas en ambos extremos con soldaduras transversales más lejos que  $0.05L$  del extremo y vigas cantilever con soldaduras transversales, los esfuerzos de diseño deben ser calculados de acuerdo con la sección 7.2.2 como si el área de la sección transversal entera fuera soldada-afectada.

### **Conexiones Soldadas (ADM 7.3)<sup>141</sup>**

#### **Soldadura acanalada (ADM 7.3.1)**

#### **Soldadura acanalada con penetración completa y penetración parcial (ADM 7.3.1.1)**

Los siguientes tipos de soldadura de ranura son soldaduras de penetración completa:

- 1) Soldadura realizada de ambos lados con la raíz de la primera soldadura hacia atrás para sondear el metal antes de soldar el segundo lado.
- 2) Soldadura realizada desde un lado usando un apoyo permanente o temporal.
- 3) Soldadura realizada desde un lado usando AC-GTAW raíz pasa sin Apoyo.
- 4) Soldadura realizada desde un lado usando PAW-VP en el modo de ojo de cerradura

Todas las otras soldaduras son soldaduras de penetración parcial.

#### **Área Efectiva (ADM 7.3.1.2)<sup>142</sup>**

- 1) Tamaño: El tamaño de la soldadura de una junta con soldadura acanalada de penetración completa es el espesor de la parte más delgada de la junta. El tamaño de la soldadura de una soldadura acanalada de penetración parcial es

Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-68  
Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-68  
Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-70

la profundidad de preparación  $s_w$  (ver figura 7.3-1) para toda soldadura acanalada en V y bisel con un ángulo incluido mayor que  $45^\circ$ , y la profundidad de preparación para toda soldadura acanalada J y U.

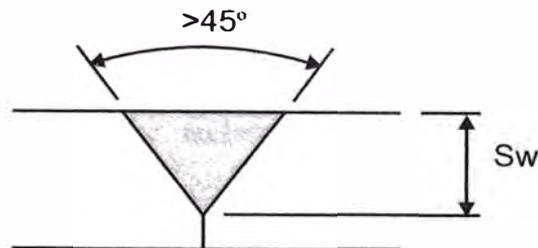


Fig. 7.3.1; Soldadura acanalada de penetración parcial

- 2) Longitud: La longitud efectiva de soldadura para tracción y compresión es la longitud de la soldadura perpendicular a la dirección del esfuerzo de tracción o compresión. La longitud de soldadura efectiva por corte es la longitud de la soldadura paralela a la dirección del esfuerzo de corte.
- 3) Area: El área efectiva de una soldadura acanalada es la longitud efectiva de soldadura por el tamaño de soldadura.

### Esfuerzo de diseño (ADM 7.3.1.3)<sup>143</sup>

El esfuerzo de tracción o compresión de diseño de una soldadura acanalada ( $P_{gw}$ ) es:

$$P_{gw} = \phi_u F_{tuw} A_{we} \quad (\text{Ecuación 7.3.1.3-1})$$

Donde:

$F_{tuw}$  = el menor de los esfuerzos último de tracción de la soldadura del metal base y del metal de aporte (relleno). Los esfuerzos últimos de tracción de soldadura del metal base deben ser tomados de la Tabla 3.3-2 y los esfuerzos de tracción última de metal de aporte (relleno) de la Tabla 7.3-1.

<sup>143</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-70



$A_{we}$  = Área efectiva de soldadura

$$\phi_u = 0.85$$

El esfuerzo de corte de diseño de una soldadura acanalada  $V_{gw}$  es

$$V_{gw} = \phi F_{suw} A_{we} \quad (\text{Ecuación 7.3.1.3-2})$$

Donde:

$F_{suw}$  = el menor de los esfuerzos últimos de corte de soldadura del metal base y del metal de aporte (relleno). El esfuerzo último de corte de soldadura del metal base debe ser tomado de la Tabla 3.3-2 y los esfuerzos últimos de corte del material de aporte (relleno) de la Tabla 7.3-1.

$A_{we}$  = Área efectiva de soldadura

$$\phi_u = 0.85$$

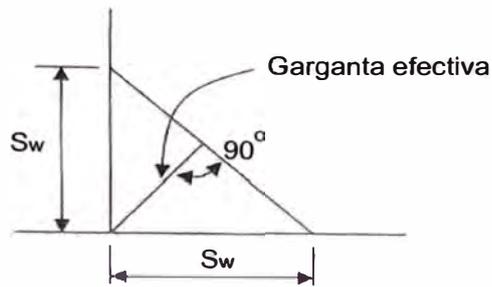
### Soldadura de Filete (ADM 7.3.2)<sup>144</sup>

#### ADM 7.3.2.1 Garganta efectiva y Longitud efectiva (ADM 7.3.2.1)

La garganta efectiva es la distancia más corta desde la raíz de la junta a la cara de la soldadura diagramática.

La longitud efectiva de la soldadura  $L_{we}$  es la longitud total de la soldadura, incluyendo boxing. Si la longitud efectiva de una soldadura de filete es menor que 4 veces su dimensión nominal  $s_w$  (ver Figura 7.3-2), el tamaño de la soldadura efectiva debe ser considerado como 25% de su longitud efectiva. La longitud mínima de segmentos de una soldadura de filete intermitente debe ser 11/2 pulg. (40 mm). La longitud efectiva máxima de una soldadura de filete longitudinal es 100 veces su tamaño nominal.

<sup>144</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-71



**Figura 7.3-2; Garganta efectiva de una soldadura de filete**

**Esfuerzo de diseño (ADM 7.3.2.2)<sup>145</sup>**

El esfuerzo sobre una soldadura de filete se debe considerar como el corte en cualquier dirección de la carga aplicada. El esfuerzo de diseño de corte de una soldadura de filete  $V_w$  es

$$V_w = \phi_u F_{sw} L_{we} \quad \text{(Ecuación 7.3.2.2-1)}$$

Donde:

$F_{sw}$  = el menor de :

- 1) El producto del esfuerzo último de corte del material de aporte (relleno) y la garganta efectiva.
- 2) Para el metal base en corte en la junta del metal base-soldadura, el producto del esfuerzo último de corte del metal base soldado y el tamaño del filete  $s_w$  en la junta;
- 3) Para el metal base en tracción en la junta del metal base-soldadura, el producto del esfuerzo ultimo de tracción del metal base soldado y el tamaño del filete  $s_w$  en la junta; Los esfuerzos de corte y tracción soldados del metal base deben ser tomados de la Tabla 3.3-2 y el esfuerzo último de corte del material de aporte de la Tabla 7.3-1.

$L_{we}$  = Longitud efectiva de soldadura

$$\phi_u = 0.85$$

<sup>145</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-71

## Soldaduras de Tarugo y de ranura (ADM 7.3.3)<sup>146</sup>

### Área Efectiva (ADM 7.3.3.1)

El área efectiva de una soldadura de tarugo y de ranura es el área nominal del agujero o ranura en el plano de la superficie de empalme.

Las longitudes de ranura no deben exceder 10 veces el espesor del material usado.

### Esfuerzo de Diseño (ADM 7.3.3.2)

El esfuerzo de diseño de corte de una soldadura de tarugo o de ranura  $V_w$  es:

$$V_w = \phi_u F_{sw} A_{we} \quad (\text{Ecuación 7.3.3.2-1})$$

Donde:

$F_{sw}$  = El menor esfuerzo último de corte soldado del material de aporte y del metal base bajo la soldadura. El esfuerzo último de corte soldado del metal base debe ser tomado de la Tabla 3.3-2 y los esfuerzos últimos de corte del material de aporte de la Tabla 7.3-1

$A_{we}$  = área efectiva de soldadura

$\phi_u = 0.85$

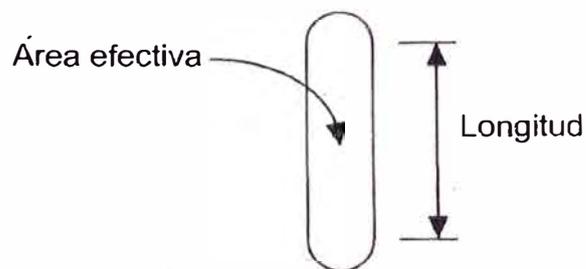


Figura 7.3-3; Soldadura de ranura vista en planta

<sup>146</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-71

**Soldadura de Espárrago (ADM7.3.4)<sup>147</sup>**

El esfuerzo de tracción de diseño de una soldadura espárrago ( $T_w$ ) es

$$T_w = \phi_u T_{uw} \quad (\text{Ecuación 7.3.4-1})$$

Donde:

$T_w$  = Esfuerzo de tracción mínimo del espárrago de la Tabla 7.3-2

$$\phi_u = 0.85$$

**Tratamiento Térmico Post Soldado (ADM 7.4)<sup>148</sup>**

Para aleaciones 6005 para ensambles de postes de luz, superior a 0.25 pulg.(6mm) de espesor los cuales son soldados en el templado T-1 con material de aporte de aleación 4043 y precipitación de tratamiento térmico ( envejecido ) a templado T-5 con un método probado después de la soldadura , el esfuerzo de diseño dentro de 1.0 pulg. (25 mm) de la soldadura debe ser 85% del valor para aleaciones no soldadas 6005-T5.

Para aleaciones 6063 para ensambles de postes de luz , superior a 0.375 pulg.(10mm) de espesor los cuales son soldados en el templado T-4 con material de aporte de aleación 4043 y precipitación de tratamiento térmico ( envejecido ) a templado T-6 con un método probado después de la soldadura , el esfuerzo de diseño dentro de 1.0 pulg. (25 mm) de la soldadura debe ser 85% del valor para aleaciones no soldadas 6063-T6.

<sup>147</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-71

<sup>148</sup> Aluminum Design Manual 2005 , PART I-B-71

## CAPITULO 5.0. TÓPICOS ESPECIALES

### 5.1. Comportamiento del Aluminio con la soldadura

El calor de la soldadura reduce el esfuerzo último y de fluencia de las aleaciones de aluminio que adquieren su resistencia a través del envejecimiento artificial y de aquellas que obtienen su resistencia del trabajo en frío. El efecto de la soldadura sobre los elementos soldados depende en parte, de la orientación de la soldadura con respecto a la longitud del elemento. Existen dos tipos de soldaduras para el propósito de establecer su influencia sobre la resistencia del elemento: soldaduras transversales y soldaduras longitudinales.

Las soldaduras transversales son aquellas que están ubicadas en un plano transversal al eje longitudinal del elemento, ejemplo de soldadura transversal es la soldadura acanalada en los empalmes de los elementos (ver Figura. 5-1).

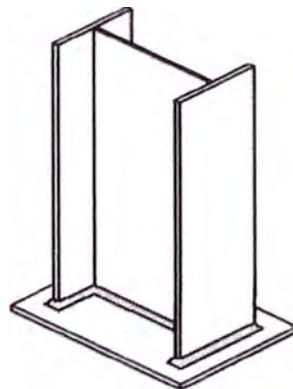
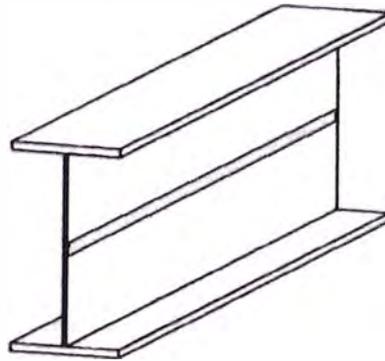


Figura 5-1<sup>149</sup>; Soldadura transversal

Las soldaduras longitudinales son aquellas que van paralela a la longitud del elemento. Un ejemplo de soldadura longitudinal es la soldadura entre el alma y las alas de una viga. Las soldaduras longitudinales son típicas en miembros ensamblados (ver Figura. 5-2).

<sup>149</sup> “Aluminum Structures”, J Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 310

Figura 5-2<sup>150</sup>; Soldadura longitudinal de miembros ensamblados

Otro factor en determinar el efecto de la soldadura sobre la resistencia es si el elemento está en tracción o en compresión.

## 5.2. Miembros en Tracción soldados<sup>151</sup>

### 5.2.1. Soldaduras transversales en miembros en Tracción

- a. La soldadura puede fracturarse: La fluencia en la soldadura transversal puede causar una pequeña elongación del elemento en relación a su longitud total. Consecuentemente, la fluencia en una soldadura transversal no es un estado límite, y el esfuerzo de fluencia soldado no afecta la resistencia a la tracción de un elemento con una soldadura transversal. La resistencia a la fractura de la soldadura está dada en el ADM Tabla 3.3-2 (ver Anexo 1) como  $F_{tuw}$ .
- b. El elemento puede fallar o fracturarse en una sección transversal lejos de la soldadura. Se puede excluir la fractura lejos de la soldadura, puesto que el metal afectado soldado es siempre más débil que el metal no soldado. En otras palabras, siempre se da  $F_{tuw} \leq F_{tu}$ .

<sup>150</sup> "Aluminum Structures", J Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 311

<sup>151</sup> "Aluminum Structures", J Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 311

Sin embargo, la fuerza de tracción permisible  $T_a$  sobre un elemento con una soldadura transversal con un área de sección transversal  $A_w$ , afectando la sección transversal completa de área  $A$  es:

$$T_a = \min \left( \frac{0.9 F_{tuw} A_w}{n_u}, \frac{F_{ty} A}{n_y} \right)$$

El área soldada de la sección transversal está limitada al área de la sección transversal del miembro lejos de la soldadura por AWS D1.2 (91), por lo tanto  $A_w \leq A$ .

Esto es porque para efectos de diseño, el espesor efectivo de la soldadura no puede exceder el espesor del miembro soldado, y el ancho efectivo de la soldadura no puede exceder el ancho del miembro soldado.

### 5.2.2. Soldadura longitudinal en miembros en Tracción

Las soldaduras longitudinales en un elemento en tracción son tratadas con una aproximación de promedio compensado. La fórmula de esfuerzo permisible es:

$$F_{pw} = F_n - \left( \frac{A_w}{A} \right) (F_n - F_w)$$

Donde:

$F_{pw}$  = Esfuerzo permisible sobre una sección transversal, parte de cuya área está dentro de 1.0 pulgada (25 mm) de una soldadura.

$F_n$  = Esfuerzo permisible para una sección transversal si no fue afectado por la soldadura

$F_w$  = Esfuerzo permisible para la sección transversal si la sección transversal entera fue afectada por la soldadura. Para el esfuerzo de tracción último, usar  $0.9 F_{tuw}$  y para el esfuerzo de fluencia por tracción usar  $0.75 F_{tyw}$  para calcular  $F_w$ .



$A_w$  = Porción del área de la sección transversal ubicado en una longitud de 1.0 pulg. (25 mm) en la línea central de una soldadura acanalada o la garganta de una soldadura de filete.

$A$  = área neta de la sección transversal o el ala en tracción (para vigas). Para este propósito, el ala es la porción de la sección más alejada ( $2c/3$ ) del eje neutro, donde  $c$  = distancia del eje neutro a la fibra extrema.

La aproximación de promedio compensado significa que los esfuerzos de la porción no afectada de la sección y la porción soldada afectada de la sección son compensadas en proporción a su participación con respecto a la sección transversal total.

Se simplifica: Si la porción soldada afectada de la sección transversal es menor que 15%, la reducción del esfuerzo por soldadura es considerada demasiado pequeña como para tomarla en cuenta.

### 5.3. Miembros en Compresión soldados <sup>152</sup>

#### 5.3.1. Soldadura Transversal en miembros en compresión

Para vigas o columnas soportadas en ambos extremos y con una soldadura transversal de 5% de la longitud del elemento desde un extremo, el ADM Sección 7.1.1 establece no considerar el efecto de soldadura sobre el elemento en tanto que se considere el elemento a ser empernado en el extremo. Un ejemplo es la columna de un pórtico con sus bases soldadas sobre una plancha.

Para todas las otras vigas y columnas con soldadura transversal, los miembros deben ser diseñados como si el elemento entero fuera afectado por la soldadura, aún cuando la soldadura transversal esta solamente

<sup>152</sup> “Aluminum Structures”, J Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 315



sobre un punto a lo largo de la longitud del elemento. Se calcula el esfuerzo sustituyendo  $0.75 F_{cyw}$  por  $F_{cy}$  en la ecuación para esfuerzo (ADM Tabla 3.4-3) y en las ecuaciones para las constantes de pandeo (B, D, y C).

### 5.3.2 Soldadura Longitudinal para Miembros en Compresión

El cálculo del esfuerzo de las soldaduras longitudinales en columnas y vigas por la aproximación de promedio compensado es como para elementos en tracción con soldaduras longitudinales. La diferencia es que el esfuerzo del elemento en compresión afectado por la soldadura considera el cálculo de constantes de pandeo, mientras que los esfuerzos por tracción no. La fórmula del esfuerzo permisible es:

$$F_{pw} = F_n - \left( \frac{A_w}{A} \right) (F_n - F_w)$$

Donde:

$F_{pw}$  = Esfuerzo permisible sobre una sección transversal, parte de cuya área esta dentro de 1.0 pulgada (25 mm) de una soldadura.

$F_n$  = Esfuerzo permisible para una sección transversal si no fue afectado por la soldadura

$F_w$  = Esfuerzo permisible para la sección transversal si la sección transversal entera fue afectada por la soldadura. Para el esfuerzo de fluencia en compresión usar  $0.75 F_{cyw}$  para calcular  $F_w$ . Para constantes de pandeo, usar la Tabla 3.3-3 prescindiendo del templado antes de la soldadura.

$A_w$  = Porción del área de la sección transversal ubicado en una longitud de 1.0 pulg. (25 mm) en la línea central de una soldadura acanalada o la garganta de una soldadura de filete.

$A$  = área neta de la sección transversal (para columnas) o el ala en compresión (para vigas). Para este propósito, el ala es la porción



de la sección más alejada ( $2c/3$ ) del eje neutro, donde  $c$ = distancia del eje neutro a la fibra extrema.

#### 5.4. Procesos de soldadura<sup>153</sup>

Soldar es el proceso de unir piezas por fusión con calor. Los procesos de soldadura considerados en el Aluminum Specification y usados en muchas aplicaciones constructivas son el gas metal arc welding (GMAW) (soldadura de arco a gas) comúnmente llamado MIG (por metal inert gas); y el gas tungsten arc welding (GTAW) (soldadura de arco con tungsteno), llamado TIG (por tungsten inert gas). Las propiedades mecánicas mínimas de estos procesos están dadas en la tabla 3.3-2 del ADM.

La soldadura MIG usa un arco eléctrico dentro de un escudo de gas inerte entre la base de metal y el alambre del electrodo de relleno. El alambre del electrodo es jalado desde un carrete por un mecanismo alimentador de alambre y enviado al arco a través de una pistola.

En la soldadura TIG, el metal base y el metal de relleno son fundidos por un arco entre el metal base y un electrodo de tungsteno no consumible en un retenedor. El tungsteno es usado porque tiene el más alto punto de fundición que cualquier metal (6170 °F [3410 °C]) y buena conductividad, un tercio que el cobre.

En las soldaduras MIG y TIG, el gas inerte (usualmente argon, algunas veces Helio) protege el metal fundido de la oxidación, permitiendo la fusión de la base y el metal de relleno. La soldadura TIG se usa para soldar materiales delgados (de ¼ pulg. [6 mm] de espesor) mientras que la soldadura MIG esta disponible para todo espesor de material.

En 1983, el American Welding Society (AWS) D1.2 Structural Welding Code-Aluminum estableció que las soldaduras MIG y TIG fueran usadas para propósitos generales excepto aplicaciones aeroespaciales y recipientes a presión. El D1.2 incluye requerimientos de diseño, fabricación e inspección.

<sup>153</sup> “Aluminum Structures”, J Randolph Kissel and Robert L. Ferry, Pág. 289



La especificación para aleaciones de relleno se da en el AWS A5.10 Specification for Bare Aluminum and Aluminum Alloy Electrodes and Rods.

El diseño estructural de las conexiones soldadas esta en función del alambre de relleno usado en la soldadura. La Tabla 7.1-1 del ADM nos da las aleaciones de relleno basada en la aleación del metal de las piezas por soldar. Son muchos los factores a considerar a parte del esfuerzo, se incluye la ductilidad, el color que coincide después del anodizado, la resistencia a la corrosión, la tendencia a la desintegración por calor.

