

**CRITERIOS DE DISEÑO PARA CONEXIONES SOLDADAS EN
ESTRUCTURAS CON PERFILES TUBULARES**

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Para optar al Título de
INGENIERO CIVIL**

**Por las Brs.:
Bittar R., Adriana María
Páez W., María Carolina**

Caracas, Noviembre de 2004

**CRITERIOS DE DISEÑO PARA CONEXIONES SOLDADAS EN
ESTRUCTURAS CON PERFILES TUBULARES**

Tutor: Prof. José Manuel Velásquez

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Para optar al Título de
INGENIERO CIVIL

Por las Brs.:
Bittar R., Adriana María
Páez W., María Carolina

Caracas, Noviembre de 2004.

ACTA

El día _____, se reunió el Jurado formado por los Profesores _____

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: CRITERIOS DE DISEÑO PARA CONEXIONES SOLDADAS EN ESTRUCTURAS CON PERFILES TUBULARES

Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al título de: INGENIERO CIVIL.

Una vez oída la defensa oral que los bachilleres hicieron de su Trabajo Especial, este Jurado decidió la siguiente calificación.

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	NÚMERO	LETRAS
Bittar R., Adriana María		
Páez W., María Carolina		

RECOMENDACIONES (Si las Hubiera): _____

FIRMAS DEL JURADO

Prof.

Prof.

Prof.

Caracas, _____ de _____ de 2004

DEDICATORIA

A Dios por darme las fuerzas necesarias para lograr la culminación de este trabajo a pesar de todos los inconvenientes presentados durante su ejecución, y por acompañarme durante toda mi carrera.

A mi familia por siempre estar dispuesta a darme la mano.

Adriana

A Dios y a mi ángel de la guarda, esa estrellita que me iluminó el camino y guió mis pasos para lograr este sueño.

A toda mi familia: mi mamá, mi papá, Gabo, Fabi, Juanca, Sandrita, Ferny, Nanda; que están incondicionalmente conmigo en todos los momentos de mi vida. No se que haría sin ustedes.

A Roger, Stefania, Feliciano, Mariana, Adriana, Ray, Steven, Andrea, Darling, Manolo, Miguel, Rubén, Mauricio. A todos mis amigos y compañeros de estudio.

Carolina

AGRADECIMIENTOS

Al Prof. José Manuel Velásquez, quien como tutor y guía en la realización de este trabajo supo aclarar nuestras dudas y que con su experiencia, conocimientos, y sobre todo paciencia, supo orientarnos.

A nuestro compañero Jorge Pereira por toda su colaboración.

BITTAR R., Adriana M.

PÁEZ W., M^a Carolina.

CRITERIOS DE DISEÑO PARA CONEXIONES SOLDADAS EN ESTRUCTURAS DE PERFILES TUBULARES DE ACERO

Tutor Académico José Manuel Velásquez. Trabajo Especial de Grado. Caracas. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. 2004

RESUMEN

Palabras Claves: Límites de Aplicabilidad, Resistencia, Clasificación, Disposición de Elementos.

El presente trabajo especial de grado tiene como objetivo principal presentar los criterios de diseño de las conexiones soldadas entre perfiles tubulares de acero en estructuras. Con base a las normas del American Institute of Steel Construction (AISC), y con apoyo del libro “Perfiles Tubulares en Aplicaciones Estructurales”, publicado por el Comité Internacional para el Desarrollo y el Estudio de la Construcción Tubular (CIDECT), el cual respeta las normas europeas, se busca llegar a un método ordenado de cálculo.

Luego de la recopilación de las normas que rigen las conexiones, se comienza este trabajo con un estudio previo de los principios más importantes en el comportamiento de las estructuras de acero, como la resistencia de los miembros ante los diferentes estados de carga, datos fundamentales en el cálculo de estructuras y sus conexiones, para finalmente tratar el tema de las conexiones en sí.