Las aleaciones de relleno más usadas son la 4043 y la 5356. Se usa la aleación de relleno 5356 debido a su buena resistencia, compatibilidad con muchos metales base y buen suministrador de alambre de electrodo MIG. También se usa para soldar aleaciones de la serie 6xxx porque provee un mejor color de combinación con el metal base que el 4043 cuando es anodizado (el 4043 tiende a tornarse negro y arquitectónicamente no es muy aceptado). La aleación 4043 fue desarrollada para soldar aleaciones tratadas al caliente, especialmente aquellas de la serie 6xxx. Esta aleación se utiliza para soldar las partes del metal base de la serie 6xxx de espesores mayores a 0.375 pulg. (10mm) que van a ser tratadas al caliente después de ser soldadas.

Las aleaciones de relleno 5356, 5183 y 5556 fueron desarrolladas inicialmente para soldar aleaciones de serie 5xxx, pero también son útiles para soldar aleaciones 6xxx y 7xxx.

La aleación 5183 es ligeramente mas resistente que la 5356, y más que la 5556.

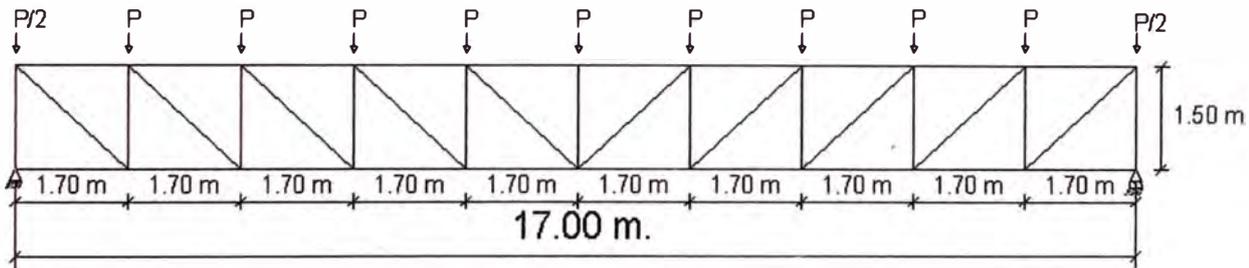


## CAPITULO 6.0. ESTUDIO COMPARATIVO DE ELEMENTOS EN TRACCIÓN, COMPRESIÓN EN ALUMINIO 6061-T6 Y ACERO A-36.

### Ejemplo de Diseño

Se tiene una armadura de 17.00 m de largo con una altura igual a 1.50m, el espaciamiento entre armaduras es igual a 4.00 m, la cobertura es de lámina termo acústicas (termotecho de espesor de 2mm Acerolit, ancho de 0.94m, ancho útil de 0.79 m), la distancia entre apoyos de cobertura es de 1.70 m.

### ESTRUCTURA DE ELEVACION FRONTAL EJEMPLO DE DISEÑO EN ALUMINIO 6061 - T6



### CARGAS:

$$P_m = D = 0.21 \text{ Tm.}$$

$$P_v = L = 0.20 \text{ Tm.}$$

$$P_r = L_r = 0.08 \text{ Tm.}$$

Factores de combinación de carga

$$\sum \gamma Q = 1.2D + 1.6L + 0.5L_r$$

Donde:

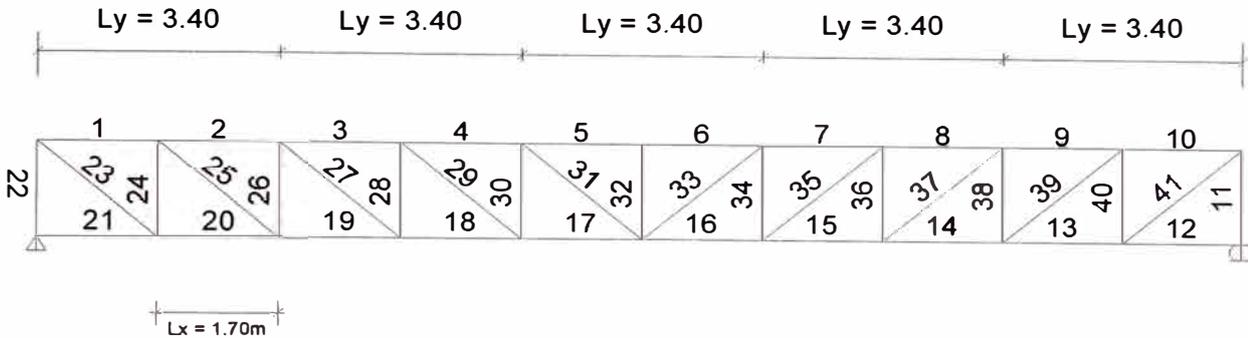
D = Carga muerta

L = Carga viva

$L_r$  = Carga viva sobre el techo



**ELEVACION FRONTAL**



**A. Diseño en Aluminio 6061-T6**

**A.1. Análisis Estructural**

**A.1.1. Metrado de Cargas:**

Peso propio estimado de la estructura = 7.00 Kg. /m<sup>2</sup>  
 Peso iluminación = 5.00 Kg. /m<sup>2</sup>  
 Peso de cielo raso Superboard de  
 1.22mx 2.44mx5mm = 7.00 Kg. /m<sup>2</sup>  
 Peso cobertura = 12.00 Kg. /m<sup>2</sup>  
 Peso sobrecarga = 30.00Kg. /m<sup>2</sup>  
 Entonces el Peso por carga muerta es = 31 Kg. /m<sup>2</sup>  
 Carga muerta sobre cada armadura = 31 Kg. /m<sup>2</sup> x 4 = 124 kg/ m  
 Carga viva sobre cada armadura = 30 Kg. /m<sup>2</sup> x 4 = 120 kg/ m  
 Carga viva sobre el techo sobre cada armadura =  
 12 Kg. /m<sup>2</sup> x 4 = 48 kg/ m  
 Carga Muerta sobre cada nudo D = 124 kg/ m x 1.70 = 210.8 Kg  
 Carga Viva sobre cada nudo L = 120 kg/ m x 1.70 = 204.00 Kg  
 Carga Viva sobre el techo sobre cada nudo L<sub>r</sub> = 48 kg/ m x 1.7 =  
 81.6 Kg.

Los factores de combinación de carga para estructuras de edificación dado por ASCE 7-02 son:

$$1) \sum \gamma Q = 1.2D + 1.6L + 0.5 L_r$$



$$2) \sum \gamma Q = 1.2D + L + 1.6 L_r$$

$$3) \sum \gamma Q = 1.2D + L + 0.5 L_r$$

Donde:

$D$  = carga muerta

$L$  = carga viva

$L_r$  = carga viva sobre el techo

### A.1.2. Resultado del análisis usando el programa SAP 2000 v.9.0

Resumen de Fuerzas Axiales					
Elementos	Frame Text	Station m	OutputCase Text	Case Type Text	P Ton
Brida Superior	5	0	COMBI	Combination	-6.11
Brida Inferior	17	0	COMBI	Combination	7.44
Montante	22	0	COMBI	Combination	-2.59
Diagonal	23	0	COMBI	Combination	2.88
Vigueta	1032	0	COMBI	Combination	0
Arriostramiento	1356	0	COMBI	Combination	-2.30
Arriostramiento	1357	0	COMBI	Combination	-1.21

## A.2. Diseño de Elementos

### A.2.1. Brida Inferior (Tracción)<sup>154</sup>

Elemento 17 Fuerza axial = 7.44 Ton  $\approx$  16.38 Kips

El esfuerzo por Tracción axial producido por las cargas factorizadas no deben exceder

$$a) \quad \phi F_L = \phi_y F_{ty} \quad (\text{Ecuación 3.4.1-1}) \quad (\text{ADM})$$

$\phi$  = factor de resistencia

$F_L$  = esfuerzo de estado límite

$F_{ty}$  = esfuerzo de fluencia de tracción = 35 Ksi (Tabla 3.3.1)

$\phi_y$  = Factor de resistencia de fluencia = 0.95 (Tabla 3.4-1)

Sobre el área Total y

<sup>154</sup> Aluminum Manual Design 2005, PART I-B-26



$$b) \quad \phi F_L = \frac{\phi_u F_{tu}}{k_t} \quad \text{(Ecuación 3.4.1- 2) (ADM)}$$

$\phi_u$  = Factor de resistencia de esfuerzo último = 0.85 (Tabla 3.4-1)

$F_{tu}$  = esfuerzo último de tracción = 38 Ksi (Tabla 3.3-1)

$k_t$  = coeficiente para miembros en tracción = 1 (Tabla 3.4-2)

Tabla 3.3-1  
Propiedades Mecánicas Mínimas para Aleaciones de Aluminio

Aleación y Templado	Producto	Espesores Rango pulgadas	F <sub>tu</sub> ksi	F <sub>ty</sub> ksi	F <sub>cy</sub> ksi	F <sub>su</sub> ksi	Compresión Modulo de Elasticidad <sup>2</sup> E (ksi)
6061-T6,T651	Láminas & Planchas	0.010 a 4.000	42	35	35	27	10,100
-	Extrusión	Todos	42	35	35	25	10,100
T6,T6510,T6511	Barras	Mas de 8.000	42	35	35	27	10,100
-T6	Drawn Tube	0.025 a 0.500	38	35	35	24	10,100
-T6	Tubos	Todos					

1. F<sub>u</sub> y F<sub>y</sub> son valores mínimos especificados (excepto F<sub>ty</sub> para 1100-H12, H14 varillas acabadas en Frío y barras y tubos estirados, Alclad 3003-H18 Laminas y 5050-H32, H34 varillas acabadas en frío y barras las cuales tienen valores esperados mínimos); otras propiedades de resistencias corresponde a valores mínimos esperados.
2. Valores típicos. Para el cálculo de deflexión un promedio del módulo de elasticidad es usado; esto es 100Ksi menor que los valores en esta columna.



Tabla 3.4-1  
Factores de Resistencia comúnmente usados

Factor de Resistencia	Valor	Estado Limite Aplicable
$\phi_y$	0.95	Fluencia general
$\phi_b$	0.85	Vigas o elementos de vigas
$\phi_c$	0.85	Elementos de columnas
$\phi_u^*$	0.85	último
$\phi_{cc}$	$1 - 0.21\lambda \leq 0.95$ para $\lambda \leq 1.2$ $0.14\lambda + 0.58 \leq 0.95$ para $\lambda > 1.2$	Columnas
$\phi_{cp}$	0.8	Pandeo elástico de tubos
$\phi_v$	0.8	Pandeo elástico de corte
$\phi_{vp}$	0.9	Pandeo inelástico de corte
$\phi_w$	0.9	Onda de inestabilidad

\*Ver sección 3.4.2 para excepciones  
Otros Factores de Resistencia para conexiones están en el ADM.

Tabla 3.4-2  
COEFICIENTE  $k_t$

Aleación y Templado	No soldada o regiones mas alejadas que 1.0 pulg. (25mm) de una soldadura	Región dentro de 1.0 pulg. (25mm) de una soldadura
2014-T6,-T651-T6510-T6511, Duraluminio 2014-T6,-T651	1.25	—
6066-T6,-T6510,-T6511	1.1	—
6070-T6,-T62	1.1	—
Todos los demás listados en la Tabla 3.3-1	1.0	1.0

$k_t$  es usado en la sección 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3 y 3.4.4.



$$F_L = 16.38 \text{ Kips}$$

$$\text{Reemplazando en a) } 16.38 \text{ Ksi} < 0.95 \times 35 = 33.25 \text{ Ksi}$$

$$\text{Reemplazando en b) } 16.38 \text{ Ksi} = (0.85 \times 38) / 1 = 32.30 \text{ Ksi}$$

El esfuerzo de diseño menor es 32.30 Ksi

$$\text{Entonces } 16.38 \text{ Kips} / 32.30 \text{ Ksi} = 0.507 \text{ pulg.}^2$$

Del ADM Parte VI Propiedades de la Sección para Tubos cuadrados tenemos que la sección RT 1.5" x 1.5" x 0.095" tiene un área de 0.534 pulg.<sup>2</sup> y pesa 0.628 lb/ft

### A.2.2. Diagonal (Tracción)

Elemento 23 Fuerza axial = 2.88 Ton  $\approx$  6.34 Kips

$$\text{Entonces } F_L = 6.34 \text{ Kips}$$

$$\text{Reemplazando en a) } 6.34 < 0.95 \times 35 = 33.25 \text{ Ksi}$$

$$\text{Reemplazando en b) } 6.34 = (0.85 \times 38) / 1 = 32.30 \text{ Ksi}$$

El esfuerzo de diseño menor es 32.30 Ksi

$$\text{Entonces } 6.34 \text{ Kips} / 32.30 \text{ Ksi} = 0.196 \text{ pulg.}^2$$

Del ADM Parte VI Propiedades de la Sección para Tubos cuadrados tenemos que la sección RT 1" x 1" x 0.065" tiene un área de 0.243 pulg.<sup>2</sup> o usar la sección RT 1.5" x 1.5" x 0.065" que tiene un área de 0.373 pulg.<sup>2</sup> y pesa 0.439 lb/ft.

### A.2.3. Brida Superior (Compresión)<sup>155</sup>

Elemento 5 Fuerza axial = 6.11 Ton  $\approx$  13.46 Kips

Condición final: empernado

Tipo de estructura: Edificación

Del ADM Parte VI Propiedades de la Sección para Tubos cuadrados tenemos Una sección RT 3" x 3" x 0.25" con un área de 2.75 pulg.<sup>2</sup>

<sup>155</sup> Aluminum Manual Design 2005, PART I-B-26



Entonces  $\phi F_L = \frac{13.46}{2.75} \text{ Ksi} = 4.89 \text{ Ksi}$

Del ADM Parte I-B Sección 3.4.7

El esfuerzo de diseño es

a)  $\phi F_L = \phi_{cc} F_{cy}$  para  $\lambda \leq S_1$  (Ecuación 3.4.7-1)

$\phi$  = factor de resistencia

$F_L$  = esfuerzo de estado límite

$F_{cy}$  = resistencia de fluencia a la compresión

$\phi_{cc}$  = Factor de resistencia Tabla 3.4.1

$S_1$  = límite de esbeltez

$\lambda$  = Parámetro de esbeltez

b.  $\phi F_L = \phi_{cc} (B_c - D_c^* \lambda)$  para  $S_1^* < \lambda < S_2^*$  (Ecuación. 3.4.7-2)

c.  $\phi F_L = \frac{\phi_{cc} F_{cy}}{\lambda^2}$  para  $\lambda \geq S_2$  (Ecuación 3.4.7-3)

Donde

$\lambda = \left(\frac{kl}{r}\right) \left(\frac{1}{\pi}\right) \sqrt{\frac{F_{cy}}{E}}$  Parámetro de esbeltez (Ecuación 3.4.7-4)

$D_c^* = \pi D_c \sqrt{E/F_{cy}}$  (Ecuación 3.4.7-5)

$S_1^* = \frac{(B_c - F_{cy})}{D_c^*}$  (Ecuación 3.4.7-6)

$S_2^* = \frac{C_c}{\pi} \sqrt{F_{cy}/E}$  (Ecuación 3.4.7-7)

$\phi_{cc} = 1 - 0.21 \lambda \leq 0.95$  para  $\lambda \leq 1.2$  (Ecuación 3.4.7-8)

$\phi_{cc} = 0.14 \lambda + 0.58 \leq 0.95$  para  $\lambda > 1.2$  (Ecuación 3.4.7-9)

$k$  = factor de longitud efectiva por análisis racional.  $k$  puede ser tomada mayor que o igual a la unidad



$L =$  longitud no soportada

$r =$  radio de giro de la columna sobre el eje de pandeo.

$r_x, r_y = 2.40$  pulg. radio de giro de la sección transversal con respecto a los ejes principales centroidales.

$S_1, S_2 =$  límites de esbeltez

Entonces Calculamos el parámetro de esbeltez

$$\lambda = \left( \frac{kl}{r} \right) \left( \frac{1}{\pi} \right) \sqrt{\frac{F_{cy}}{E}} \quad \text{(Ecuación 3.4.7-4)}$$

Donde:

$$k = 1$$

$$l = 3.40\text{m} = 133.86 \text{ pulg.}$$

$$r = 1.13 \text{ pulg.}$$

$$F_{cy} = 35 \text{ Ksi de la Tabla 3.3.1}$$

$$E = 10,100 \text{ Ksi (módulo de elasticidad)}$$

$$\pi = 3.1416$$

Reemplazando en la ecuación 3.4.7-4

$$\lambda = \left( \frac{1 \times 133.86}{1.13} \right) \left( \frac{1}{3.1416} \right) \sqrt{\frac{35}{10100}} = 2.22$$

Como  $\lambda > 1.2$  usamos la ecuación 3.4.7-9

$$\phi_{cc} = 0.14 \lambda + 0.58 \leq 0.95 \text{ para } \lambda > 1.2 \text{ reemplazando valores}$$

$$\text{tenemos } \phi_{cc} = 0.14 \times 2.22 + 0.58 = 0.89$$

$$\text{Hallamos el valor de } S_1^* = \frac{(B_c - F_{cy})}{D_c^*}$$

$$\text{Donde } D_c^* = \pi D_c \sqrt{E/F_{cy}}$$



De la Tabla 3.3.4 obtenemos:

$$D_c = \frac{B_c}{10} \left( \frac{B_c}{E} \right)^{1/2} \quad B_c = F_{cy} \left[ 1 + \left( \frac{F_{cy}}{2250} \right)^{1/2} \right]$$

$$C_c = 0.41 \frac{B_c}{D_c}$$

Calculamos:

$$B_c = 35 \left[ 1 + \left( \frac{35}{2250} \right)^{1/2} \right] = 39.36$$

$$D_c = \frac{39.36}{10} \left( \frac{39.36}{10100} \right)^{1/2} = 0.246$$

$$C_c = 0.41 \left( \frac{39.36}{0.246} \right) = 65.60$$

$$D_c^* = 3.1416 \times 0.246 \times \left( \frac{10100}{35} \right)^{1/2} = 13.13$$

Reemplazando estos valores en la Ecuación 3.4.7-6 y 3.4.7-7 tenemos

$$S_1^* = \frac{39.36 - 35}{13.13} = 0.3321$$

$$S_2^* = \frac{65.50}{3.1416} \left( \frac{35}{10100} \right)^{1/2} = 1.227$$

Para  $\lambda \geq S_2$  entonces usamos la (Ecuación 3.4.7-3)

$$\phi F_L = \frac{\phi_{cc} F_{cy}}{\lambda^2} \quad \text{reemplazando valores tenemos:}$$

$$\phi F_L = \frac{0.89 \times 35}{2.22^2} = 6.32 \text{ Ksi}$$

Entonces 4.89 Ksi < 6.32 Ksi entonces usar una sección RT 3" x 3" x 0.25" con un área de 2.75 pulg.<sup>2</sup> y pesa 3.23 lb/ft



Tabla 3.3-4

Fórmulas para la constante de Pandeo para productos cuya designación por Templado comience con -T5,-T6,-T7,-T8, o -T9

Tipo de miembro y esfuerzo	Interceptar ksi	Interceptar MPa	Pendiente	Intersección
Compresión en Columnas y Alas de Vigas	$B_c = F_{cy}[1 + (\frac{F_{cy}}{2250})^{1/2}]$	$B_c = F_{cy}[1 + (\frac{F_{cy}}{15510})^{1/2}]$	$D_c = \frac{B_c}{10} (\frac{B_c}{E})^{1/2}$	$C_c = 0.41 \frac{B_c}{D_c}$
Compresión axial en elementos planos	$B_p = F_{cy}[1 + \frac{(F_{cy})^{1/3}}{11.4}]$	$B_p = F_{cy}[1 + \frac{(F_{cy})^{1/3}}{21.7}]$	$D_p = \frac{B_p}{10} (\frac{B_p}{E})^{1/2}$	$C_p = 0.41 \frac{B_p}{D_p}$
Compresión axial en elementos curvados	$B_t = F_{cy}[1 + \frac{(F_{cy})^{1/5}}{8.7}]$	$B_t = F_{cy}[1 + \frac{(F_y)^{1/5}}{12.8}]$	$D_t = \frac{B_t}{4.5} (\frac{B_t}{E})^{1/3}$	$C_t^*$
Flexo compresión en elementos planos	$B_{br} = 1.3F_{cy}[1 + \frac{(F_{cy})^{1/3}}{7}]$	$B_{br} = 1.3F_{cy}[1 + \frac{(F_{cy})^{1/3}}{13.3}]$	$D_{br} = \frac{B_{br}}{20} (\frac{6B_{br}}{E})^{1/2}$	$C_{br} = \frac{2B_{br}}{3D_{br}}$
Flexo compresión en elementos curvados	$B_{tb} = 1.5F_y[1 + \frac{(F_y)^{1/5}}{8.7}]$	$B_{tb} = 1.5F_y[1 + \frac{(F_y)^{1/5}}{12.8}]$	$D_{tb} = \frac{B_{tb}}{2.7} (\frac{B_{tb}}{E})^{1/3}$	$C_{tb} = (\frac{B_{tb} - B_t}{D_{tb} - D_t})^2$
Cortante en elementos planos	$B_s = \frac{F_{ty}}{\sqrt{3}} [1 + \frac{(F_{ty}/\sqrt{3})^{1/3}}{9.3}]$	$B_s = \frac{F_{ty}}{\sqrt{3}} [1 + \frac{(F_{ty}/\sqrt{3})^{1/3}}{17.7}]$	$D_s = \frac{B_s}{10} (\frac{B_s}{E})^{1/2}$	$C_s = 0.41 \frac{B_s}{D_s}$
Esfuerzo último de elementos planos en compresión	$k_1 = 0.35$	$k_2 = 2.27$		
Esfuerzo último de elementos planos en flexión	$k_1 = 0.50$	$k_2 = 2.04$		

\* $C_t$  debe ser determinada usando un ploteador de curvas de esfuerzos de estado límite basado en pandeo elástico y no elástico o por soluciones de errores y ensayos.

**B. Diseño en Acero A-36****B.1. Análisis Estructural****B.1.1. Metrado de Cargas:**

Peso propio estimado de la estructura	=	20.00 Kg. /m <sup>2</sup>
Peso iluminación	=	5.00 Kg. /m <sup>2</sup>
Peso de cielo raso Superboard de 1.22mx 2.44mx5mm	=	7.00 Kg. /m <sup>2</sup>
Peso cobertura	=	12.00 Kg. /m <sup>2</sup>
		<hr/>
Peso por carga muerta	=	44.00 kg. /m <sup>2</sup>

$$\text{Peso sobrecarga} = 30.00 \text{ Kg. /m}^2$$

$$\text{Carga muerta sobre cada armadura} = 44 \text{ Kg. /m}^2 \times 4 = 176 \text{ kg/ m}$$

$$\text{Carga Muerta sobre cada nudo D} = 176 \text{ kg/ m} \times 1.70 = 299.20 \text{ Kg}$$

$$D = P_m = 0.30 \text{ Ton}$$

$$\text{Carga viva sobre cada armadura} = 30 \text{ Kg. /m}^2 \times 4 = 120 \text{ kg/ m}$$

$$\text{Carga Viva sobre cada nudo L} = 120 \text{ kg/ m} \times 1.70 = 204.00 \text{ Kg}$$

$$L_r = P_v = 0.20 \text{ Ton}$$

Los factores de combinación de carga para estructuras de edificación dado por AISC son:

$$3) \sum \gamma Q = 1.2D + 1.6L_r$$

Donde:

$D$  = carga muerta

$L_r$  = carga viva sobre el techo

**B.1.2. Resultado del Análisis: Usando el Programa SAP 2000 v. 9.0**

Resumen de Fuerzas Axiales					
Elementos	Frame Text	Station m	OutputCase Text	Case Type Text	P Ton
Brida Superior	5	0	COMBI	Combination	-15.54
Brida Inferior	17	0	COMBI	Combination	18.94
Montante	22	0	COMBI	Combination	-6.55
Diagonal	23	0	COMBI	Combination	7.25
Vigueta	1032	0	COMBI	Combination	0
Arriostramiento	1356	0	COMBI	Combination	-5.95
Arriostramiento	1357	0	COMBI	Combination	-3.14

**B.2. Diseño de Elementos****B.2.1. Brida Inferior (Tracción)<sup>156</sup>**

Elemento 17 Fuerza axial = 18.94 Ton  $\approx$  41.72 Kips

Un miembro en tracción puede fallar al alcanzar en él, uno de los dos estados límites: Deformación por fractura o deformación por fluencia.

- a) La resistencia nominal por Fluencia es:

$$P_n = F_y A_g$$

- b) La resistencia nominal por Fractura es :

$$P_n = F_u A_e$$

Donde:

$A_e$  = área neta efectiva

$A_g$  = área Total

<sup>156</sup> "Diseño de Estructuras de Acero con LRFD", segunda Edición, William T. Segui



$F_u$  = esfuerzo último de tracción del acero estructural = 58 Ksi

$F_y$  = esfuerzo de fluencia de 36 Ksi

$\phi_t = 0.75$  Factor de resistencia por fractura

$\phi_t = 0.90$  Factor de resistencia por fluencia

$P_n$  = es la suma de las cargas factorizadas

Para miembros en tracción:

c)  $P_u \leq \phi_t P_n$

Como hay dos estados límites ambas condiciones siguientes deben satisfacer:

d)  $P_u \leq 0.9F_y A_g$

e)  $P_u \leq 0.75F_u A_e$

La menor de estas es la resistencia de diseño del elemento

Usando un tubo cuadrado de acero A-36 de 2"x2"x1/4" de área = 1.59 pulg<sup>2</sup>

Reemplazando en la ecuación d)

$$P_u \leq 0.9 \times 36 \times 1.59 = 51.52 \text{ Kips}$$

Reemplazando en e)

Donde  $A_e$  tiene el valor de:

Para conexión atornillada  $A_e = UA_n$

Para conexión soldada  $A_e = UA_g$

$U$  = factor de reducción

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} \leq 0.90$$

$\bar{x}$  = distancia del centroide del área conectada al plano de la conexión

$L$  = Longitud de la conexión

$$A_e = 0.90 \times 1.59 = 1.431 \text{ pulg}^2$$

Reemplazando en e)

$$P_u \leq 0.75F_u A_e$$



$$P_u = 0.75 \times 58 \times 1.431 = 62.25 \text{ Kips}$$

$$P_u = 41,72 \text{ Kips} < 51.52 \text{ Kips}$$

Entonces Usar tubo cuadrado de acero A-36 de 2"x2"x1/4" de área = 1.59 pulg<sup>2</sup>

Y peso = 5.41 lb/ft.

### B2.2 Brida Superior (Compresión)<sup>157</sup>

Elemento 5 Fuerza axial = 15.54 Ton ≈ 34.23 Kips

$$a) P_a \leq \phi_c P_n$$

Donde:

$P_a$  = suma de las cargas factorizadas

$P_n$  = resistencia nominal por compresión =  $A_g F_{cr}$

$F_{cr}$  = esfuerzo critico de Pandeo

$\phi_c$  = factor de resistencia para miembros en compresión = 0.85

Usando el parámetro de esbeltez

$$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

Para  $\lambda_c \leq 1.5$

$$F_{cr} = \left( 0.658 \lambda_c^2 \right) F_y$$

Para  $\lambda_c > 1.5$

$$F_{cr} = \frac{0.877}{\lambda_c^2} F_y$$

Se recomienda una relación de esbeltez máxima de  $\frac{KL}{r} = 200$

Para el tubo de sección 3"x3"x1/4" se tiene un área = 2.59 pulg<sup>2</sup>  $r = 1.10$  pulg.

$$L = 133.86 \text{ pulg.}$$

<sup>157</sup> "Diseño de Estructuras de Acero con LRFD", segunda Edición, William T. Segui



$$\text{Entonces } \frac{KL}{r} = \frac{1 \times 133.86}{1.10} = 121.69 < 200$$

$$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{121.69}{3.1416} \sqrt{\frac{36}{29000}} = 0.975$$

Como  $\lambda_c < 1.5$  entonces:

$$F_{cr} = \left(0.658^{\lambda_c^2}\right) F_y = \left(0.658^{0.975^2}\right) 36 = 24.18$$

$$P_n = A_g F_{cr} = 2.59 \times 24.18 = 62.63 \text{ Kips}$$

$$\phi_c P_n = 0.85 \times 62.63 = 53.24 \text{ Kips}$$

La resistencia de diseño por compresión es 53.24 Kips

34.23 Kips < 53.24 Kips · entonces usar el perfil 3"x3"X1/4" de área = 2.59 pulg<sup>2</sup> y peso = 8.81 lb/ft.

**METRADO DE ESTRUCTURA RETICULAR****Aluminio 6061-T6**

Elemento	Piezas	Longitud en pies	Peso/Longitud Lb/pie	Peso en Libras
Brida Superior	2	19.69	3.23	127.19
Brida Superior	1	22.97	3.23	74.19
Brida Inferior	2	19.69	0.628	24.73
Brida Inferior	1	22.97	0.628	14.43
Montante	3	19.69	3.23	190.80
Diagonal	3	22.97	0.439	30.25
Diagonal	1	8.2	0.439	3.6
			Total	465.19

**Accesorios**

10% del Peso Total =  $0.10 * 465.19 = 46.52$  Lb

Peso Total de Reticulado =  $465.19 + 46.52 = 511.71$  Lb

Peso /m<sup>2</sup> =  $(511.71 * 0.454) / (4 * 17) = 3.42$  Kg/m<sup>2</sup> < 7.00Kg/m<sup>2</sup> (estimado)

**Acero A-36**

Elemento	Piezas	Longitud en pies	Peso/Longitud Lb/pie	Peso en Libras
Brida Superior	2	19.69	8.81	334.78
Brida Superior	1	22.97	8.81	202.37
Brida Inferior	2	19.69	5.41	213.05
Brida Inferior	1	22.97	5.41	124.27
Montante	3	19.69	8.81	520.41
Diagonal	3	22.97	5.41	372.80
Diagonal	1	8.2	5.41	44.36
			Total	1812.04



Accesorios

$10\% \text{ del Peso Total} = 0.10 * 1812.04 = 181.20 \text{ Lb}$

$\text{Peso Total de Reticulado} = 1812.04 + 181.20 = 1993.24 \text{ Lb}$

$\text{Peso /m}^2 = (1993.24 * 0.454) / (4 * 17) = 13.31 \text{ Kg/m}^2 < 20.00 \text{ Kg/m}^2 \text{ (estimado)}$

Cuadro comparativo de perfiles de Estructura Reticular de Aluminio 6061-T6 y Acero -A36		
Elemento	Aluminio 6061-T6	Acero-A36
Brida Inferior	RT 1.5"x1.5"x0.095"	2"x2"x1/4"
Diagonal	RT 1.5"x1.5"x0.065"	2"x2"x1/4"
Brida Superior	RT 3"x3"x0.25"	3"x3"x1/4"
Montante	RT 3"x3"x0.25"	3"x3"x1/4"
Peso por reticulado en Kg	232.00	905.00



## CAPITULO 7.0. METODOLOGÍA DE ESTUDIO DE MERCADO PARA EL ALUMINIO ESTRUCTURAL

El Producto perfil extruido de aluminio estructural, es un producto sustituto que surge por la aparición de una necesidad del consumidor (corrosión en las estructuras de acero) y como un proceso evolutivo por la protección del medio ambiente, del desarrollo del concepto “construcción sostenible” el cual involucra minimizar costos de construcción, operación, mantenimiento, materiales, desperdicio, energía y maximizar las posibilidades de reciclado de los materiales, cuando se tenga que reemplazar<sup>158</sup>. El aluminio reciclado requiere solamente 5 por ciento de la energía requerida para hacer un nuevo aluminio. No hay diferencia entre aluminio primario y aluminio reciclado en términos de calidad o propiedades.

Esta necesidad del consumidor y este proceso evolutivo va a dar origen a un sector industrial naciente, cuya característica esencial es la no existencia de reglas de juego desde el punto de vista de la formulación estratégica, la ausencia de estas reglas es tanto un riesgo como una fuente de oportunidades<sup>159</sup>.

Existe mucha incertidumbre con respecto a la tecnología en este sector, así como también incertidumbre estratégica, nadie sabe quienes son los competidores, no existen datos confiables sobre las ventas del sector industrial y de la participación del mercado.

Por eso para recoger información sobre el comportamiento de este producto se puede utilizar el criterio de la **observación** tomando fotografías de estructuras reticulares de acero (ver anexo 2 Foto 1). El criterio de **datos secundarios** a través de comentarios de analistas, a través de reportes anuales de revistas especializadas como International Aluminum Institute (ver Anexo 2 Comentarios) y el criterio de **datos primarios** a través de una investigación de grupo objetivo (Focus Group).

La decisión de ingreso a este mercado se podrá hacer en función de dos criterios, uno el rendimiento sobre la inversión y el otro debido a que el sector industrial existente se encuentra en desequilibrio, por no haber creado una identificación en el uso y beneficio del producto similar que comercializan (perfil extruido de aluminio).

<sup>158</sup> “El marketing según Kotler, Cómo crear, ganar y dominar los mercados”, Philip Kotler 2004

<sup>159</sup> “Estrategia Competitiva –Técnicas para el análisis de los Sectores Industriales y de la Competencia”, Michael E. Porter



El ingreso a este mercado se podrá realizar mediante el desarrollo interno, es decir la creación de una nueva empresa, la cual deberá enfrentar las barreras de ingreso estructurales como las economías de escala debido al costo- volumen –precio del producto nuevo, la diferenciación del producto, debido a que las empresas establecidas tienen identificación de marca en este caso el acero, la lealtad entre los clientes, los requisitos de capital, el acceso a los canales de distribución, y la reacción esperada de las empresas existentes a través de represalias lentas o ineficaces, debido a que las empresas establecidas son rentables pero están adormecidas o los costos de las represalias sobrepasan los beneficios.

Para salvar estas barreras de ingreso se puede comprar a bajo precio, manteniendo la estabilidad y competitividad del grupo de proveedores, asignando las compras entre los proveedores calificados, promoviendo la estandarización de las especificaciones en la compra de los productos. La Asociación del Aluminio ha establecido la viga I extruida y los perfiles tipo canal en peraltes de 2 a 12 pulgadas como perfiles estandarizados. Estas secciones son eficientes para aplicaciones estructurales.

Se puede ofrecer un producto superior diferenciable, la empresa tiene que crear o vender algo que sea percibido en el mercado como único. El aluminio es altamente resistente a la corrosión, gracias a la capa de óxido delgada, altamente estable, que se forma en su superficie cuando se expone al aire (ver Anexo 2 Tabla 7.6).

Según el Anexo 2 Tabla 7.7 y Tabla 7.8 se puede observar que a partir del cuarto año la inversión inicial más los costos de mantenimiento son menores en el caso de las estructuras de aluminio US \$29.21/m<sup>2</sup> comparado con US \$ 30.08/m<sup>2</sup> para el Acero A36.

Se puede descubrir un nuevo nicho, enfocarse sobre un grupo de compradores objetivo en particular, para esto debemos dirigir los esfuerzos hacia clientes cuyas necesidades particulares estén en la mejor posición relativa para recibir el servicio. Cuanto más elevado sea su potencial de crecimiento, es más probable que la demanda para los productos de la empresa aumente con el tiempo. Establecer que poder de negociación tiene el cliente para exigir precios bajos. Y cual es el costo del servicio para la empresa, de servir a compradores de forma particular.



Otros aspectos que hay que tener en cuenta son la imagen y confianza con la comunidad financiera como resultado de la novedad, la demora en la aprobación oficial de reglamentos de construcción aplicando el nuevo material, o costos unitarios mucho más elevados a los que se esperaba. Debido a los problemas potenciales de imagen y credibilidad del nuevo sector industrial la empresa debe presentar un frente uniforme a los proveedores, clientes, gobierno y comunidad financiera. Las conferencias, publicaciones y asociaciones industriales pueden ser un instrumento útil, lo mismo que evitar estrategias que degraden a los competidores.

Así también se debe prever la naturaleza y los competidores potenciales basada en la evaluación de las barreras presentes y futuras. Como la incertidumbre es una característica dominante en este sector, para la formulación de estrategias se podrá usar la técnica de los escenarios, escenarios como producto/tecnología/mercado.



## CONCLUSIONES

- Siempre que exista una necesidad existirá una oportunidad ya sea de aprendizaje, conocimiento o de negocio, por esta razón es conveniente difundir el uso del aluminio como material estructural de construcción. Difundiendo esta información podemos crear la necesidad de usar el aluminio estructural en edificaciones y sobre todo de manera formal con conocimiento.
- No podemos crear industria, si antes no hemos creado el mercado; el mercado se origina por una necesidad, una necesidad existente o creada.
- Para introducir el aluminio como otro material de construcción para elementos estructurales de edificación, debemos primero desarrollar un manual con las especificaciones técnicas de este material, lo que se ha logrado elaborar con este estudio “Propuesta de manual de diseño estructural en aluminio”.
- Una vez que esta propuesta se haya convertido en un manual definitivo, evaluado y aprobado por las instancias respectivas como la Universidad Nacional de Ingeniería, el Colegio de Ingenieros del Perú, el Ministerio de Vivienda y Construcción, se debería escribir libros con ejemplos de diseño para que el ingeniero poco a poco se vaya acostumbrando de tal manera que se convierta casi en una especialización.
- Según la Tabla 7.7 del anexo 2 se puede observar, que si comparamos los costos por mantenimiento actualizado de las estructuras reticuladas tanto en acero A-36 como en aluminio 6061-T6, para esta última se va haciendo favorable conforme transcurren los años, es así que en el año 4 el VAN (reticulado acero) es de 30.08 US\$/ m<sup>2</sup> mientras que el VAN (reticulado en aluminio) es de 29.21US\$/m<sup>2</sup> y en al año 8 el VAN (reticulado acero ) es de 41.84 mientras que el VAN (reticulado en aluminio) es de 35.73US\$/m<sup>2</sup>. Con lo cual se concluye que el reticulado en aluminio tiene un costo inicial alto pero a largo plazo tiene mayores beneficios.



- El perfil extruido de aluminio estructural, es un producto sustituto del acero, que nace por la necesidad del consumidor de tener un producto altamente resistente a la corrosión y esto da origen a un nuevo sector industrial. Sector con mucha incertidumbre respecto al tipo de tecnología y estrategias. Su introducción en el mercado se debe enfocar en un nicho objetivo en particular, teniendo en cuenta la imagen y confianza que pueda transmitir la nueva empresa, la cual debe contar con profesionales altamente calificados y reconocidos en el medio.



## RECOMENDACIONES

- La transmisión de información sobre materiales nuevos siempre se debe dar, así habrá más alternativas de selección.
- La universidad podría proponer que se instale un comité más de las normas técnicas de edificaciones tomando como base esta Tesis para la elaboración de normas técnicas del uso del aluminio estructural.
- Una vez elaborada y aprobada la norma técnica, la universidad podría contribuir a que se difunda este material entre las oficinas de diseño estructural.
- Se recomienda seguir el estudio del tema a través de programas de ensayos en conexiones, tanto mecánicas como soldadas y en el caso de estas últimas para mostrar la calidad de las soldaduras.
- Se recomienda adecuar las tablas al sistema métrico.
- Se podría convocar a otras instituciones para que apoyen esta iniciativa de transferencia tecnológica.