El estudio de las conexiones comienza con una explicación teórica su comportamiento, para así comprender mejor los criterios que se deben tomar en cuenta para el diseño. Seguidamente se exponen los requisitos normativos dependiendo del tipo de sección de los perfiles a unir, bien sea circular, cuadrada o rectangular, y dependiendo también del tipo de conexión empleada. Finalmente se presentan de forma simplificada los pasos a seguir al momento de verificar la resistencia de las conexiones en una estructura en conjunto con tablas de fórmulas y sus límites de aplicabilidad.

ÍNDICE GENERAL

	Pag.
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	vi
INDICE GENERAL.....	vii
INDICE DE TABLAS.....	xiii
INDICE DE GRÁFICOS.....	xv
INDICE DE FIGURAS.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	20
CAPÍTULO 1. PERFILES TUBULARES DE ACERO	
DIMENSIONES, PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y	
TOLERANCIAS DIMENSIONALES.....	22
1.1 PERFILES TUBULARES ESTRUCTURALES.	
DIMENSIONES Y PROPIEDADES GEOMÉTRICAS	23
1.1.1 Sección Circular.....	24
1.1.2 Sección Cuadrada.....	24
1.1.3 Sección Rectangular.....	24
1.2 COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ANTE	
CARGAS DE COMPRESIÓN.....	29
1.2.1 PANDEO LOCAL ELÁSTICO.....	29
1.2.1a Plancha rectangular sometida a compresión	
uniforme.....	29
1.2.1b Plancha rectangular sometida a flexión en su	
plano.....	32
1.2.1c Sección cilíndrica sometida a compresión	
uniforme.....	34
1.2.2 PANDEO LOCAL INELÁSTICO.....	35
1.3 REQUISITOS NORMATIVOS.....	38
1.3.1 Planchas de secciones cuadradas o rectangulares en	
compresión uniforme.....	39
1.3.2 Planchas de secciones cuadradas o rectangulares en por	
flexión.....	40

	Pag.
1.3.3 Paredes de secciones tubulares cilíndricas a compresión uniforme.....	40
1.3.4 Paredes de secciones tubulares cilíndricas a compresión por flexión.....	41
1.3.5 Planchas de secciones cuadradas o rectangulares como almas sometidas a flexocompresión.....	42
CAPÍTULO 2. PERFILES TUBULARES. CAPACIDADES RESISTENTES.....	
2.1 MIEMBROS SOMETIDOS A TRACCIÓN	47
2.1.1 Comportamiento En Tracción Axial.....	48
2.1.2 Diseño de miembros traccionados.....	51
2.1.2a Criterios de resistencia.....	51
2.1.2b Consideraciones de las áreas.....	53
2.1.2c Criterios de rigidez.....	55
2.2 MIEMBROS SOMETIDOS A COMPRESIÓN AXIAL.....	62
2.2.1 Introducción a la estabilidad de columnas.....	62
2.2.1a Las columnas ideales aisladas.....	64
2.2.1b Las tensiones residuales.....	66
2.2.1c Resistencia básica de miembros comprimidos.....	70
2.2.2 Requisitos normativos.....	73
2.2.2a La longitud efectiva.....	73
2.2.2b Capacidad resistente.....	74
2.3 MIEMBROS SOMETIDOS A FLEXION.....	80
2.3.1 Comportamiento.....	80
2.3.2 Normativa para el cálculo de la capacidad resistente a flexión.....	83
2.4 MIEMBROS SOMETIDOS A FLEXOCOMPRESION.....	86
2.4.1 La Fórmula de interacción.....	86