## BIBLIOGRAFÍA

1. J.Randolph Kissel and Robert L. Ferry, “Aluminum Structures A guide to their Specifications and Design”, Second Edition, USA 2002.
2. The Aluminum Association, Inc., “The Aluminum Design Manual”, second edition, USA 2005.
3. William T. Segui, “Diseño de Estructuras de Acero con LRFD”, segunda Edición, Universidad de Memphis, USA 1999.
4. Philip Kotler ,”El Marketing según Kotler, Cómo crear, ganar y dominar los mercados”, Nueva York USA 1999.
5. Michael E. Porter, “Estrategia Competitiva –Técnicas para el análisis de los sectores industriales y de la competencia”, vigésima cuarta reimpresión México 1997.
6. Agüero Mauricio Alfredo Rolando, “Tesis: Procesos de fabricación y estrategias de comercialización de Tuberías conduit de Aluminio en una fabrica Metal mecánica”, FIIS-1997, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.
7. Diario “El Comercio”, Sección b6 Martes 12 de Setiembre del 2006, Lima – Perú.
8. Diario “El Comercio”, Sección b7 Miércoles 31 de Enero del 2007, Lima-Perú.
9. Diario “El Comercio” Sección b7 Miércoles 14 de Febrero del 2007, Lima-Perú.
10. Búsqueda en Internet :  
[www.iai.com](http://www.iai.com) International Aluminum Institute  
[www.eaa.com](http://www.eaa.com) European Aluminum Association  
[www.alfed.com](http://www.alfed.com) Aluminium Federation  
[www.aac.com](http://www.aac.com) Aluminium Association of Canada  
[www.aluplanet.com](http://www.aluplanet.com) The Portal of Aluminium Planet  
[www.aec.org](http://www.aec.org) Aluminum extruders’ Council  
[www.lme.co.uk](http://www.lme.co.uk) London Metal Exchange  
[www.amm.com](http://www.amm.com) American Metal Market  
[www.infomine.com](http://www.infomine.com) Infomine  
[www.chinaview.cn](http://www.chinaview.cn) China Daily



# **ANEXO 1**

## **Tablas**

Tomadas del Aluminum Design Manual 2005; USA



Tabla 3.3-1<sup>160</sup>  
Propiedades Mecánicas Mínimas para Aleaciones de Aluminio

Aleación y Templado	Producto	Espesores Rango pulgadas	F <sub>tu</sub> ksi	F <sub>ty</sub> ksi	F <sub>cy</sub> ksi	F <sub>su</sub> ksi	Compresión Módulo de Elasticidad <sup>2</sup> E (ksi)
1100-H12	(Lámina, Plancha, tubo trefilado	Todos	14	11	10	9	10,100
-H14	Barras roladas & Barras)	Todos	16	14	13	10	10,100
2014-T6	Láminas	0.040 a 0.249	66	58	59	40	10,900
-T65 I	Planchas	0.250 a 2.000	67	59	58	40	10,900
-T6-T6510,T6511	Extrusiones	Todos	60	53	52	35	10,900
-T6,T65 I	Varilla y barras acabado en frío, tubo trefilado	Todos	65	55	53	38	10,900
Alclad							
2014-T6	Lámina	0.025 a 0.039	63	55	56	38	10,800
-T6	Lámina	0.040 a 0.249	64	57	58	39	10,800
-T65 I	Plancha	0.250 a 0.499	64	57	56	39	10,800
3003-H12	Lámina & Plancha	0.017 a 2.000	17	12	10	11	10,100
-H14	Lámina & Plancha	0.009 a 1.000	20	17	14	12	10,100
-H16	Lámina	0.006 a 0.162	24	21	18	14	10,100
-H18	Lámina	0.006 a 0.128	27	24	20	15	10,100
-H12	Tubo trefilado	Todos	17	12	11	11	10,100
-H14	Tubo trefilado	Todos	20	17	16	12	10,100
-H16	Tubo trefilado	Todos	24	21	19	14	10,100
-H18	Tubo trefilado	Todos	27	24	21	15	10,100
Alclad							
3003-H12	Lámina & Plancha	0.017 a 2.000	16	11	9	10	10,100
-H14	Lámina & Plancha	0.009 a 1.000	19	16	13	12	10,100
-H16	Lámina	0.006 a 0.162	23	20	17	14	10,100
-H18	Lámina	0.006 a 0.128	26	23	19	15	10,100
-H14	Tubo trefilado	0.025 a 0.259	19	16	15	12	10,100
-H18	Tubo trefilado	0.010 a 0.500	26	23	20	15	10,100
3004-H32	Lámina & Plancha	0.017 a 2.000	28	21	18	17	10,100
-H34	Lámina & Plancha	0.009 a 1.000	32	25	22	19	10,100
-H36	Lámina	0.006 a 0.162	35	28	25	20	10,100
-H38	Lámina	0.006 a 0.128	38	31	29	21	10,100
-H34	Tubo trefilado	0.018 a 0.450	32	25	24	19	10,100
-H36	Tubo trefilado	0.018 a 0.450	35	28	27	20	10,100
Alclad							
3004-H32	Lámina	0.017 a 0.249	27	20	17	16	10,100
-H34	Lámina	0.009 a 0.249	31	24	21	18	10,100
-H36	Lámina	0.006 a 0.162	34	27	24	19	10,100
-H38	Lámina	0.006 a 0.128	37	30	28	21	10,100
-H131,H241,H341	Lámina	0.024 a 0.050	31	26	22	18	10,100
-H151,H261,H361	Lámina	0.024 a 0.050	34	30	28	19	10,100
3005-H25	Lámina	0.013 a 0.050	26	22	20	15	10,100
-H28	Lámina	0.006 a 0.080	31	27	25	17	10,100
3105-H25	Lámina	0.013 a 0.080	23	19	17	14	10,100

Para todas las notas a pie de página, ver la última página de esta Tabla

<sup>160</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-15



Continuación Tabla 3.3-1  
Propiedades Mecánicas Mínimas para Aleaciones de Aluminio

Aleación y Templado	Producto	Espesores Rango pulgadas	F <sub>tu</sub> ksi	F <sub>ty</sub> ksi	F <sub>cy</sub> ksi	F <sub>cu</sub> ksi	Compresión Módulo de Elasticidad <sup>2</sup> E (ksi)
5005-H12	Lámina & Plancha	0.017 a 2.000	18	14	13	11	10,100
-H14	Lámina & Plancha	0.009 a 1.000	21	17	15	12	10,100
-H16	Lámina	0.006 a 0.162	24	20	18	14	10,100
-H32	Lámina & Plancha	0.017 a 2.000	17	12	11	11	10,100
-H34	Lámina & Plancha	0.009 a 1.000	20	15	14	12	10,100
-H36	Lámina	0.006 a 0.162	23	18	16	13	10,100
5050-H32	Lámina	0.017 a 2.000	22	16	14	14	10,100
-H34	Lámina	0.009 a 0.249	25	20	18	15	10,100
-H32	Acabado en frío vanila & Barra, tubo trefilado	Todos	22	16	15	13	10,100
-H34	Acabado en frío vanila & Barra, tubo trefilado	Todos	25	20	19	15	10,100
5052-O	Láminas & Planchas	0.006 a 3.000	25	9.5	9.5	16	10,200
-H32	Láminas & Planchas	Todos	31	23	21	19	10,200
-H34	Acabado en frío vanila Tubo trefilado	Todos	34	26	24	20	10,200
-H36	Lámina	0.006 a 0.162	37	29	26	22	10,200
5083-O	Extrusión	Mas de 5.000	39	16	16	24	10,400
-H111	Extrusión	Mas de 0.500	40	24	21	24	10,400
-H111	Extrusión	0.501 a 5.000	40	24	21	23	10,400
-O	Láminas & Planchas	0.051 a 1.500	40	18	18	25	10,400
-H116	Láminas & Planchas	0.188 a 1.500	44	31	26	26	10,400
-H32,H321	Láminas & Planchas	0.188 a 1.500	44	31	26	26	10,400
-H116	Planchas	1.501 a 3.000	41	29	24	24	10,400
-H32,H321	Planchas	1.501 a 3.000	41	29	24	24	10,400
5086-O	Extrusión	Mas de 5.000	35	14	14	21	10,400
-H111	Extrusión	Mas de 5.000	36	21	18	21	10,400
-H111	Extrusión	0.501 a 5.000	36	21	18	21	10,400
-O	Láminas & Planchas	0.020 a 2.000	35	14	14	21	10,400
-H112	Plancha	0.025 a 0.499	36	18	17	22	10,400
-H112	Plancha	0.500 a 1.000	35	16	16	21	10,400
-H112	Plancha	1.001 a 2.000	35	14	15	21	10,400
-H116	Plancha	2.001 a 3.000	34	14	15	21	10,400
-H112	Láminas & Planchas	Todos	40	28	26	24	10,400
-H32	Láminas & Planchas Tubo trefilado	Todos	40	28	26	24	10,400
-H34	Láminas & Planchas Tubo trefilado	Todos	44	34	32	26	10,400
5154-H38	Lámina	0.006 a 0.128	45	35	33	24	10,300

Para todas las notas a pie de página, ver la última página de esta Tabla



Continuación Tabla 3.3-1  
Propiedades Mecánicas Mínimas para Aleaciones de Aluminio

Aleación y Templado	Producto	Espesores Rango pulgadas	F <sub>tu</sub> ksi	F <sub>ty</sub> ksi	F <sub>cy</sub> ksi	F <sub>su</sub> ksi	Compresión Módulo de Elasticidad <sup>2</sup> E (ksi)
5454-O	Extrusión	Mas de 5.000	31	12	12	19	10,400
-H111	Extrusión	Mas de 5.000	33	19	16	20	10,400
-H111	Extrusión	0.501 a 5.000	33	19	16	19	10,400
-H112	Extrusión	Mas de 5.000	31	12	13	19	10,400
-O	Láminas #Planchas	0.020 a 3.000	31	12	12	19	10,400
-H32	Láminas #Planchas	0.020 a 2.000	36	26	24	21	10,400
-H34	Láminas #Planchas	0.020 a 1.000	39	29	27	23	10,400
5456-O	Láminas #Planchas	0.051 a 1.500	42	19	19	26	10,400
-H116	Láminas #Planchas	0.188 a 1.250	46	33	27	27	10,400
-H32,H321	Láminas #Planchas	0.188 a 1.250	46	33	27	27	10,400
-H116	Plancha	1.251 a 1.500	44	31	25	25	10,400
-H32,H321	Plancha	1.251 a 1.500	44	31	25	25	10,400
-H116	Plancha	1.501 a 3.000	41	29	25	25	10,400
-H32,H321	Plancha	1.501 a 3.000	41	29	25	25	10,400
6005-T5	Extrusión	Mas de 1.000	38	35	35	24	10,100
6061-T6,T651	Láminas #Planchas	0.010 a 4.000	42	35	35	27	10,100
-T6,T6510,T6511	Extrusión	Todos	38	35	35	24	10,100
-T6,T651	Acab. fro. vanilla	Mas de 8.000	42	35	35	25	10,100
-T6	Tubo trefilado	0.025 a 0.500	42	35	35	27	10,100
-T6	Tubo	Todos	38	35	35	24	10,100
6063-T5	Extrusión	Mas de 0.500	22	16	16	13	10,100
-T52	Extrusión	Mas de 1.000	22	16	16	13	10,100
-T5	Extrusión	0.500 a 1.000	21	15	15	12	10,100
-T6	Extrusión #Tubo	Todos	30	25	25	19	10,100
6066-T6,T6510,T6511	Extrusión	Todos	50	45	45	27	10,100
6070-T6,T62	Extrusión	Mas de 2.999	48	45	45	29	10,100
6105-T5	Extrusión	Mas de 0.500	38	35	35	24	10,100
6351-T5	Extrusión	Mas de 1.000	38	35	35	24	10,100
6351-T6	Extrusión	Mas de 0.750	42	37	37	27	10,100
6463-T6	Extrusión	Mas de 0.500	30	25	25	19	10,100
7005-T53	Extrusión	Mas de 0.750	50	44	43	28	10,500

1. F<sub>u</sub> y F<sub>y</sub> son valores mínimos especificados (excepto F<sub>ty</sub> para 1100-H12, H14 vanillas acabadas en Frío y barras y tubos estirados, Alclad 3003-H18 Láminas y 5050-H32, H34 vanillas acabadas en frío y barras las cuales tienen valores esperados mínimos); otras propiedades de resistencias corresponde a valores mínimos esperados.
2. Valores típicos. Para el cálculo de deflexión se usa un promedio del modulo de elasticidad ; esto es 100Ksi menor que los valores en esta columna.



Tabla 3.3-1M<sup>161</sup>  
Propiedades Mecánicas Mínimas para Aleaciones de Aluminio

Aleación y Templado	Producto	Espesores Rango mm	F <sub>tu</sub> MPa	F <sub>ty</sub> MPa	F <sub>cy</sub> MPa	F <sub>su</sub> MPa	Compresión Módulo de Elasticidad <sup>2</sup> E (MPa)
1100-H12	(Lámina, Plancha, Tubo trefilado	Todos	95	75	70	62	69,600
-H14	varilla roladas & Barras)	Todos	110	95	90	70	69,600
2014-T6	Láminas	1.00 a 6.30	455	400	405	275	75,200
-T651	Planchas	6.30 a 50.00	460	405	400	275	75,200
-T6-	Extrusiones	Todos	415	365	360	240	75,200
T6510,T6511	Varilla y barras	Todos	450	380	365	260	75,200
-T6,T651	acabado en frío, tubo trefilado						
Alclad							
2014-T6	Lámina	0.63 a 1.00	435	380	385	260	74,500
-T6	Lámina	1.00 a 6.30	440	395	400	270	74,500
-T651	Plancha	6.30 a 12.50	440	395	385	270	74,500
3003-H12	Lámina & Plancha	0.40 a 50.00	120	85	70	75	69,600
-H14	Lámina & Plancha	0.20 a 25.00	140	115	95	85	69,600
-H16	Lámina	0.15 a 4.00	165	145	125	95	69,600
-H18	Lámina	0.15 a 3.20	185	165	140	105	69,600
-H12	Tubo trefilado	Todos	120	85	75	75	69,600
-H14	Tubo trefilado	Todos	140	115	110	85	69,600
-H16	Tubo trefilado	Todos	165	145	130	95	69,600
-H18	Tubo trefilado	Todos	185	165	145	105	69,600
Alclad							
3003-H12	Lámina & Plancha	0.40 a 50.00	115	80	62	70	69,600
-H14	Lámina & Plancha	0.20 a 25.00	135	110	90	85	69,600
-H16	Lámina	0.15 a 4.00	160	140	115	95	69,600
-H18	Lámina	0.15 a 3.20	180	160	130	105	69,600
-H14	Tubo trefilado	0.63 a 6.30	135	110	105	85	69,600
-H18	Tubo trefilado	0.25 a 12.50	180	160	140	105	69,600
3004-H32	Lámina & Plancha	0.40 a 50.00	190	145	125	115	69,600
-H34	Lámina & Plancha	0.20 a 25.00	220	170	150	130	69,600
-H36	Lámina	0.15 a 4.00	240	190	170	140	69,600
-H38	Lámina	0.15 a 3.20	260	215	200	145	69,600
-H34	Tubo trefilado	0.45 a 11.50	220	170	165	130	69,600
-H36	Tubo trefilado	0.45 a 11.50	240	190	185	140	69,600
Alclad							
3004-H32	Lámina	0.40 a 6.30	185	140	115	110	69,600
-H34	Lámina	0.20 a 6.30	215	165	145	125	69,600
-H36	Lámina	0.15 a 4.00	235	185	165	130	69,600
-H38	Lámina	0.15 a 3.20	255	205	195	145	69,600
-H131,H241, -H341	Lámina	0.60 a 1.20	215	180	150	125	69,600
-H151,H261, -H361	Lámina	0.60 a 1.20	235	205	195	130	69,600
3005-H25	Lámina	0.32 a 1.20	180	150	140	105	69,600
-H28	Lámina	0.15 a 2.00	215	185	170	115	69,600
3105-H25	Lámina	0.32 a 2.00	160	130	115	95	69,600

Para todas las notas a pie de página, ver la última página de esta Tabla

<sup>161</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-17



Continuación Tabla 3.3-1M  
Propiedades Mecánicas Mínimas para Aleaciones de Aluminio

Aleación y Templado	Producto	Espesores Rango mm	F <sub>tu</sub> MPa	F <sub>ty</sub> Mpa	F <sub>cy</sub> Mpa	F <sub>su</sub> Mpa	Compresión Módulo de Elasticidad <sup>2</sup> E (MPa)
5005-H12	Lámina & Plancha	0.40 a 50.00	125	95	90	75	69,600
-H14	Lámina & Plancha	0.20 a 25.00	145	115	105	85	69,600
-H16	Lámina	0.15 a 4.00	165	135	125	95	69,600
-H32	Lámina & Plancha	0.40 a 50.00	120	85	75	75	69,600
-H34	Lámina & Plancha	0.20 a 25.00	140	105	95	85	69,600
-H36	Lámina	0.15 a 4.00	160	125	110	90	69,600
5050-H32	Lámina	0.40 a 6.30	150	110	95	95	69,600
-H34	Lámina	0.20 a 6.30	170	140	125	105	69,600
-H32	Acabado en frío varilla,tubo trefilado	Todos	150	110	105	90	69,600
-H34	Barra, tubo trefilado	Todos	170	140	130	105	69,600
5052-O	Láminas & Planchas	0.15 a 80.00	170	65	66	110	70,300
-H32	Láminas & Planchas	Todos	215	160	145	130	70,300
-H34	Acabado en frío Tubo trefilado	Todos	235	180	165	140	70,300
-H36	Lámina	0.15 a 4.00	255	200	180	150	70,300
5083-O	Extrusión	Mas de 13.00	270	110	110	165	71,700
-H111	Extrusión	Mas de 12.70	275	165	145	165	71,700
-H111	Extrusión	12.70 a 130.00	275	165	145	160	71,700
-O	Láminas & Planchas	1.20 a 6.30	275	125	125	170	71,700
-H116	Láminas & Planchas	4.00 a 40.00	305	215	180	180	71,700
-	Láminas & Planchas	4.00 a 40.00	305	215	180	180	71,700
H32,H321	Planchas	40.00 a 80.00	285	200	165	165	71,700
-H116	Planchas	40.00 a 80.00	285	200	165	165	71,700
H32,H321							
5086-O	Extrusión	Mas de 130.00	240	95	95	145	71,700
-H111	Extrusión	Mas de 12.70	250	145	125	145	71,700
-H111	Extrusión	12.70 a 130.00	250	145	125	145	71,700
-O	Láminas & Planchas	0.50 a 50.00	240	95	95	145	71,700
-H112	Plancha	4.00 a 12.50	250	125	115	150	71,700
-H112	Plancha	12.50 a 40.00	240	105	110	145	71,700
-H112	Plancha	40.00 a 80.00	235	95	105	145	71,700
-H116	Láminas & Planchas	1.60 a 50.00	275	195	180	165	71,700
-H32	Láminas & Planchas Tubo trefilado	Todos	275	195	180	165	71,700
-H34	Láminas & Planchas Tubo trefilado	Todos	300	235	220	180	71,700
5154-H38	Lámina	0.15 a 3.20	310	240	230	165	71,700

Para todas las notas a pie de página, ver la última página de esta Tabla



Continuación Tabla 3.3-1M  
Propiedades Mecánicas Mínimas para Aleaciones de Aluminio

Aleación y Templado	Producto	Espesores Rango mm	F <sub>tu</sub> MPa	F <sub>ty</sub> Mpa	F <sub>cy</sub> Mpa	F <sub>su</sub> Mpa	Compresión Módulo de Elasticidad <sup>2</sup> E (MPa)
5454-O	Extrusión	Más de 130.00	215	85	85	130	71,700
-H111	Extrusión	Más de 12.70	230	130	110	140	71,700
-H111	Extrusión	12.70 a 130.00	230	130	110	130	71,700
-H112	Extrusión	Más de 130.00	215	85	90	130	71,700
-O	Láminas #Planchas	0.50 a 80.00	215	85	85	130	71,700
-H32	Láminas #Planchas	0.50 a 50.00	250	180	165	145	71,700
-H34	Láminas #Planchas	0.50 a 25.00	270	200	185	160	71,700
5456-O	Láminas #Planchas	1.20 a 6.30	290	130	130	180	71,700
-H116	Láminas #Planchas	4.00 a 12.50	315	230	185	185	71,700
-H32,H321	Láminas #Planchas	4.00 a 12.50	315	230	185	185	71,700
-H116	Plancha	12.50 a 40.00	305	215	170	170	71,700
-H32,H321	Plancha	12.50 a 40.00	305	215	170	170	71,700
-H116	Plancha	40.00 a 80.00	285	200	170	170	71,700
-H32,H321	Plancha	40.00 a 80.00	285	200	170	170	71,700
6005-T5	Extrusión	Más de 25	260	240	240	165	69,600
6061-T6,T651	Láminas #Planchas	0.25 a 100.00	290	240	240	185	69,600
-T6,T6510,T6511	Extrusión	Todos	260	240	240	165	69,600
-T6,T651	Acab. Frío varillas	Mas de 200	290	240	240	170	69,600
-T6	Tubo trefilado	0.63 a 12.50	290	240	240	185	69,600
-T6	Tubo	Todos	260	240	240	165	69,600
6063-T5	Extrusión	Más de 12.50	150	110	110	90	69,600
-T52	Extrusión	Más de 25.00	150	110	110	90	69,600
-T5	Extrusión	12.50 a 25.00	145	105	105	85	69,600
-T6	Extrusión #Tubo	Todos	205	170	170	130	69,600
6066-T6,T6510,T6511	Extrusión	Todos	345	310	310	185	69,600
6070-T6,T62	Extrusión	Mas de 80.00	330	310	310	200	69,600
6105-T5	Extrusión	Mas de 12.50	260	240	240	165	69,600
6351-T5	Extrusión	Mas de 25.00	260	240	240	165	69,600
6351-T6	Extrusión	Mas de 20.00	290	255	255	185	69,600
6463-T6	Extrusión	Mas de 12.50	205	170	170	130	69,600
7005-T53	Extrusión	Mas de 20.00	345	305	295	195	72,400

1. F<sub>u</sub> y F<sub>y</sub> son valores mínimos especificados (excepto F<sub>ty</sub> para 1100-H12, H14 varillas acabadas en Frío y barras y tubos estirados, Alclad 3003-H18 Láminas y 5050-H32, H34 varillas acabadas en frío y barras las cuales tienen valores esperados mínimos); otras propiedades de resistencias corresponde a valores mínimos esperados.
2. Valores típicos. Para el cálculo de deflexión se usa un promedio del módulo de elasticidad ; esto es 700MPa menor que los valores en esta columna.



Tabla 3.3-2<sup>162</sup>

Propiedades mecánicas mínimas para aleaciones soldadas de aluminio

Aleación y templeado	Producto	Rango Espesor pulgadas	Tracción		Compresión	Corte
			F <sub>tuw</sub> <sup>1</sup> Ksi	F <sub>tyw</sub> <sup>2</sup> Ksi	F <sub>oyw</sub> <sup>2</sup> Ksi	F <sub>suw</sub> Ksi
1100-H12,H14	Todos		11	3.5	3.5	8
3003-H12,H14,H16,H18	Todos		14	5	5	10
Aldad						
3003-H12,H14,H16,H18	Todos		13	4.5	4.5	10
3004-H32,H34,H36,H38	Todos		22	8.5	8.5	14
Aldad						
3004-H32,H34,H36,H38	Todos		21	8	8	13
3005-H25	Lámina		17	6.5	6.5	12
5005-H12,H14,H32,H34	Todos		15	5	5	9
5050-H32,H34	Todos		18	6	6	12
5052-O, H32,H34	Todos		25	9.5	9.5	16
5083-O,H111	Extrusiones		39	16	15	23
5083-O,H116,H32,H321	Láminas & Planchas	0.1888-1.50	40	18	18	24
5083-O,H116,H32,H321	Planchas	1.501-3.00	39	17	17	24
5086-O,H111	Extrusión		35	14	13	21
5086-H112	Plancha	-0.250-2.00	35	14	14	21
5086-O,H32,H34,H116	Láminas & Planchas		35	14	14	21
5154-H38	Láminas		30	11	11	19
5454-O,H111	Extrusión		31	12	11	19
5454-H112	Extrusión		31	12	12	19
5454-O,H32,H34	Láminas & Planchas		31	12	12	19
5456-O,H116,H32,H321	Láminas & Planchas	0.1888-1.50	42	19	18	25
5456-O,H116,H32,H321	Planchas	1.501-3.00	41	18	17	25
6005-T5	Extrusión	Mayor a 0.25	24	13	13	15
6061-	Todos		24	15	15	15
T6,T651,T6510,T6511 <sup>3</sup>						
6061-	Todos	Sobre 10.375	24	11	11	15
T6,T651,T6510,T6511 <sup>4</sup>						
6063-T5,T52,T6	Todos		17	8	8	11
6351-T5,T6 <sup>3</sup>	Extrusión		24	15	15	15
6351-T5,T6 <sup>4</sup>	Extrusión	Sobre 0.375	24	11	11	15
6463-T6	Extrusión	0.125-0.50	17	8	8	11
7005-T53	Extrusión	Mayor a 0.75	40	24	24	22

1. Alambres de relleno están indicadas en la Tabla 7.1-1. Los valores de F<sub>tuw</sub> son los valores de clasificación de soldadura según AWS D1.2
2. 0.2% compensar en 2 pulgadas en la longitud a través de la soldadura de ranura
3. Valores cuando se suelda con aleaciones de alambres de relleno 5183,5356 o 5556 indiferente del espesor. Los valores también son aplicados a espesores menores que o igual a 0.375 pulgadas, cuando se suelda con aleaciones de alambre de relleno 4043,5554 o 5654.
4. Valores cuando se suelda con aleaciones de alambres de relleno 4043,5554 o 5654.

<sup>162</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-19



Tabla 3.3-2M<sup>163</sup>

Propiedades mecánicas mínimas para aleaciones soldadas de aluminio

Aleación y templeado	Producto	Rango Espesor mm	Tracción		Compresión	Corte
			F <sub>bw</sub> <sup>1</sup> MPa	F <sub>byw</sub> <sup>2</sup> MPa	F <sub>cyw</sub> <sup>2</sup> MPa	F <sub>suw</sub> MPa
1100-H12,H14	Todos		75	25	25	55
3003-H12,H14,H16,H18	Todos		95	35	35	70
Alclad						
3003-H12,H14,H16,H18	Todos		90	30	30	70
3004-H32,H34,H36,H38	Todos		150	60	60	95
Alclad						
3004-H32,H34,H36,H38	Todos		145	55	55	90
3005-H25	Lámina		115	45	45	85
5005-H12,H14,H32,H34	Todos		105	35	35	62
5050-H32,H34	Todos		125	40	40	85
5052-O, H32,H34	Todos		170	65	65	110
5083-O,H111	Extrusiones		270	110	110	160
5083-O,H116,H32,H321	Láminas & Planchas	6.30-38.00	270	115	115	165
5083-O,H116,H32,H321	Planchas	38.00-80.00	270	115	115	165
5086-O,H111	Extrusión		240	95	85	145
5086-H112	Plancha	6.30-50.00	240	95	95	145
5086-O,H32,H34,H116	Láminas & Planchas		240	95	95	145
5154-H38	Láminas		205	75	75	130
5454-O,H111	Extrusión		215	85	85	130
5454-H112	Extrusión		215	85	85	130
5454-O,H32,H34	Láminas & Planchas		215	85	85	130
5456-O,H116,H32,H321	Láminas & Planchas	6.30-38.00	285	125	125	170
5456-O,H116,H32,H321	Planchas	38.00-80.00	285	125	120	170
6005-T5	Extrusión	Más de 12.50	165	90	90	105
6061- T6,T651,T6510,T6511 <sup>3</sup>	Todos		165	105	105	105
6061- T6,T651,T6510,T6511 <sup>4</sup>	Todos	Sobre 19.50	165	80	80	105
6063-T5,T52,T6	Todos		115	55	55	75
6351-T5,T6 <sup>3</sup>	Extrusión		165	105	105	105
6351-T5,T6 <sup>4</sup>	Extrusión	Sobre 9.50	165	80	80	105
6463-T6	Extrusión	3.20-12.50	115	55	55	75
7005-T53	Extrusión	Más de 20.00	275	165	165	155

5. Alambres de relleno están indicadas en la Tabla 7.1-1. Los valores de F<sub>bw</sub> son los valores de clasificación de soldadura según AWS D1.2
6. 0.2% compensar en 50mm en la longitud a través de la soldadura de ranura
7. Valores cuando se suelda con aleaciones de alambres de relleno 5183,5356 o 5556 indiferente del espesor. Los valores también son aplicados a espesores menores que o igual a 0.375 pulgadas, cuando se suelda con aleaciones de alambre de relleno 4043,5554 o 5654.
8. Valores cuando se suelda con aleaciones de alambres de relleno 4043,5554 o 5654.

<sup>163</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-20

Tabla 3.3-3<sup>164</sup>

Fórmulas para constantes de Pandeo para productos cuya designación por templado comienza con -O,-H,-T1,-T2,-T3, o -T4

Tipo de miembro y esfuerzo	Interceptar ksi	Interceptar MPa	Pendiente	Intersección
Compresión en Columnas y Alas de Vigas	$B_c = F_{cy} [1 + (\frac{F_{cy}}{1000})^{1/2}]$	$B_c = F_{cy} [1 + (\frac{F_{cy}}{6900})^{1/2}]$	$D_c = \frac{B_c}{20} (\frac{6B_c}{E})^{1/2}$	$C_c = \frac{2B_c}{3D_c}$
Compresión axial en elementos planos	$B_p = F_{cy} [1 + \frac{(F_{cy})^{1/3}}{7.6}]$	$B_p = F_{cy} [1 + \frac{(F_{cy})^{1/3}}{14.5}]$	$D_p = \frac{B_p}{20} (\frac{6B_p}{E})^{1/2}$	$C_p = \frac{2B_p}{3D_p}$
Compresión axial en elementos curvados	$B_t = F_{cy} [1 + \frac{(F_{cy})^{1/5}}{5.8}]$	$B_t = F_{cy} [1 + \frac{(F_{cy})^{1/5}}{8.5}]$	$D_t = \frac{B_t}{3.7} (\frac{B_t}{E})^{1/3}$	$C_t^*$
Flexo compresión en elementos planos	$B_{br} = 1.3F_{cy} [1 + \frac{(F_{cy})^{1/3}}{7}]$	$B_{br} = 1.3F_{cy} [1 + \frac{(F_{cy})^{1/3}}{13.3}]$	$D_{br} = \frac{B_{br}}{20} (\frac{6B_{br}}{E})^{1/2}$	$C_{br} = \frac{2B_{br}}{3D_{br}}$
Flexo compresión en elementos curvados	$B_{tb} = 1.5F_y [1 + \frac{(F_y)^{1/5}}{5.8}]$	$B_{tb} = 1.5F_y [1 + \frac{(F_y)^{1/5}}{8.5}]$	$D_{tb} = \frac{B_{tb}}{2.7} (\frac{B_{tb}}{E})^{1/3}$	$C_{tb} = (\frac{B_{tb} - B_t}{D_{tb} - D_t})^2$
Cortante en elementos planos	$B_s = \frac{F_{ty}}{\sqrt{3}} [1 + \frac{(F_{ty}/\sqrt{3})^{1/3}}{6.2}]$	$B_s = \frac{F_{ty}}{\sqrt{3}} [1 + \frac{(F_{ty}/\sqrt{3})^{1/3}}{11.8}]$	$D_s = \frac{B_s}{20} (\frac{6B_s}{E})^{1/2}$	$C_s = \frac{2B_s}{3D_s}$
Esfuerzo último de elementos planos en compresión o flexión	$k_1 = 0.5$ $k_2 = 2.04$			

<sup>164</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-21



Tabla 3.3-4<sup>165</sup>

Fórmulas para la constante de Pandeo para productos cuya designación por Templado comience con -T5,-T6,-T7,-T8, o -T9

Tipo de miembro y esfuerzo	Interceptar ksi	Interceptar MPa	Pendiente	Intersección
Compresión en Columnas y Alas de Vigas	$B_c = F_{cy}[1 + (\frac{F_{cy}}{2250})^{1/2}]$	$B_c = F_{cy}[1 + (\frac{F_{cy}}{15510})^{1/2}]$	$D_c = \frac{B_c}{10} (\frac{B_c}{E})^{1/2}$	$C_c = 0.41 \frac{B_c}{D_c}$
Compresión axial en elementos planos	$B_p = F_{cy}[1 + \frac{(F_{cy})^{1/3}}{11.4}]$	$B_p = F_{cy}[1 + \frac{(F_{cy})^{1/3}}{21.7}]$	$D_p = \frac{B_p}{10} (\frac{B_p}{E})^{1/2}$	$C_p = 0.41 \frac{B_p}{D_p}$
Compresión axial en elementos curvados	$B_t = F_{cy}[1 + \frac{(F_{cy})^{1/5}}{8.7}]$	$B_t = F_{cy}[1 + \frac{(F_{cy})^{1/5}}{12.8}]$	$D_t = \frac{B_t}{4.5} (\frac{B_t}{E})^{1/3}$	$C_t^*$
Flexo compresión en elementos planos	$B_{br} = 1.3F_{cy}[1 + \frac{(F_{cy})^{1/3}}{7}]$	$B_{br} = 1.3F_{cy}[1 + \frac{(F_{cy})^{1/3}}{13.3}]$	$D_{br} = \frac{B_{br}}{20} (\frac{6B_{br}}{E})^{1/2}$	$C_{br} = \frac{2B_{br}}{3D_{br}}$
Flexo compresión en elementos curvados	$B_{tb} = 1.5F_y[1 + \frac{(F_y)^{1/5}}{8.7}]$	$B_{tb} = 1.5F_y[1 + \frac{(F_y)^{1/5}}{12.8}]$	$D_{tb} = \frac{B_{tb}}{2.7} (\frac{B_{tb}}{E})^{1/3}$	$C_{tb} = (\frac{B_{tb} - B_t}{D_{tb} - D_t})^2$
Cortante en elementos planos	$B_s = \frac{F_{ty}}{\sqrt{3}} [1 + \frac{(F_{ty}/\sqrt{3})^{1/3}}{9.3}]$	$B_s = \frac{F_{ty}}{\sqrt{3}} [1 + \frac{(F_{ty}/\sqrt{3})^{1/3}}{17.7}]$	$D_s = \frac{B_s}{10} (\frac{B_s}{E})^{1/2}$	$C_s = 0.41 \frac{B_s}{D_s}$
Esfuerzo último de elementos planos en compresión	$k_1 = 0.35 \quad k_2 = 2.27$			
Esfuerzo último de elementos planos en flexión	$k_1 = 0.50 \quad k_2 = 2.04$			

\*C<sub>t</sub> debe ser determinada usando un ploteador de curvas de esfuerzos de estado límite basado en pandeo elástico y no elástico o por soluciones de errores y ensayos.

<sup>165</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-22



Tabla 3.4-1<sup>166</sup>  
Factores de Resistencia comúnmente usados

Factor de Resistencia	Valor	Estado Limite Aplicable
$\phi_y$	0.95	Fluencia general
$\phi_b$	0.85	Vigas o elementos de vigas
$\phi_c$	0.85	Elementos de columnas
$\phi_u^*$	0.85	Ultimo
$\phi_{cc}$	$1 - 0.21\lambda \leq 0.95$ para $\lambda \leq 1.2$ $0.14\lambda + 0.58 \leq 0.95$ para $\lambda > 1.2$	Columnas
$\phi_{cp}$	0.8	Pandeo elástico de tubos
$\phi_v$	0.8	Pandeo elástico de corte
$\phi_{vp}$	0.9	Pandeo inelástico de corte
$\phi_w$	0.9	Onda de inestabilidad

\*Ver sección 3.4.2 para excepciones

Otros Factores de Resistencia para conexiones están en el ADM.

Tabla 3.4-2<sup>167</sup>  
COEFICIENTE  $k_t$

Aleación y Templado	No soldada o regiones mas alejadas que 1.0 pulg. (25mm) de una soldadura	Región dentro de 1.0 pulg. (25mm) de una soldadura
2014-T6, -T651-T6510-T6511, Duraluminio 2014-T6, -T651	1.25	—
6066-T6, -T6510, -T6511	1.1	—
6070-T6, -T62	1.1	—
Todos los demás listados en la Tabla 3.3-1	1.0	1.0

$k_t$  es usado en la sección 3.4.1, 3.4.2, 3.4.3 y 3.4.4.

<sup>166</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-23

<sup>167</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-23

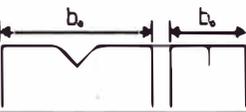
Tipo de Esfuerzo	Tipo de Miembro o Elemento	Sub-Sec.	Esfuerzo de diseño	<p>Tabla 3.4.3<sup>168</sup>                      Fórmulas generales para                      Determinar el esfuerzo de Diseño                      Para la sección 3.4</p>
Tracción , axial	Cualquier miembro en Tracción Área Total Área Neta	1	$\phi_y F_{ty}$ $\phi_u F_{tu} / k_t$	
Tracción en Vigas, Fibra extrema Sección neta	Elementos planos tracción uniforme (alas)	2	$\phi_y F_{ty}$ o $\phi_u F_{tu} / k_t$	
	Tubos circulares u ovalados 	3	$1.17\phi_y F_{ty}$ o $1.24\phi_u F_{tu} / k_t$	
	Elementos planos pandeados en sus propios planos (almas)	4	Para perfiles simétricos: $1.3\phi_y F_{ty}$ o $1.42\phi_u F_{tu} / k_t$ Para perfiles asimétricos Ver sección 3.4.4	
Apoyo	Sobre remaches y pernos	5	$2\phi_u F_{tu}$	
	Sobre superficies planas y pasadores y sobre pernos en agujeros ranurados	6	$2\phi_u F_{tu} / 1.5$	

Para tubos con soldaduras circunferenciales, las ecuaciones 3.4.10, 3.4.12 y 3.4.16.1 se aplica para  $R_b / t \leq 20$

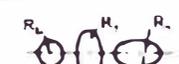
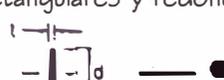
<sup>168</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-24

Continuación Tabla 3.4.3 Fórmulas generales para Determinar el esfuerzo de Diseño Para la sección 3.4							
Tipo de esfuerzo	Tipo de Miembro o Elemento	Sub-Sec.	Esfuerzo Diseño $S \leq S_1$	Límite de esbeltez $S_1$	Esfuerzo de diseño $S_1 < S < S_2$	Límite de esbeltez $S_2$	Esfuerzo de diseño $S \geq S_2$
Compresión en Columnas, Axial ,área Total	Todas las columnas	7	Ver sección 3.4.7				
Compresión en Elementos tipo Columnas Área Total	Elementos planos soportados sobre un borde- pandeo de columnas sobre un eje Simétrico 	8	$\phi_y F_{cy}$	$\frac{b}{t} = \frac{B_p - \frac{\phi_y F_{cy}}{\phi_c}}{5.1 D_p}$	$\phi_c (B_p - 5.1 D_p \frac{b}{t})$	$\frac{b}{t} = \frac{k_1 B_p}{5.1 D_p}$	$\frac{\phi_c k_2 \sqrt{B_p E}}{5.1 \frac{b}{t}}$
	Elementos planos soportados sobre un borde -pandeo de columnas sobre un eje no simétrico 	8.1	$\phi_y F_{cy}$	$\frac{b}{t} = \frac{B_p - \frac{\phi_y F_{cy}}{\phi_c}}{5.1 D_p}$	$\phi_c (B_p - 5.1 D_p \frac{b}{t})$	$\frac{b}{t} = \frac{C_p}{5.1}$	$\frac{\phi_c \pi^2 E}{(5.1 \frac{b}{t})^2}$
	Elementos planos soportados sobre ambos bordes 	9	$\phi_y F_{cy}$	$\frac{b}{t} = \frac{B_p - \frac{\phi_y F_{cy}}{\phi_c}}{1.6 D_p}$	$\phi_c (B_p - 1.6 D_p \frac{b}{t})$	$\frac{b}{t} = \frac{k_1 B_p}{1.6 D_p}$	$\frac{\phi_c k_2 \sqrt{B_p E}}{1.6 \frac{b}{t}}$

Continuación Tabla 3.4.3 Fórmulas generales para Determinar el esfuerzo de Diseño Para la sección 3.4