	Pag.
2.4.2 El problema de la flexocompresión en el miembro.....	90
2.4.2a Efecto de la amplificación debida a la magnitud de la carga axial.....	91
2.4.2b Efecto de la reducción debida a los momentos extremos.....	92
2.4.3 Requisitos normativos.....	94
CAPÍTULO 3. PERFILES TUBULARES DE ACERO.	
CONEXIONES SOLDADAS.....	98
3.1 CELOSÍAS DE PERFILES TUBULARES.....	99
3.2 COMPORTAMIENTO DE LAS UNIONES.....	105
3.2.1 Trayectoria seguida por los esfuerzos.....	105
3.2.2 Distribución de la rigidez interna.....	106
3.2.2a Deformaciones bajo una tensión uniforme.....	107
3.2.2b Suponiendo la placa rígida.....	109
3.2.3 Efecto de las propiedades de los materiales.....	109
3.2.4 Modos de falla.....	110
3.2.4a Placa.....	111
3.2.4b Soldaduras.....	112
3.2.4c Cara del cordón.....	112
3.2.4d Pared lateral del cordón.....	113
3.2.5 Criterios generales de falla.....	113
3.2.6 Modos generales de falla.....	114
3.3 PROVISIONES GENERALES PARA CONEXIONES.....	116
3.3.1 Soldaduras.....	116
3.3.2 Resistencia de diseño.....	121
3.3.2a Resistencia de diseño a la ruptura por corte.....	121
3.3.2b Resistencia a la ruptura por tracción.....	121
3.3.2c Resistencia a la ruptura al corte por punzonado.....	122
3.3.3 Conexiones excéntricas.....	124

	Pag.
3.3.4 Clasificación de las conexiones entre HSS en armaduras.....	124
3.3.5 Definición de parámetros.....	125
3.4 COMPORTAMIENTO DE LAS UNIONES SOLDADAS ENTRE PERFILES TUBULARES CIRCULARES.....	127
3.4.1 Modos de falla.....	130
3.4.1a Plastificación del cordón.....	132
3.4.1b Punzonamiento por esfuerzo cortante.....	134
3.4.1c Esfuerzo cortante en el cordón.....	135
3.4.2 Verificación experimental y numérica.....	136
3.4.3 Otros tipos de conexiones.....	136
3.4.3a Conexiones directamente relacionadas.....	136
3.4.3b Conexiones multiplano.....	137
3.4.3c Conexiones sometidas a momento flector.....	139
3.5 REQUISITOS NORMATIVOS PARA HSS DE SECCIÓN CIRCULAR.....	140
3.5.1 Límites de aplicabilidad.....	141
3.5.2 Miembros secundarios con cargas axiales.....	141
3.5.2a Para el estado límite de las paredes del cordón.....	142
3.5.2b Para el estado límite de ruptura al corte por punzonado.....	142
3.5.2c Para el estado límite de colapso.....	142
3.5.3 Miembros secundarios a flexión.....	143
3.5.3a Para el estado límite de plastificación de las paredes del cordón.....	143
3.5.3b Para el estado límite de ruptura al corte por punzonado.....	144
3.5.4 Miembros secundarios con cargas axiales y flexión combinadas.....	144

	Pag.
3.6 UNIONES SOLDADAS ENTRE PERFILES TUBULARES RECTANGULARES.....	145
3.6.1 Modos de falla.....	147
3.6.2 Criterios de diseño.....	150
3.6.2a Para el estado límite de plastificación de las paredes del cordón.....	151
3.6.2b Criterio para punzonado por esfuerzo cortante.....	152
3.6.2c Estado límite de distribución de cargas desiguales.....	155
3.6.2d Modelo de aplastamiento de la pared lateral del cordón o modelo de pandeo.....	156
3.6.2e Modelo de esfuerzo cortante del cordón.....	157
3.6.3 Verificación experimental y numérica.....	158
3.6.4 Otros tipos de conexiones u otras condiciones de sollicitación.....	159
3.6.4a Conexiones entre miembros secundarios de perfiles circulares y cordón de perfil circular.....	159
3.6.4b Conexiones entre placas o perfiles en I y cordones de perfiles HSS rectangulares.....	160
3.6.4c Nudos multiplano.....	161
3.6.4d Nudos sollicitados a momentos flectores.....	162
3.7 REQUISITOS NORMATIVOS PARA HSS DE SECCIÓN RECTANGULAR.....	163
3.7.1 Límites de Aplicabilidad.....	164
3.7.2 Miembros Secundarios con Cargas Axiales en Conexiones en T, Y y X.....	164
3.7.2a Estado límite de plastificación de las paredes del cordón.....	165
3.7.2b Estado límite de ruptura al corte por punzonado.....	165