Tipo de esfuerzo	Tipo de Miembro o Elemento	Sub-Sec.	Esfuerzo Diseño $S \leq S_1$	Límite de esbeltez $S_1$	Esfuerzo de diseño $S_1 < S < S_2$	Límite de esbeltez $S_2$	Esfuerzo de diseño $S \geq S_2$
Compresión en Elementos tipo Columnas Área Total	Elementos planos soportados sobre un borde y con atiesador sobre otro borde 	9.1	Ver sección 3.4.9.1				
	Elementos planos soportados sobre ambos bordes y con un atiesador intermedio 	9.2	Ver sección 3.4.9.2				
	Elementos curvos soportados sobre ambos bordes 	10	$\phi_y F_{cy}$	$\frac{R_b}{t} = \frac{(B_t - \frac{\phi_y F_{cy}}{\phi_c})^2}{D_t^2}$	$\phi_c (B_t - D_t \sqrt{\frac{R_b}{t}})$	Ver 3.4.10	$\frac{\phi_{cp} \pi^2 E}{16 (\frac{R_b}{t}) (1 + \frac{\sqrt{R_b/t}}{35})^2}$

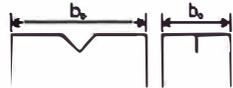
Continuación Tabla 3.4.3 Fórmulas generales para Determinar el esfuerzo de Diseño Para la sección 3.4

Tipo de esfuerzo	Tipo de Miembro o Elemento	Sub-Sec.	Esfuerzo Diseño $S \leq S_1$	Límite de esbeltez $S_1$	Esfuerzo de diseño $S_1 < S < S_2$	Límite de esbeltez $S_2$	Esfuerzo de diseño $S \geq S_2$
Compresión en vigas, Fibra extrema, Area Total	Perfiles con alma simple 	11	$\phi_y F_{cy}$	$\frac{L_b}{r_y \sqrt{C_b}} = \frac{1.2(B_c - \frac{\phi_y F_{cy}}{\phi_b})}{D_c}$	$\phi_b (B_c - \frac{D_c L_b}{1.2 r_y \sqrt{C_b}})$	$\frac{L_b}{r_y \sqrt{C_b}} = 1.2 C_c$	$\frac{\phi_b \pi^2 E C_b}{(\frac{L_b}{1.2 r_y})^2}$
	Tubos redondos u ovalados 	12	$1.17 \phi_y F_{cy}$	$\frac{R_b}{t} = \frac{[B_{ib} - 1.17(\frac{\phi_y F_{cy}}{\phi_b})]^2}{D_{ib}^2}$	$\phi_b (B_{ib} - D_{ib} \sqrt{\frac{R_b}{t}})$	$\frac{R_b}{t} = \frac{[B_{ib} - (\frac{\phi_c}{\phi_b}) B_i]^2}{[D_{ib} - (\frac{\phi_c}{\phi_b}) D_i]^2}$	Igual como Sección 3.4.10
	Secciones sólidas rectangulares y redondas 	13	$1.3 \phi_y F_{cy}$	$\frac{d}{t} \sqrt{\frac{L_b}{C_b d}} = \frac{[B_{br} - 1.3(\frac{\phi_y F_{cy}}{\phi_b})]}{2.3 D_{br}}$	$\phi_b (B_{br} - 2.3 D_{br} \frac{d}{t} \sqrt{\frac{L_b}{C_b d}})$	$\frac{d}{t} \sqrt{\frac{L_b}{C_b d}} = \frac{C_{br}}{2.3}$	$\frac{\phi_b \pi^2 E C_b}{5.29 (\frac{d}{t})^2 \frac{L_b}{d}}$
	Perfiles Tubulares 	14	$\phi_y F_{cy}$	$\frac{L_b S_c}{C_b \sqrt{\frac{I_y J}{2}}} = \frac{[B_c - (\frac{\phi_y F_{cy}}{\phi_b})]^2}{1.6 D_c^2}$	$\phi_b (B_c - 1.6 D_c \sqrt{\frac{L_b S_c}{C_b \sqrt{\frac{I_y J}{2}}}})$	$\frac{L_b S_c}{C_b \sqrt{\frac{I_y J}{2}}} = \frac{C_c^2}{1.6^2}$	$\frac{\phi_b \pi^2 E}{2.56 (\frac{L_b S_c}{C_b \sqrt{\frac{I_y J}{2}}})^2}$
Compresión en elementos tipo viga, (elemento en compresión uniforme) Area Total	Elemento plano soportado sobre un borde 	15	$\phi_y F_{cy}$	$\frac{b}{t} = \frac{B_p - (\frac{\phi_y F_{cy}}{\phi_b})}{5.1 D_p}$	$\phi_b (B_p - 5.1 D_p \frac{b}{t})$	$\frac{b}{t} = \frac{k_1 B_p}{5.1 D_p}$	$\frac{\phi_b k_2 \sqrt{B_p E}}{5.1 \frac{b}{t}}$

Continuación Tabla 3.4.3 Fórmulas generales para Determinar el esfuerzo de Diseño Para la sección 3.4

Tipo de esfuerzo	Tipo de Miembro o Elemento	Sub-Sec.	Esfuerzo Diseño $S \leq S_1$	Límite de esbeltez $S_1$	Esfuerzo de diseño $S_1 < S < S_2$	Límite de esbeltez $S_2$	Esfuerzo de diseño $S \geq S_2$
Compresión en elementos tipo viga, (elemento en compresión uniforme ) Area Total	Elemento plano soportado sobre ambos bordes 	16	$\phi_y F_{cy}$	$\frac{b}{t} = \frac{B_p - (\frac{\phi_y F_{cy}}{\phi_b})}{1.6D_p}$	$\phi_b (B_p - 1.6D_p \frac{b}{t})$	$\frac{b}{t} = \frac{k_1 B_p}{1.6D_p}$	$\frac{\phi_b k_2 \sqrt{B_p E}}{1.6 \frac{b}{t}}$
	Elemento curvado soportado en ambos bordes 	16.1	$1.17 \phi_y F_{cy}$	$\frac{R_b}{t} = \frac{[B_t - 1.17(\frac{\phi_y F_{cy}}{\phi_b})]^2}{D_t^2}$	$\phi_b (B_t - D_t \sqrt{\frac{R_b}{t}})$	$\frac{R_b}{t} = C_t$	$\frac{\phi_{cp} \pi^2 E}{16(\frac{R_b}{t})(1 + \frac{\sqrt{\frac{R_b}{t}}}{35})^2}$
	Elemento plano soportado sobre un borde y con atiesador sobre el otro borde 	16.2	Ver sección 3.4.16.2				

Continuación Tabla 3.4.3 Fórmulas generales para Determinar el esfuerzo de Diseño Para la sección 3.4

Tipo de esfuerzo	Tipo de Miembro o Elemento	Sub-Sec.	Esfuerzo Diseño $S \leq S_1$	Límite de esbeltez $S_1$	Esfuerzo de diseño $S_1 < S < S_2$	Límite de esbeltez $S_2$	Esfuerzo de diseño $S \geq S_2$
Compresión en elementos tipo viga, (elemento en compresión uniforme ) Area Total	Elemento plano soportado sobre ambos bordes y con un atiesador intermedio. 	16.3	Ver sección 3.4.16.3				
Compresión en elemento tipo viga , (Elemento en flexion en su propio plano), Area Total	Elemento plano soportado sobre un borde en tension , y el borde libre en compresión 	17	$1.3\phi_y F_{cy}$	$\frac{b}{t} = \frac{B_{br} - (\frac{\phi_y}{\phi_b})1.3F_{cy}}{3.5D_{br}}$	$\phi_b [B_{br} - 3.5D_{br} \frac{b}{t}]$	$\frac{b}{t} = \frac{C_{br}}{3.5}$	$\frac{\phi_b \pi^2 E}{(3.5 \frac{b}{t})^2}$
	Elementos planos soportado sobre ambos bordes 	18	$1.3\phi_y F_{cy}$	$\frac{h}{t} = \frac{B_{br} - (\frac{\phi_y}{\phi_b})1.3F_{cy}}{mD_{br}}$	$\phi_b [B_{br} - mD_{br} \frac{h}{t}]$	$\frac{h}{t} = \frac{k_1 B_{br}}{mD_{br}}$	$\frac{\phi_b k_2 \sqrt{B_{br} E}}{m \frac{h}{t}}$
	Elementos planos soportado sobre ambos bordes y con un atiesador longitudinal	19	$1.3\phi_y F_{cy}$	$\frac{h}{t} = \frac{B_{br} - (\frac{\phi_y}{\phi_b})1.3F_{cy}}{0.29D_{br}}$	$\phi_b [B_{br} - 0.29D_{br} \frac{h}{t}]$	$\frac{h}{t} = \frac{k_1 B_{br}}{0.29D_{br}}$	$\frac{\phi_b k_2 \sqrt{B_{br} E}}{0.29 \frac{h}{t}}$

Continuación Tabla 3.4.3 Fórmulas generales para Determinar el esfuerzo de Diseño Para la sección 3.4

Corte en elementos, Area Total	Elementos planos no atiesados soportados sobre ambos bordes 	20	$\frac{\phi_y F_{Ty}}{\sqrt{3}}$	$\frac{h}{t} = \frac{B_s - \phi_y \frac{F_{Ty}}{\phi_{vp} \sqrt{3}}}{1.25 D_s}$	$\phi_{vp} [B_s - 1.25 D_s \frac{h}{t}]$	Ver 3.4.20	$\frac{\phi_v \pi^2 E}{(1.25 \frac{h}{t})^2}$
	Elementos planos atiesados soportados sobre ambos bordes 	21	$\frac{\phi_y F_{Ty}}{\sqrt{3}}$	$\frac{a_e}{t} = \frac{B_s - \frac{\phi_y F_{Ty}}{1.375 \phi_{vp} \sqrt{3}}}{1.25 D_s}$	$1.375 \phi_{vp} [B_s - 1.25 D_s \frac{a_e}{t}]$	Ver 3.4.21	$\frac{1.375 \phi_v \pi^2 E}{(1.25 \frac{a_e}{t})^2}$



Tabla 4.8-1 <sup>169</sup>  
Categoría de Esfuerzo

Condiciones Generales	detalles	Categoría Detalle <sup>(1)</sup>	Detalle Diseño por Fatiga <sup>(2)</sup>
Material Plano	Metal base rolado, extruido, estirados o superficies acabados en frío	A	1,2
Miembros ensamblados	Metal base y metal de soldadura en miembros, sin adherencias, ensamble de placas o perfiles conectados por soldadura de ranura de penetración parcial o total o soldadura de filete continua paralela a la dirección de la fuerza aplicada. Calculo del esfuerzo de flexión $f_b$ , en metal base al pie de la soldadura sobre almas de vigas adyacentes a los atiesadores transversales. Metal base al final de una longitud parcial soldada, planchas cubiertas con extremos cuadrados o extremos adelgazados, con o sin soldadura a través de los extremos.	B C E	3,4,5 6,21 5
Sujetador Mecánico	Metal base en la sección total de la conexión crítica de desplazamiento y en el area neta de la conexión de apoyo, donde la junta de configuración no resulta fuera del plano pandeado en el material conectado y la razón de esfuerzo (la relación del mínimo esfuerzo al máximo esfuerzo) <sup>3</sup> $R_s$ es $R_s \leq 0$ $0 < R_s < 0.5$ $0.5 \leq R_s$  Metal base en la sección total de la conexión crítica de desplazamiento y en el area neta de la conexión de apoyo, donde la junta de configuración resulta fuera del plano pandeado en el material conectado	B D E  E	7 7 7  8
Soldadura de Filete	Metal base y soldadura de filete intermitente  Metal base empalmado a miembros cargados axialmente con conexiones extremas de soldadura de filete. Las soldaduras deben estar dispuestas sobre los ejes de los miembros como para balancear los esfuerzos por soldadura.  Metal de aporte de soldadura continua o intermitente longitudinalmente o con soldadura de filete transversal	E  E  F	15,17  5,15,18

<sup>169</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-47



Continuación Tabla 4.8-1  
Categoría de Esfuerzo

Condiciones Generales	detalles	Categoría Detalle <sup>(1)</sup>	Detalle Diseño por Fatiga <sup>(2)</sup>
Soldadura de ranura	Metal base y metal de aporte con penetración total de soldadura de ranura empalme de piezas de sección transversal similar, esmerilado en la dirección de la fuerza aplicada y con soldadura resistente establecido por inspección de ultrasonido o por radiografía.	B	9,10
	Metal base y metal de aporte con penetración total de soldadura de ranura empalme de transición en el espesor o ancho, con soldaduras con pendientes no mayores que 1 O 2.5, esmerilado en la dirección de fuerzas aplicadas y con soldadura resistente establecido por inspección de ultrasonido o por radiografía.	B	11,12
	Metal base y metal de aporte con penetración total de soldadura de ranura con o sin empalme de transición con pendientes no mayores que 1 O 2.5 , Cuando el refuerzo no es removido y/o con soldadura resistente no establecido por inspección de ultrasonido o por radiografía.	C	9,10,11,12
	Metal base y metal de aporte con penetración total de soldadura de ranura con apoyo permanente	E	22



Continuación Tabla 4.8-1  
Categoría de Esfuerzo

Condiciones Generales	detalles	Categoría Detalle <sup>(1)</sup>	Detalle Diseño por Fatiga <sup>(2)</sup>
Uniones	<p>Detalle de metal base de cualquier longitud por soldadura de ranura sujeto a una carga transversal y/o longitudinal, cuando el detalle incorpora un radio de transición R, no menor que 2 pulg. (50 mm) y con la soldadura terminada pulida:  <math>R \geq 24</math> pulg. (610 mm)  <math>24 \text{ pulg.} &gt; R \geq 6 \text{ pulg.}</math> (150 mm)  <math>6 \text{ pulg.} &gt; R \geq 2 \text{ pulg.}</math> (50 mm)</p> <p>Metal base y con detalle de unión por soldadura de ranura o soldadura de filete, donde la dimensión de detalle paralelo a la dirección del esfuerzo, <math>a</math>, es menor que 2 pulg. (50 mm)</p> <p>Metal base con detalle de unión por soldadura de ranura o soldadura de filete sujeto a una carga longitudinal, con radio de transición, si cualquiera es menor que 2 pulg. (50 mm).</p> <p><math>2 \text{ pulg. (50 mm)} \leq a \leq 12b</math> o <math>4 \text{ pulg. (100 mm)}</math>  <math>a &gt; 12b</math> o <math>4 \text{ pulg. (100 mm)}</math>            Donde  <math>a</math> = detalle de dimensión paralela a la dirección de la fuerza  <math>b</math> = detalle de dimensión normal a la dirección de la fuerza y la superficie del metal base.</p> <p>Metal base con detalle de cualquier longitud incorporado por soldadura de filete o de penetración parcial soldadura de ranura en la dirección paralela a la fuerza, cuando el detalle incorpora un radio de transición, R, no menor que 2 pulg. (50 mm) y la terminación de soldadura sea pulida:  <math>R \geq 24 \text{ pulg. (610 mm)}</math>  <math>24 \text{ pulg. (610 mm)} &gt; R \geq 6 \text{ pulg. (150 mm)}</math>  <math>6 \text{ pulg. (150 mm)} &gt; R \geq 2 \text{ pulg. (50 mm)}</math></p>	<p>B C D  C    D E   B C D</p>	<p>13 13 13  19    14 14,19,20   16 16 16</p>
<p>1. Ver Tabla 4.8.1-1 todos los esfuerzos son T y Rev. , donde "T" significa rango de fuerza de tracción solamente. "Rev" significa rango de envolvente de fuerza de tracción y compresión, excepto Categoría F donde el rango de esfuerzo esta en corte incluyendo el esfuerzo de corte.</p> <p>2. Ver Figura 4.8-1 Estos ejemplos son solo guías y no pretende excluir otras situaciones razonablemente similar.</p> <p>3. Los esfuerzos de tracción son considerados positivos y los esfuerzos de compresión son considerados negativos</p>			

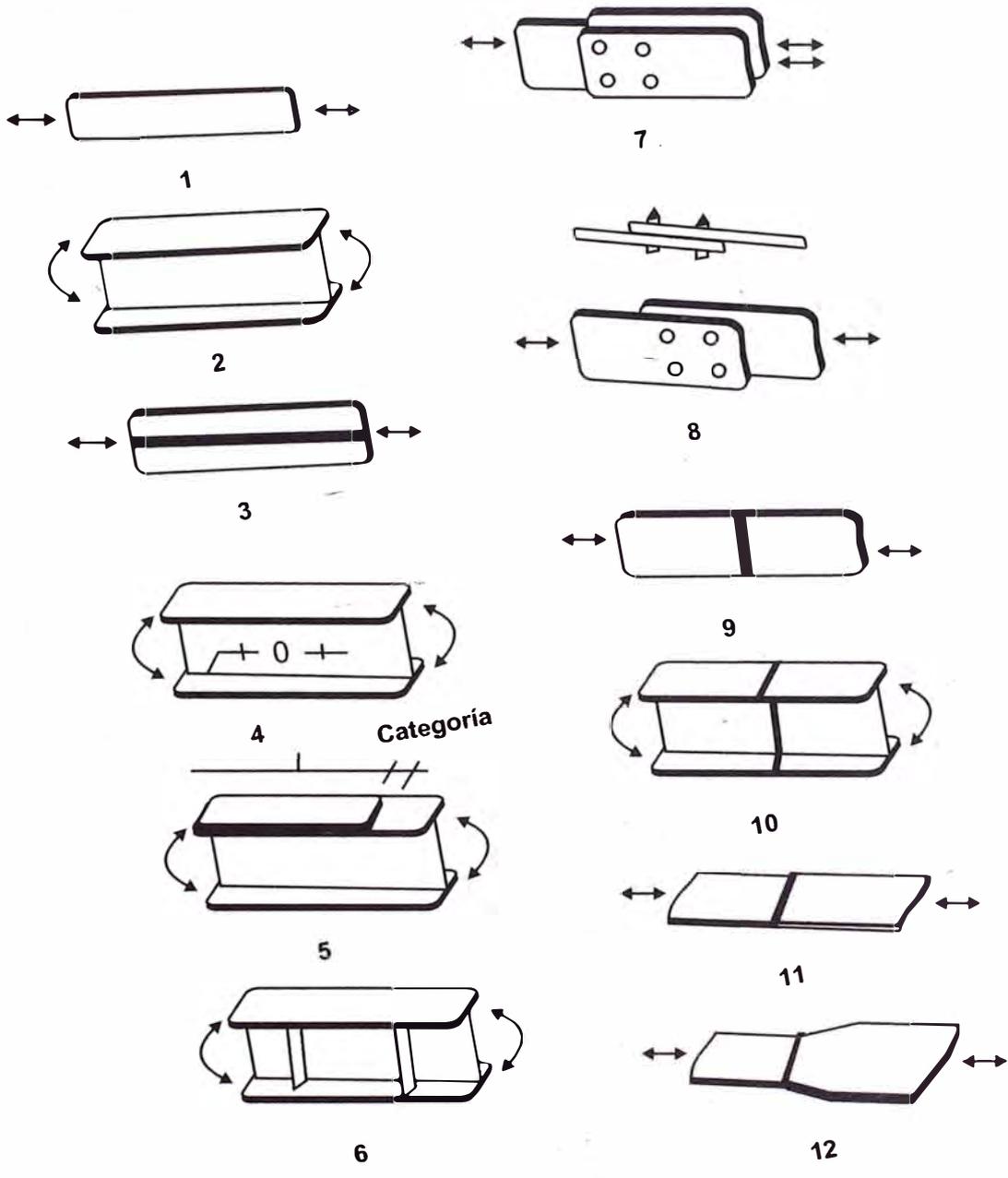


Figura 4.8.1<sup>170</sup>; Detalles de diseño de Fatiga

(Continuación)

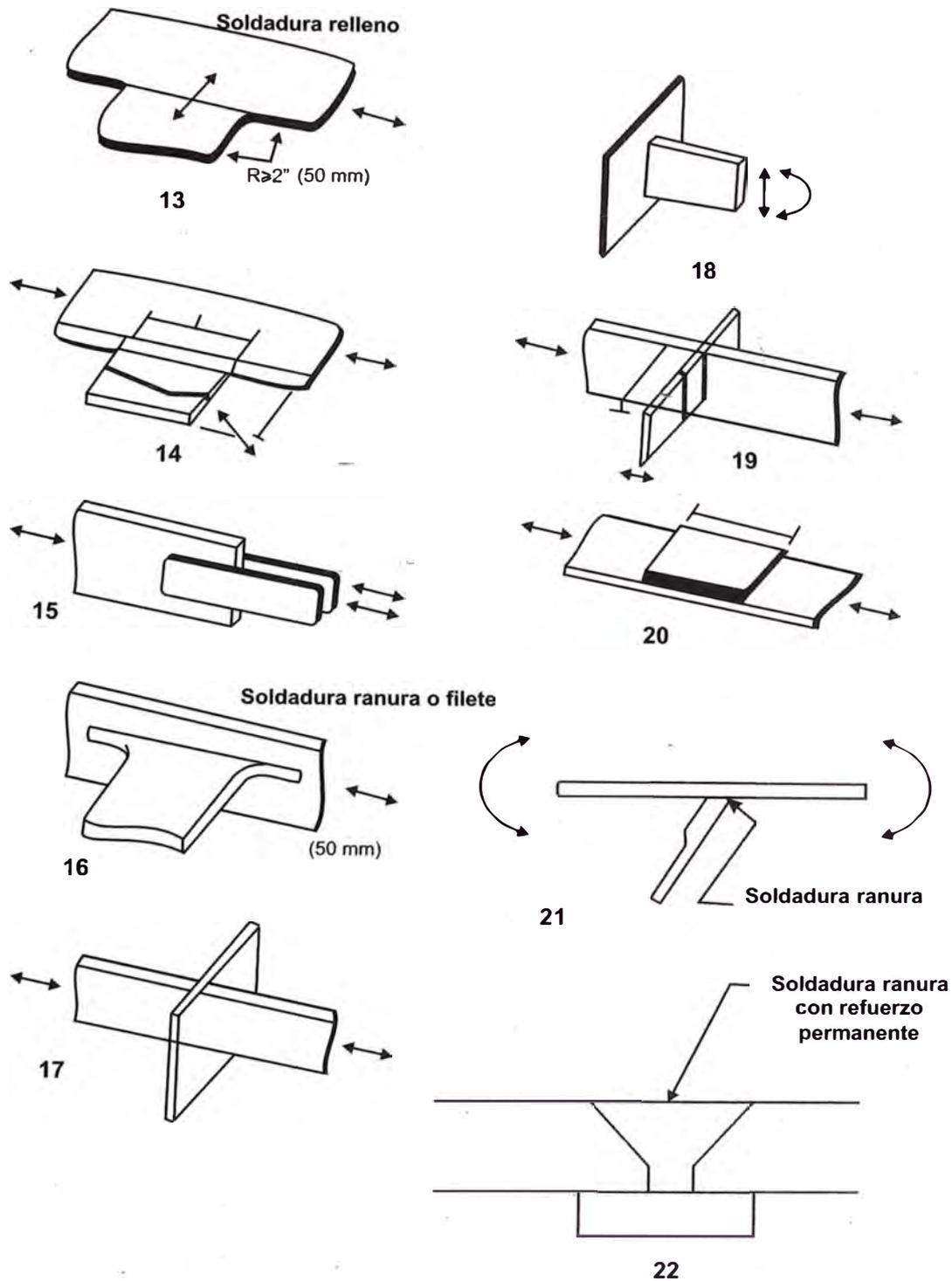


Figura 4.8.1<sup>171</sup>; Detalles de diseño de fatiga

<sup>171</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-50



Tabla 4.8.1-1<sup>172</sup>  
Constantes para Curvas<sup>1</sup> S-N

Categoría Detalle <sup>3</sup>	$C_t$		m	Límite de Fatiga <sup>2</sup>	
	ksi	MPa		ksi	MPa
A	96.5	665	6.85	10.2	70
B	130	900	4.84	5.4	37
C	278	1920	3.64	4.0	28
D	157	1080	3.73	2.5	17
E	160	1100	3.45	1.8	13
F	174	1200	3.42	1.9	13

- 1. Constantes Diferentes son usadas para cálculos en ksi y MPa
- 2. Límite de Fatiga esta basado en  $N=5 \times 10^6$
- 3. Ver Tabla 4.8-1

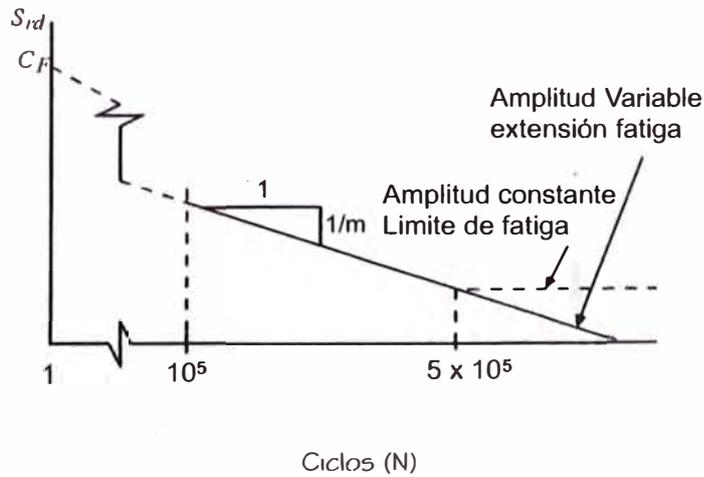


Figura 4.8.1-1; Esquema de la curva de fatiga

<sup>172</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-51

Tabla 5.2.3-1<sup>173</sup>  
Esfuerzos de Diseño para Pernos

Aleación y Templado	Esfuerzo último Mínimo de corte <sup>1</sup> $F_{su}$ (Ksi)	Esfuerzo de diseño de corte sobre el área efectiva <sup>2</sup> (Ksi)	Esfuerzo último mínimo de Tracción <sup>1</sup> $F_{tu}$ (Ksi)	Esfuerzo de diseño en Tracción sobre la raíz del área <sup>2</sup> (Ksi)
2024-T4	37	24	62	40
6061-T6	25	16	42	27
7075-T73	41	27	68	44

1. De ASTM B316/B316M y F468  
2.  $\phi = 0.65$

Tabla 5.2.3-1M<sup>174</sup>  
Esfuerzos de Diseño para Pernos

Aleación y Templado	Esfuerzo último Mínimo de corte <sup>1</sup> $F_{su}$ (MPa)	Esfuerzo de diseño de corte sobre el área efectiva <sup>2</sup> (MPa)	Esfuerzo último mínimo de Tracción <sup>1</sup> $F_{tu}$ (MPa)	Esfuerzo de diseño en Tracción sobre la raíz del área <sup>2</sup> (MPa)
2024-T4	255	165	425	275
6061-T6	170	110	290	190
7075-T73	280	180	470	305

1. De ASTM B316/B316M  
2.  $\phi = 0.65$

<sup>173</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-63<sup>174</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-63



Designación antes Driving	Esfuerzo último Mínimo de corte <sup>1</sup> $F_{su}$ (Ksi)	Esfuerzo de diseño de corte sobre el área efectiva <sup>2</sup> (Ksi)
2017-T4	33	21
2024-T42	37	24
2117-T4	26	17
2219-T6	30	20
6053-T61	20	13
6061-T6	25	16
7050-T7	39	25
7075-T6	42	27
7075-T73	41	27
7178-T6	46	30

1. De ASTM B316/B316M para aleaciones tratadas en caliente  
2.  $\phi = 0.65$

Designación antes Driving	Esfuerzo último Mínimo de corte <sup>1</sup> $F_{su}$ (MPa)	Esfuerzo de diseño de corte sobre el área efectiva <sup>2</sup> (MPa)
2017-T4	225	145
2024-T42	255	165
2117-T4	180	115
2219-T6	205	135
6053-T61	135	90
6061-T6	170	110
7050-T7	270	175
7075-T6	290	190
7075-T73	280	180
7178-T6	315	205

1. De ASTM B316/B316M para aleaciones tratadas en caliente  
2.  $\phi = 0.65$

<sup>175</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-63

<sup>176</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-64



Tabla 5.5.1-1<sup>177</sup>  
Mínimo Traslape

Profundidad de sección	Mínimo Traslape		
	Techo, pendiente mayor que 2 sobre 12, Menor que 3 sobre 12	Techo, pendiente 3 sobre 12 o más	Costados
1 pulgada o menos (25mm o menos)	-	6 pulgadas (150 mm)	4 pulgadas (100 mm)
Mayor que 1 pulgada Menor que 2 pulgadas (Mayor que 25 mm , menor que 50 mm)	9 pulgadas (230 mm)	6 pulgadas (150 mm)	4 pulgadas (100 mm)
2 pulgadas o más (50mm o más)	9 pulgadas (230 mm)	6 pulgadas (150 mm)	6 pulgadas (150 mm)

<sup>177</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-64



Tabla 7.1-1<sup>178</sup>

Soldadura de relleno para aleaciones forjadas

Metal Base	1060 1100 3003 Alclad 3003	2219	3004 Alclad 3004	5005 5050	5052	5083 5456	5086	5154	5454	6005 6061 6063 6105 6351 6463	7005
7005	5356 (5183,5556)	DNW	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5556 (5183)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5556 (5183,5556)
6005,6061, 6063,6105, 6351,6463	4043 (4047)	4145	5356 (4043,4047, 5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (4043,4047, 5183,5556)	
5454	5356 (5183,5556)	DNW	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5654 (5183,5356, 5556)	5554 (5183,5356, 5556)		
5154	5356 (5183,5556)	DNW	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5654 (5183,5356, 5556)			
5086	5356 (5183,5556)	DNW	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)				
5083,5456	5356 (5183,5556)	DNW	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5556 (5183)					
5052	5356 (5183,5556)	DNW	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)	5356 (5183,5556)						
5005,5050	4043 (1100,4047)	DNW	5356 (4043,4047, 5183,5556)	5356 (4043,4047, 5183,5556)							
3004 Alclad 3004	4043(4047, 5183,5356,5556)	DNW	5356 (5183,5556)								
2219	4145	2319 (4145)									
1060,1100 3003 Alclad 3003	4043 (1100,4047)										

Notas:  
 1) Esta tabla es para aplicaciones estructurales sujeta a condiciones atmosféricas normales usando GTAW o GMAW  
 2) DNW=Do not weld= No soldada

<sup>178</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-69



Relleno	Esfuerzo último mínimo De Tracción (Ksi)	Esfuerzo último mínimo De Corte (Ksi)
1100	11	7.5
2319	35	16
4043	24	11.5
4047	-	13
4643	-	13.5
5183	40	21
5356	35	17
5554	31	17
5556	42	20
5654	30	12

Relleno	Esfuerzo último mínimo De Tracción (MPa)	Esfuerzo último mínimo De Corte (MPa)
1100	75	50
2319	240	110
4043	165	80
4047	-	90
4643	-	95
5183	275	145
5356	240	115
5554	215	115
5556	290	140
5654	205	85

<sup>179</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-69

<sup>180</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-69



Tabla 7.3-2 <sup>181</sup> Esfuerzo mínimo de Tracción para 5183,5356 y 5556 Espárragos		
Tamaño de Espárrago	Arco (lb)	Descarga de capacitor (lb)
6-32	-	375
8-32	-	635
10-24	770	770
¼-20	1360	1360
5/16-18	2300	2300
3/8-16	3250	-
7/16-14	4400	-
½-13	5950	-

Tabla 7.3-2M <sup>182</sup> Esfuerzo mínimo de Tracción para 5183,5356 y 5556 Espárragos		
Tamaño de Espárragos	Arco (N)	Descarga de capacitor (N)
6-32	-	1670
8-32	-	2820
10-24	3420	3420
¼-20	6050	6050
5/16-18	10,200	10,200
3/8-16	14,500	-
7/16-14	19,600	-
½-13	26,500	-

<sup>181</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-72

<sup>182</sup> Aluminum Design Manual 2005, PART I-B-72



## **ANEXO 2**

**Correspondiente al capítulo 7**

### Criterio de la observación



FOTO 1; Estructura reticular con signos de corrosión

### Criterio de datos secundarios

#### Comentarios:

“En el 2003-2005 China consolidó su posición como el mayor consumidor y productor de aluminio en el mundo .El consumo de aluminio primario alcanzo 4.25 MT en el 2002, un incremento del 19.9% con respecto a los años anteriores. Mientras que en el 2005 alcanzo 5.2 Mt. El consumo se ha acelerado desde 1990 con un crecimiento promedio de 16.1% por año entre 1990 -2000, comparado con 5.4% entre 1960-1990. El 80% de aluminio consumido en China es usado en la construcción, mientras que menos del 20% es usado en la industria. En los países desarrollados la industria utiliza el 70% y el 30% es usado en la construcción.”<sup>183</sup>

Aluminio –El Síndrome Chino  
Por Robin Bhar  
Base Metals Analyst del Standard Bank London Limited

---

<sup>183</sup> [www.chinaview.com.cn](http://www.chinaview.com.cn)



“El peso de las estructuras de aluminio es aproximadamente la mitad que la del acero. El proceso de fabricación es más rápido y menos caro que el requerido para estructuras soldadas de acero (25% menos aproximadamente).”<sup>184</sup>

MAADI (Most Advanced Aluminum Design and Inspection ) compañía Norteamericana especializada en diseño e ingeniería en aluminio.

“Los puentes de Aluminio son un mercado nuevo y promisorio, con recientes adelantos tecnológicos, es posible la construcción de puentes con luces superiores a 100m o más.”<sup>185</sup>

Según Nnamdi Anyadike

Editor consultor del Aluminium World, con muchos años de experiencia en reportes y análisis sobre el mercado internacional de metales y sus diferentes sectores. Ha vivido muchos años en Bruselas trabajando con varias entidades del sector minero incluyendo la European Aluminium Association, Euromines y The International Steel Association.

“En busca de diversificación , las mineras apuntan al Aluminio: Los analistas creen que la demanda global continuará aumentando con fuerza durante muchos años mientras China , India y otras economías emergentes sigan creciendo , lo que convierte al aluminio en una parte valiosa en el portafolio de cualquier minera diversificada .

Se espera que la demanda de largo plazo por el aluminio siga siendo fuerte a nivel mundial. El consumo global se duplicará a 60.6 millones de toneladas para el año 2020, según estimaciones de Alcoa”<sup>186</sup>

“Alcoa es el líder mundial en fundición de aluminio y es el segundo productor más grande del mundo después de Rusal, compañía rusa. Alcoa lidera la producción mundial de alumina. Su sede central esta ubicada en North Shore of Pittsburg. Alcoa ha formado una alianza estratégica con Aluminium Corporation of China (Chalco), el más grande productor de aluminio en China. Alcoa fue nombrada una de las tres corporaciones más sostenibles en el mundo en el Forum Económico Mundial en Davos, Suiza.

<sup>184</sup> [www.aluminum.org](http://www.aluminum.org)

<sup>185</sup> [www.aec.org](http://www.aec.org)

<sup>186</sup> The wall street Journal , Paul Glader y Patrick Barta (El Comercio Pág. B-7 del 14-02-07)



Alcan, compañía Canadiense ubicada en Montreal, es la tercera productora después de Alcoa , pero en términos de ventas Alcan es superior a Alcoa.

ALOUETTE es un consorcio internacional formado por ALCAN de Canada , Austria Metall (AMAG) de Austria , Corus de Gran Bretaña , Kobe y Marubeni de Japon y VAW de Alemania , el cual provee asistencia técnica a la compañía .”<sup>187</sup>

“CBA compañía brasilera de aluminio, parte del grupo Votorantim, inauguró el 30de Enero del 2007 la expansión de su planta cerca de Sao Paulo , lo que la convierte en la mayor productora de América Latina , con una capacidad de 475000 toneladas a partir del 2008.

CBA obtiene la bauxita necesaria para la producción de aluminio a partir de reservas propias, localizadas en Pocos de Caldas e Itamarati de Minas, ambas en el estado de Minas Gerais, Brasil”<sup>188</sup>.

“CBA compañía brasilera de aluminio- Aplicaciones”<sup>189</sup>

Ventilación, iluminación y acabado interno: Productos utilizados: Perfiles de aluminio  
Pisos de Oficina, cocinas y baños: Productos utilizados: Chapas de aluminio 6463-T6  
Estructuras, divisiones y cielo raso: Productos utilizados: perfiles de aluminio 6060-T5  
Techos: Productos utilizados: tejas de aluminio 6351-T6

Los productos extruidos CBA –perfiles y tubos están destinados principalmente para la industria automovilística, construcción civil, bienes de consumo, electricidad, máquinas y equipos .Este sector de CBA tiene una capacidad instalada de fabricación de 40mil toneladas /año.

<sup>187</sup> [www.aluminum.org](http://www.aluminum.org) , International Aluminum Institute

<sup>188</sup> El Comercio B-7 del 31-01-07

<sup>189</sup> [www.cba.com.br](http://www.cba.com.br)



## Electricidad: Conductores eléctricos

“En el Perú La Corporación Furukawa ha constituido la planta de Aluminios PFK, ofreciendo productos de Aluminio como Productos extruidos, barras, ángulos, platinas, vigas, tubos, perfiles estándares, perfiles arquitectónicos, productos planos como láminas en planchas, láminas en bobinas, láminas perfiladas , productos trefilados como alambres , barras y productos Fundidos como accesorios para tuberías”<sup>190</sup>

Tabla 7.1<sup>191</sup>

Reporte de Producción de Aluminio Primario (20 Julio 2006)									
( Miles de Toneladas Métricas )									
Periodo	Area 1 África	Area 2 Norte América	Area 3 América Latina	Area 4 / 5 Asia	Area 6A Europa Oeste	Area 6B Europa Este /Central	Area 7 Oceanía	Total	Promedio Diario
Año 2002	1372	5413	2230	2261	3928	3825	2170	21199	58.1
Año 2003	1428	5495	2275	2475	4068	3996	2198	21935	60.1
Año 2004	1711	5110	2356	2735	4295	4139	2246	22592	61.7
Año 2005	1753	5382	2391	3139	4352	4194	2252	23463	64.3
En-Jun2005	853	2616	1170	1468	2176	2078	1111	11472	63.4
En-Jun2006	921	2600	1233	1701	2075	2099	1111	11800	65.2
Junio 2005	141	453	194	264	358	346	186	1942	64.7
Julio 2005	148	468	202	274	370	357	192	2011	64.9
Agosto 2005	149	467	205	279	366	356	192	2014	65.0
Set 2005	144	447	199	271	355	343	188	1947	64.9
Oct 2005	152	464	206	283	368	356	194	2023	65.3
Nov 2005	148	454	200	277	355	346	185	1965	65.5
Dic 2005	159	466	209	287	362	358	190	2031	65.5
Enero 2006	157	456	209	287	353	361	190	2013	64.9
Febrero 2006	142	413	190	261	321	325	171	1823	65.1
Marzo 2006	160	456	210	293	354	361	190	2024	65.3
Abril 2006	152	441	206	285	347	348	183	1962	65.4
Mayo 2006	156	455	213	294	356	358	192	2024	65.3
Junio 2006	154	439	205	281	344	346	185	1954	65.1
International Aluminium Institute (IAI) New Zealand House Haymarket London SW1 Y 4TE United Kingdom									

<sup>190</sup> [www.furukawa.com.pe](http://www.furukawa.com.pe)<sup>191</sup> [www.aluminum.org](http://www.aluminum.org)



Notas:

1. Definición

La producción de aluminio Primario es el peso del aluminio líquido vaciado de los recipientes excluyendo los elementos de aleación, o productos derretidos.

Sin embargo, se debe notar que la producción de aluminio primario que figura proporcionada por la IAI de la Russian Federation producers contiene aditivos de aleaciones pero estos no exceden en 1% al peso del total reportado.