	Pag.
3.7.2c Estado límite de la resistencia de las paredes laterales.....	165
3.7.3 Miembros secundarios con cargas axiales en conexiones tipo K con espaciamento.....	167
3.7.3a Estado límite de plastificación de las paredes del cordón.....	168
3.7.3b Estado límite de ruptura al corte por punzonado.....	168
3.7.3c Estado límite de cedencia al corte del cordón en la apertura.....	168
3.7.3d Estado límite de distribución de cargas desiguales.....	169
3.7.4 Miembros Secundarios a Flexión.....	169
3.8 PASOS A SEGUIR PARA LA SOLUCIÓN DE UN PROBLEMA.....	170
3.9 VERIFICACIÓN DE LOS LÍMITES DE APLICABILIDAD EN LOS PERFILES NACIONALES.....	177
3.9.1 Perfiles de sección circular.....	177
3.9.1a Límites de aplicabilidad.....	177
3.9.1b Parámetros.....	178
3.9.1c Resistencia de diseño.....	179
3.9.2 Perfiles de sección cuadrada y rectangular.....	181
3.9.2a Límites de aplicabilidad.....	181
CONCLUSIONES.....	183
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	185
ANEXOS.....	185

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
1.1 Dimensiones y propiedades estáticas. HSS nacionales. Sección circular.....	26
1.2 Dimensiones y propiedades estáticas. HSS Nacionales. Sección cuadrada.....	27
1.3 Dimensiones y propiedades estáticas. HSS nacionales. Sección rectangular.....	28
1.4 Relación ancho/espesor. HSS nacionales circulares.....	42
1.5 Relación ancho/espesor. HSS nacionales cuadradas.....	43
1.6 Relación ancho/espesor. HSS nacionales rectangulares.....	44
2.1 Resistencia a Tracción Axial. HSS nacionales. Para una conexión donde el tubular está soldado en todo el perímetro.....	56
2.2 Resistencia a Tracción Axial. HSS nacionales. Sección circular. Para una conexión con una cartela dispuesta concéntricamente dentro de una ranura hecha al tubular.....	57
2.3 Resistencia a Tracción Axial. HSS nacionales. Sección cuadrada. Para una conexión con una cartela dispuesta concéntricamente dentro de una ranura hecha al tubular.....	58
2.4 Resistencia a Tracción Axial. HSS nacionales. Sección rectangular. Para una conexión con una cartela dispuesta concéntricamente dentro de una ranura hecha al tubular.....	59
2.5 Resistencia a Tracción Axial. HSS nacionales. Sección cuadrada. Para una conexión mediante un par de cartelas dispuestas lateralmente.....	60

	Pag.
2.6 Resistencia a Tracción Axial. HSS nacionales. Sección rectangular. Para una conexión mediante un par de cartelas dispuestas lateralmente.....	61
2.7 Resistencia a compresión axial. HSS nacionales. Sección circular.....	76
2.8 Resistencia a compresión axial. HSS nacionales. Sección cuadrada.....	77
2.9 Resistencia a compresión axial en el alma. HSS nacionales. Sección rectangular.....	78
2.10 Resistencia a compresión axial en las alas. HSS nacionales. Sección rectangular.....	79
2.11 Resistencia a flexión. HSS nacionales.....	85
3.1 Longitud efectiva para soldaduras de filete y ranura.....	119
3.2 Valores de longitud efectiva en función del ancho de lamina transversal soldada a la cara de un HSS rectangular.....	120
3.3 Resistencias de diseño a la ruptura a lo largo de una trayectoria adyacente a una soldadura de filete en las paredes del HSS.....	123
3.4 Definición de parámetros.....	173
3.5 Límites de aplicabilidad.....	173
3.6 Términos para el cálculo de la resistencia de diseño.....	174
3.7 Factor de resistencia (φ).....	175
3.8 Resistencia de diseño para perfiles de sección circular.....	175
3.9 Resistencia de diseño para perfiles de sección cuadrada o rectangular.....	176

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pag.
1.1 Envolvente del factor K para el caso de una plancha simplemente apoyada en sus cuatro lados.....	31
1.2 Envoltentes del factor K para el caso de una plancha sometida a flexión.....	33
1.3 Comportamiento generalizado de una plancha comprimida en el rango inelástico.....	35
1.4 Efectos de la relación ancho-espesor en el comportamiento post-pandeo.....	37
2.1 Diagrama Tensión-Deformación para probetas de diversos aceros.....	48
2.2 Detalle del sector inicial del diagrama Tensión-Deformación.....	49
2.3 Diferencia entre los diagramas Tensión-Deformación para probetas y para piezas de perfiles laminados.....	50
2.4 Comportamiento a tracción de una sección con o sin agujero.....	52
2.5 Efectos del comportamiento real de los miembros comprimidos en la curva de resistencia a compresión axial.....	52
2.6 Curvas básicas de resistencia y de Euler para un acero de $F_y = 2500 \text{ k/cm}^2$	69
2.7 Gráfica para la tensión crítica de un elemento comprimido axialmente.....	71
2.8 Comportamiento generalizado de un elemento a flexión	82
2.9 Fórmula y diagrama de interacción para flexocompresión recta.....	87

	Pag.
2.10 Diagrama de interacción para flexocompresión recta.....	90
2.11 Volumen de interacción para flexo compresión biaxial.....	90
2.12 Reducción debido al efecto de momentos flectores extremos.....	93
2.13 Gráfica de la interacción para el caso de flexocompresión recta.....	97
3.1 Diagrama carga-deformación.....	109
3.2 Límite de deformación.....	114
3.3 Relación longitud efectiva-espesor de lámina.....	118
3.4 Evaluación del criterio de plastificación del cordón para conexiones tipo T, Y y X basado en el modelo de estado límite de las paredes del cordón.....	158
3.5 Comparación entre ensayos experimentales y la ecuación de resistencia media de conexiones tipo K con espaciamiento.....	159

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
1.1 Forma típica de pandeo de una plancha con sus cuatro lados simplemente apoyados. Deformada correspondiente a dos semiondas.....	30
2.1 Ejemplos típicos de celosías.....	47
2.2 Consideración de la excentricidad de una conexión.....	55
2.3 Ejemplos típicos de estructuras con miembros comprimidos axialmente.....	62
2.4 Ilustración de la diferencia entre una falla por resistencia y una falla por pandeo.....	63
2.5 Formas de pandeo y para diversos miembros comprimidos, indicándose la longitud efectiva.....	65
2.6 Valores del factor K para casos ideales de restricciones en los extremos y aproximaciones recomendadas.....	66
2.7 Comportamiento generalizado de una sección a flexión.....	82
2.8 Módulos de sección plástico para secciones tubulares.....	83
2.9 Cedencia incipiente en flexo compresión recta o uniaxial.....	87
2.10 Comportamiento plástico para una sección rectangular y una sección I idealizada.....	89
2.11 Amplificación de momentos debido al efecto de la carga axial.....	91
2.12 Efectos de amplificación de momentos.....	97
3.1 Varios tipos de celosías.....	99
3.2 Tipos básicos de conexiones.....	100