Las áreas geográficas y la producción de aluminio primario en los países son como sigue:

Continuación Tabla 7.1		
Area	Países	
Area 1	África	Camerún ,Egipto, Ghana, Mozambique, Nigeria , Sur África
Area 2	Norte América	Canadá, Estados Unidos de Norte América
Area 3	América Latina	Argentina, Brasil, México (1/1 973-1 2/3003) , Venezuela
Area 4	Asia del Este	China* , Japón , Corea del Norte * , Corea del Sur * , Tadjikistan
Area 5	Asia del Sur	Azerbaijan * , Bahrain, India , Indonesia , Irán*,Turquía , Emiratos Árabes Unidos
Area 6 A	Europa del Oeste	Francia, Alemania, Grecia, Islandia, Italia, Países Bajos, Noruega, España, Suecia, Suiza (1/1 973-4/2006) , Reino Unido.
Area 6 B	Europa del Este /Central	Bosnia y Herzegovina*, Croacia * , Hungría (7/1 991 - 1/2006), Polonia* , Rumania * , Federación Rusa, Serbia y Montenegro, Eslovaquia, Eslovenia, Ucrania.
Area 7	Oceanía	Australia , Nueva Zelanda

El asterisco indica que los datos de la producción de aluminio primario de ese país no fueron reportados al IAI.

Tabla 7.2 <sup>192</sup>	
Factor Eléctrico	
Compañías de aluminio están transfiriendo su producción a países con bajos costos. Costo promedio de energía de fundidoras el 2005:	
	US\$ Por Megawatt/hora
CEI	11.80
África	16.20
Canadá	16.70
Medio Oriente	19.70
Oceanía	22.50
Norte de Europa	25.10
América Latina	26.00
Promedio Mundial	26.90
Sur de Europa	27.90
EE.UU.	28.80
Asia	29.50
Europa del Este	33.80
China	40.90
Europa Central	43.70
*Comunidad de Estados Independientes	
Fuente :CRU Internacional ; Alcoa	

<sup>192</sup> The Wall Street Journal , Paul Glader ( El Comercio Pág. B-6 del 12-09-06)



Tabla 7.3

Metal	US\$/Tm							
	Dic-1991	Dic-1996	Dic-2001	2002	Dic-2003	Dic-2004	Dic-2005	Dic-2006
Aluminio Primario(1)	1211.45	1651.98	1321.69	1416.12	1541.85	1762.11	2202.64	2849.00
Hierro (2)			23.87	26.04	32.30	37.92		

(1) [www.infomine.com](http://www.infomine.com)

(2) [www.chinaview.cn](http://www.chinaview.cn)

Tabla 7.4

Metal	% de Incremento según Tabla 7.3					
	2001-2002	2002-2003	Dic 2003-2004	Dic 2004-2005	Dic2005-2006	Dic2006-2007
Aluminio Primario	7.14%	8.88%	14.29 %	25%	29.34%	
Hierro	9.09%	24.04%	17.40%	72%	19%	9.5%

Tabla 7.5<sup>193</sup>

Perfiles Estructurales más comunes		
Costos	Aluminio 6061-T6	Acero al Carbono A-36
Costo por peso	US\$ 1.20/lb.	US\$ 0.30/lb.
Costo por Volumen	US\$ 0.12 /pulg <sup>3</sup>	US\$0.084/pulg <sup>3</sup>

<sup>193</sup> "Aluminum Structures", J. Randolph Kissel, Pág. 12



Tabla 7.6<sup>194</sup>;Propiedades del aluminio 6061-T6 y el acero al carbono A-36

Propiedad	Aluminio 6061-T6	Acero al Carbono A 36
Extrudabilidad	Muy bueno	No se realiza
Soldabilidad	Regular, reduce el esfuerzo	Bueno , no reduce el esfuerzo
Resistencia a la corrosión	Bueno	Regular
Esfuerzo de fluencia de Tracción	35ksi	36 a 50 ksi
Módulo de elasticidad	10000 ksi	29000 ksi
Elongación	8% a 10%	20%
Densidad	0.098 lb./pulg <sup>3</sup>	0.283 lb./pulg <sup>3</sup>
Esfuerzo de Fátiga (metales planos , 5 millones de ciclos)	10.2 ksi	24 ksi
Relación relativa de esfuerzo de fluencia – peso	2.8	1.0 a 1.4

<sup>194</sup> “Aluminum Structures”, J. Randolph Kissel , Pág. 12



TABLA 7.7; Cuadro Comparativo de costo de mantenimiento entre reticulados en acero A-36 y aluminio 6061-T6

Reticulado en Acero A-36	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
Costo de Fabricacion y Montaje	9.53								
Costo de Mantenimiento		7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20
<b>Total</b>	<b>9.53</b>	<b>7.20</b>							

Tasa de Interes	15%								
VAN =		6.26	11.70	16.44	20.55	24.13	27.25	29.95	32.31

Inversion Actualizada US\$/m2	9.53	15.79	21.23	25.97	30.08	33.66	36.78	39.48	41.84
-------------------------------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Reticulado en Aluminio 6061-T6	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8
Costo de Fabricacion y Montaje	17.79								
Costo de Mantenimiento		4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
<b>Total</b>	<b>17.79</b>	<b>4.00</b>							

Tasa de interes	15%								
VAN =		3.48	6.50	9.13	11.41	13.40	15.13	16.63	17.94

Inversion Actualizada US\$/m2	17.79	21.27	24.29	26.92	29.21	31.19	32.92	34.43	35.73
-------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------



Tabla 7.8; Cuadro comparativo de inversión actualizada entre reticulados De acero A-36 y aluminio 6061-T6, teniendo como base la tabla 7.7

CUADRO COMPARATIVO DE INVERSION ACTUALIZADA		
Año	Costo Estructura Acero	Costo Estructura Aluminio
0	9.53	17.79
1	15.79	21.27
2	21.23	24.29
3	25.97	26.92
4	30.08	29.21
5	33.66	31.19
6	36.78	32.92
7	39.48	34.43
8	41.84	35.73

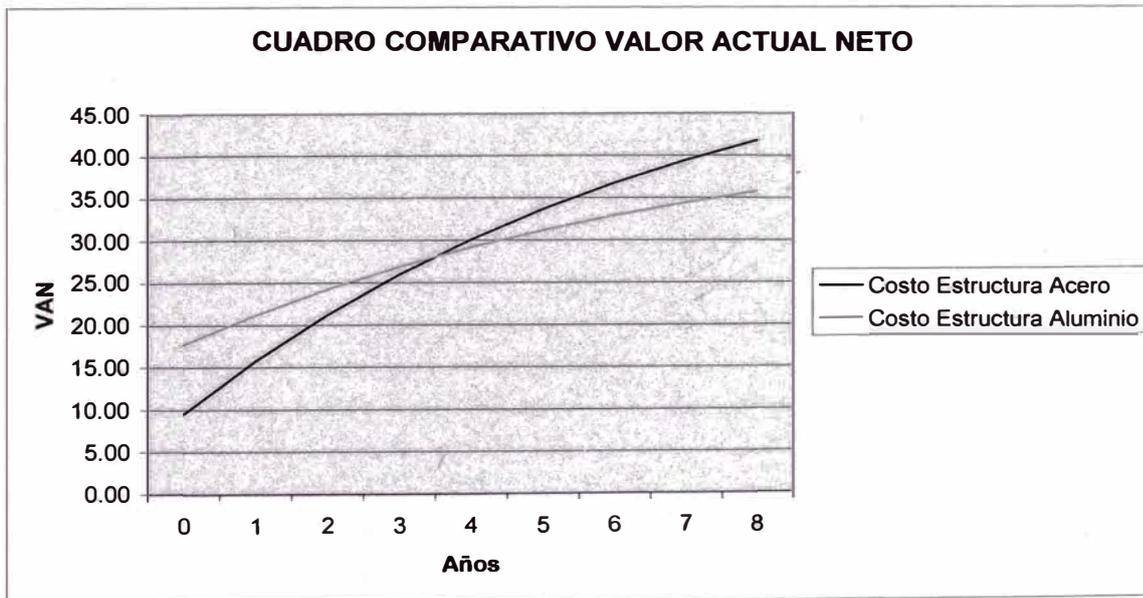


Gráfico obtenido teniendo como base la tabla 7.8



# **ANEXO 3 PRUEBAS DE LABORATORIO**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**CENTRO PERUANO-JAPONES DE INVESTIGACIONES  
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES  
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS**



**ENSAYO DE COMPRESIÓN ESTÁTICA**

**FECHA:** 22 de Agosto del 2006

**SOLICITANTE:** Ing. Silvia Poma

**MATERIAL:** Aluminio 6061T6

**SECCION DE LA MUESTRA:** Cajón cuadrado

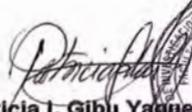
**DIMENSIONES DE LAS MUESTRAS:** Largo = 20 cm.  
Ancho = 5 cm.  
Alto = 5 cm.

**NUMERO DE MUESTRAS:** 03 (tres)

**NORMA:** Equivalente al ASTM- E9

**RESULTADOS:**

Muestra	Carga Máxima (kg)
M1	7160
M2	7670
M3	9720

  
**Ing. Patricia I. Gibu Yague**  
Jefe (e) Laboratorio de Estructuras





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONES DE INVESTIGACIONES  
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES  
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



ENSAYO DE COMPRESIÓN ESTÁTICA

FECHA: 22 de Agosto del 2006

SOLICITANTE: Ing. Silvia Poma

MATERIAL: Aluminio 6061T6

SECCION DE LA MUESTRA: Cajón cuadrado

DIMENSIONES DE LAS MUESTRAS: Largo = 20 cm.  
Ancho= 5 cm.  
Alto = 5 cm.

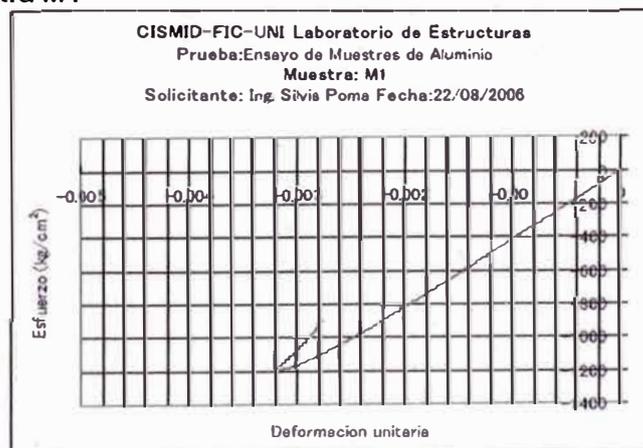
NUMERO DE MUESTRAS: 03 (tres)

NORMA: Equivalente al ASTM- E9

RESULTADOS:

Muestra	Carga Máxima (kg)
M1	9380
M2	8940
M3	7660

Curva Muestra M1



AV. TUPAC AMARU N° 1150 – LIMA 25 – PERÚ – Apartado Postal 31-250 Lima 31  
Teléfono /Fax (51-1) 482-0790  
e-mail: [czavala@uni.edu.pe](mailto:czavala@uni.edu.pe) <http://www.cismid-uni.org>

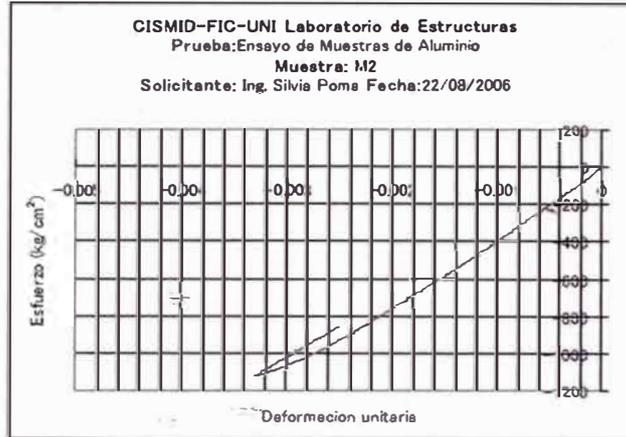


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

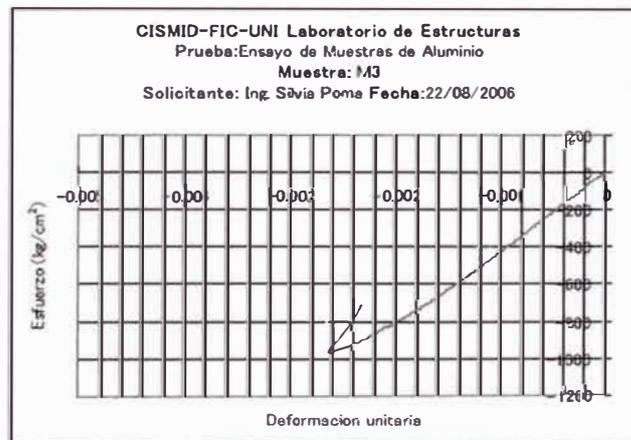
CENTRO PERUANO-JAPONES DE INVESTIGACIONES  
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES  
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



Curva Muestra M2



Curva Muestra M3



NOTA:

En todas las muestra se produjo falla por pandeo, como se aprecia en las siguientes fotografías de las muestras M1, M2 y M3 respectivamente:



AV. TUPAC AMARU N° 1150 – LIMA 25 – PERÚ – Apartado Postal 31-250 Lima 31  
Teléfono /Fax (51-1) 482-0700  
e-mail: [czavala@uni.edu.pe](mailto:czavala@uni.edu.pe) <http://www.cismid-uni.org>

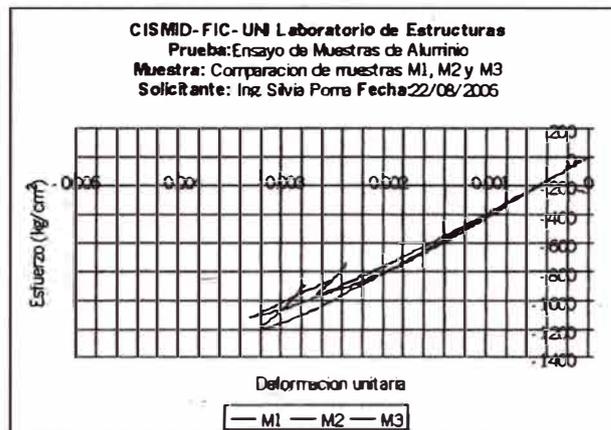


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONES DE INVESTIGACIONES  
SISMICAS Y MITIGACION DE DESASTRES  
LABORATORIO DE ESTRUCTURAS



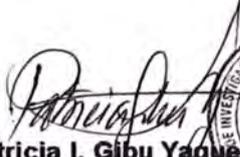
**Curvas de muestras M1, M2 y M3**



**NOTA:**

Realizando una regresión de los resultados de las curvas de esfuerzo deformación se encontró los siguientes valores de módulo de elasticidad medido a partir de las curvas presentadas. La regresión se realizó desde el inicio del ensayo hasta un nivel de esfuerzos de 400 kg/cm<sup>2</sup>. Se presentan los siguientes resultados:

Muestra	E kg/cm <sup>2</sup>
M1	410569
M2	408051
M3	429848

  
Ing. Patricia I. Gibu Yague  
Jefe (e) Laboratorio de Estructuras





# **ANEXO 4**

## **Guía métrica para el diseño estructural en aluminio**



## Guía métrica para el diseño estructural en aluminio<sup>195</sup>

Esta guía permite la conversión métrica de las unidades inglesas a las unidades internacionales (SI).

Se toma como referencia:

- “Metric guide for federal construction”, publicado por la National Institute of Building Sciences, Washington, D.C. 1993.
- “Conversion Tables of Units for Science and Engineering,” por Ari L. Horvarth, publicado por Elsevier, New York, 1986.

### **Unidades Internacionales para estructuras (SI)**

Las unidades métricas o SI usadas en ingeniería civil y estructural son:

**Longitud –metro**, abreviado “m”, tamaños pequeños son expresados en milímetros, “mm” y longitudes mayores en kilómetros, “km”. El área es expresada en metros cuadrados, milímetros cuadrados o kilómetros cuadrados, las áreas muy grandes son expresadas en hectáreas, “ha”, las cuales son 10,000 metros cuadrados.

**Masa – kilogramo**, “kg”, nótese que hay unidades diferentes para masa y fuerza, el kilogramo es una cantidad independiente de la gravedad.

**Fuerza –Newton**, “N”, esta es una unidad derivada (masa por aceleración,  $\text{kg} \times \text{m}/\text{s}^2$ ). El cual reemplaza la unidad kilogramo-fuerza, la cual ya no debería ser usada. Un Newton es muy pequeño, por lo tanto usualmente se usa el kiloNewtons, “kN”.

**Esfuerzo y presión – pascal**, “Pa”; unidad derivada, dividida por el área,  $\text{A}/\text{m}^2$ . Es una unidad muy pequeña y generalmente es usada como megapascal, “MPa”.

Las Tablas A1-1 y A1-2 detallan las unidades SI más comunes usadas en la industria del diseño y construcción, junto con los factores de conversión recomendados, para obtener SI de las unidades inglesas. Estos factores de conversión son especialmente útiles para las unidades de conversión suaves, que es, la conversión de unidades inglesas a unidades SI manteniendo las mismas dimensiones básicas implícitas en las unidades inglesas. Tales conversiones tienen la ventaja de reflejar con precisión las dimensiones

<sup>195</sup> “Aluminum Design Manual”, 2005, Appendix 1.



y capacidades de las estructuras tal y como fueron originalmente establecidas en las unidades inglesas. Sin embargo, ellas tienen la desventaja de dar resultados en números no redondeados.

Tabla A1-1<sup>196</sup>  
Factores de conversión de Área , Longitud y Volumen

Cantidad	De Unidades Pulgada - Libra	A Unidades Métricas	Multiplicar Por
Longitud	Milla	Km	<u>1.609344</u>
	Yarda	m	<u>0.9144</u>
	Pie	m	<u>0.3048</u>
	—	mm	<u>304.8</u>
	Pulgada	mm	<u>25.4</u>
Área	Milla cuadrada	km <sup>2</sup>	2.59000
	Acre	m <sup>2</sup>	4046.856
		ha (10000 m <sup>2</sup> )	0.4046856
	Yarda cuadrada	m <sup>2</sup>	<u>0.83612736</u>
	Pie cuadrado	m <sup>2</sup>	<u>0.09290304</u>
	Pulgada cuadrada	mm <sup>2</sup>	<u>645.16</u>
Volumen	Acre pie	m <sup>3</sup>	1233.49
	Yarda cúbica	m <sup>3</sup>	0.764555
	Pie cúbico	m <sup>3</sup>	0.0283168
	Pie cúbico	cm <sup>3</sup>	28316.85
	Pie cúbico	L (1000 cm <sup>3</sup> )	28.31685
	100 board pie	m <sup>3</sup>	0.235974
	Galón	L (1000 cm <sup>3</sup> )	3.78541
	Pulgada cúbica	cm <sup>3</sup>	<u>16.387064</u>
	Pulgada cúbica	mm <sup>3</sup>	<u>16387.064</u>

Nota: Las sobre líneas denotan números exactos

<sup>196</sup> “Aluminum Design Manual ” ,2005, Appendix 1-3



Tabla A1-2<sup>197</sup>  
Factores de conversión para ingeniería civil y estructural

Cantidad	De Unidades Pulgada-Libra	A Unidades Métricas	Multiplicar Por
Masa	lb. kip (1000 lb. )	kg Ton métrica (1000 kg)	0.453592 0.453592
Masa /unidad de Longitud	lb pie	kg/m	1.48816
Masa /unidad de área	lb pie cuadrado	kg/m <sup>2</sup>	4.88243
Densidad de masa	lb pie cúbico	kg/ m <sup>3</sup>	16.0185
Fuerza	lb kip	N kN	4.44822 4.44822
Fuerza / unidad de Longitud	lb pie kip pie	N/m kN/m	14.5939 14.5939
Presión,esfuerzo Módulo de elasticidad	lb pié cuadrado kip pie cuadrado lb pulgada cuadrada kip pulgada cuadrada	Pa kPa kPa MPa	47.8803 47.8803 6.89476 6.89476
Momento flector, Torque, Momento de fuerza	Pie-lb Pie-kip	N · m kN · m	1.35582 1.35582
Momento de masa	lb · pie	kg · m	0.138255
Momento de inercia	Pulgada a la cuarta	mm <sup>4</sup>	416231
Módulo de sección	Pulgada al cubo	mm <sup>3</sup>	16387.064

Nota: Las sobre líneas denotan números exactos

<sup>197</sup> "Aluminum Design Manual", 2005, Appendix 1-4.