	Pag.
3.3 Símbolos utilizados para conexiones tipo K con espaciamiento.....	101
3.4 Excentricidad en la conexión.....	102
3.5 Espaciamiento y solape.....	103
3.6 Unión de Placa a un HSS.....	106
3.7 Unión de Placa a cordón de un HSS.....	107
3.8a Tensión y deformación resultante.....	108
3.8b Compatibilidad.....	108
3.8c Distribución de tensiones en la placa.....	108
3.9a Distribución plástica y situación última en el momento de fallo.....	111
3.9b Falla en la soldadura.....	111
3.9c Desgarramiento laminar.....	111
3.9d Esfuerzo cortante de punzonamiento.....	111
3.10 Modos de fallo para las conexiones en K de HSS rectangulares.....	115
3.11 Conexiones prefabricadas.....	127
3.12 Conexiones con piezas aplicadas en los extremos de las barras para uniones atornilladas.....	127
3.13 Conexiones soldadas con cartela.....	128
3.14 Conexiones entre perfiles de sección circular soldados.....	129
3.15 Modos de falla para conexiones entre perfiles de sección circular.....	131

	Pag.
3.16 Modos de falla para conexiones entre perfiles de sección circular.....	133
3.17 Articulaciones plásticas para una situación de colapso.....	133
3.18 Punzonamiento por esfuerzo cortante.....	134
3.19 Esfuerzo cortante en el cordón.....	135
3.20 Tipos de conexiones relacionadas.....	136
3.21 Conexiones multiplano.....	138
3.22 Uniones soldadas entre perfiles tubulares rectangulares o cuadrados.....	146
3.23 Modos de falla para uniones soldadas entre HSS rectangulares o cuadrados.....	148
3.24 Modelo de estado límite de platificación para conexiones tipo T, Y y X.....	152
3.25 Modelo de punzonado para conexiones tipo T, Y y X...	153
3.26 Modelo de punzonado para conexiones tipo K con espaciamiento.....	154
3.27 Criterio de ancho efectivo del miembro secundario.....	155
3.28 Estado límite de cedencia de la pared lateral del cordón.....	157
3.29 Modelo de falla por esfuerzo cortante del cordón.....	157
3.30 Comparación de conexiones tipo K con un miembro secundario circular y una conexión equivalente con un miembro secundario cuadrado.....	160
3.31 Conexión multiplano con HSS cuadrados.....	161

INTRODUCCIÓN

Un buen diseo considera de forma equilibrada las necesidades arquitectnicas, funcionales y econmicas, factores que inevitablemente influyen en este proceso. Para el caso de los perfiles tubulares y sus conexiones, dadas sus especiales caractersticas, estos factores adquieren mayor importancia que para el diseo de perfiles abiertos, ya que aunque su costo unitario es mayor, en muchas ocasiones proporcionan soluciones ms econmicas.

Entre las caractersticas propias de una seccin tubular se encuentra su excelente capacidad de resistir torsin, flexin y compresin en varias direcciones combinadas con una forma arquitectnicamente atractiva. Otra de las ventajas de estos perfiles es su forma aerodinmica, lo cual extiende su campo de aplicacin a otras reas como por ejemplo, construcciones marinas, aeronutica, transporte, agricultura, etc.

Una de las limitaciones principales para la utilizacin de perfiles tubulares es el comportamiento complejo de sus uniones. Es por esta razn que este trabajo trata de facilitar al proyectista el intrincado proceso del diseo de estas conexiones, al constituir un manual que presenta un mtodo ordenado, basado en las normas del American Institute of Steel Construction (AISC), y con apoyo del libro "Perfiles Tubulares en Aplicaciones Estructurales", publicado por el Comit Internacinal para el Desarrollo y el Estudio de la Construccin Tubular (CIDECT), Instituto Europeo, que regido por las Normas Europeas ha tratado el tema a profundidad.

El manual consiste en la presentación de los criterios de diseño de las conexiones entre perfiles tubulares, específicamente para el caso de celosías, de acuerdo con las normas antes referidas, comprende además tablas de ayuda para el proceso de cálculo en él explicado y en los anexos se presentan algunos ejemplos de aplicación

El trabajo está constituido por tres capítulos. En el primer capítulo en el cual se encuentran las dimensiones, propiedades estáticas y clasificación según la relación ancho-espesor, de los perfiles más utilizados, estipulados bajo las especificaciones ASTM A-500 grado C.; En el capítulo 2, donde se da una explicación del comportamiento de los perfiles ante los diferentes tipos de solicitación (compresión, tracción, flexión y flexocompresión), y la tabulación de estos valores para los perfiles trabajados en el capítulo 1, excepto para la flexocompresión, ya que este tipo de solicitación no se aplica para el tema tratado en este trabajo (celosías). Finalmente en el capítulo 3 se desarrolla el tema de las conexiones que comprende aspectos sobre celosías, el comportamiento de las conexiones en general, las conexiones entre perfiles de sección circular, y las conexiones entre perfiles de sección cuadrada o rectangular. Por último se realiza un análisis de aplicabilidad de los criterios de diseño a los perfiles tubulares fabricados en Venezuela

**PERFILES TUBULARES DE ACERO
DIMENSIONES, PROPIEDADES GEOMÉTRICAS Y
COMPORTAMIENTO ANTE CARGAS DE COMPRESIÓN**

CAPÍTULO 1

1.1 PERFILES TUBULARES ESTRUCTURALES. DIMENSIONES Y PROPIEDADES GEOMÉTRICAS.

Aunque las formas que se utilizan generalmente son las de los perfiles tubulares circulares, cuadrados y rectangulares, también se producen otras formas de perfiles tubulares, sin embargo estas formas no se tratarán en este trabajo.

En cuanto a productos, el estudio de las conexiones se limita para los perfiles producidos en el país bajo la identificación de Tubos Estructurales CONDUVEN ECO. Para los perfiles norteamericanos se realizaron las tablas de propiedades geométricas, relaciones ancho/espesor y capacidades resistentes a tracción, flexión y compresión (Esta información se encuentra únicamente disponible en el CD correspondiente a este trabajo, es decir, en formato PDF).

Los Tubos Estructurales CONDUVEN ECO al igual que los Norteamericanos, nacen de la tecnología desarrollada en la fabricación de acero estructural de alta resistencia mecánica, conformados en frío. Ambos son soldados eléctricamente por alta frecuencia y producidos según las Especificaciones ASTM (American Society for Testing and Materials) A-500 Grado **C**, con láminas de alta resistencia, presentando una tensión de cedencia $F_y = 3500 \text{Kgf/cm}^2$.

La información que sigue a continuación está tomada de *Especificaciones y Propiedades de los Tubos Estructurales CONDUVEN ECO ASTM A500 Grado C*.

1.1.1 Sección Circular.

La sección circular presenta valores de inercia, radio de giro y torsión que le permiten soportar grandes cargas axiales, por lo que se recomienda su uso como columna. Se realizaron los cálculos de las dimensiones y propiedades geométricas de los perfiles tubulares (HSS) circulares utilizados en el país y se encuentran especificados en la [Tabla 1.1](#)

1.1.2 Sección Cuadrada.

La sección cuadrada al igual que la sección circular, es muy eficiente en cuanto a compresión axial se refiere. Es recomendado su uso como columna, para cargas axiales grandes, momentos moderados y grandes longitudes efectivas.

Se realizaron los cálculos de las dimensiones y propiedades geométricas de los perfiles tubulares (HSS) cuadrados utilizados en el país y se encuentran especificados en la [Tabla 1.2](#)

1.1.3 Sección Rectangular.

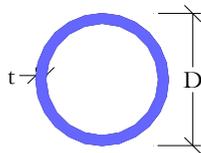
Los tubos de sección rectangular son muy resistentes a la flexión permitiendo un mejor uso del material. Igualmente, son muy eficientes a la compresión axial y son recomendados como vigas, para momentos grandes, cargas axiales moderadas y valores pequeños de longitud efectiva.

Se realizaron los cálculos de las dimensiones y propiedades geométricas de los perfiles tubulares (HSS) rectangulares utilizados en el país y se encuentran especificados en la [Tabla 1.3](#)

En las siguientes tablas se muestran los siguientes valores:

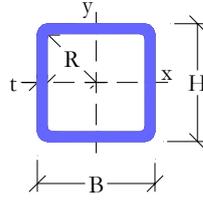
- D = Diámetro de la sección circular (pulg y mm).
- H= Altura de las secciones cuadrada y rectangular (mm).
- B = Ancho de las secciones cuadrada y rectangular (mm).
- t = Espesor (mm).
- R = Radio interno (mm).
- Area de la sección transversal (cm²).
- Peso por unidad de longitud (Kg/m).
- I = Inercia (cm⁴).
- r = Radio de giro inercial (cm).
- Z = Módulo de sección plástico (cm³).
- S = Módulo de sección elástico (cm³).

Tabla 1.1 Dimensiones y propiedades geométricas. HSS nacionales. Sección circular



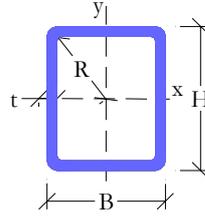
					Propiedades Estáticas			
Diámetro Externo		Espesor	Area de sección	Peso	I	r	Z	S
pulg.	mm.	mm.	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³
3	76,2	2,25	5,23	4,10	35,76	2,62	12,31	9,39
3 1/2	88,9	2,25	6,12	4,81	57,53	3,06	16,90	12,94
4 1/2	114,3	2,50	8,78	6,89	137,30	3,95	31,25	24,02
5	127,0	3,00	11,69	9,17	224,79	4,39	46,14	35,40
5 1/2	139,7	3,40	14,56	11,43	338,34	4,82	63,18	48,44
6	152,4	4,00	18,65	14,64	513,75	5,25	88,11	67,42
6 5/8	168,3	4,30	22,15	17,39	745,41	5,80	115,68	88,58
7 5/8	193,7	4,50	26,75	21,00	1197,76	6,69	161,12	123,67
8 5/8	219,1	5,50	36,91	28,97	2106,49	7,55	250,99	192,29
9 5/8	244,5	5,50	41,30	32,42	2950,86	8,45	314,22	241,38
9 5/8	244,5	7,00	52,23	41,00	3685,37	8,40	394,96	301,46
10 3/4	273,1	7,00	58,52	45,94	5183,53	9,41	495,78	379,61
10 3/4	273,1	9,00	74,67	58,62	6515,39	9,34	627,98	477,14
12 3/4	323,9	9,00	89,04	69,89	11044,68	11,14	892,70	681,98
12 3/4	323,9	11,00	108,13	84,88	13243,47	11,07	1077,41	817,75

Tabla 1.2 Dimensiones y propiedades geométricas. HSS nacionales. Sección cuadrada.



HxB	Espesor	Radio Interno	Area de sección	Peso	Propiedades Estáticas				
					I	r	Z	S	
mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	
60	60	2,25	3,38	5,02	3,94	27,23	2,33	10,74	9,08
70	70	2,25	3,38	5,92	4,65	44,40	2,74	14,89	12,69
90	90	2,50	3,75	8,54	6,70	107,10	3,54	27,76	23,80
100	100	3,00	4,50	11,33	8,89	174,40	3,92	40,82	34,88
110	110	3,40	5,10	14,10	11,07	261,91	4,31	55,81	47,62
120	120	4,00	6,00	18,01	14,14	395,29	4,68	77,50	65,88
135	135	4,30	6,45	21,85	17,15	609,45	5,28	105,97	90,29
155	155	4,50	6,75	26,39	20,72	978,68	6,09	147,58	126,28
175	175	5,50	8,25	36,25	28,46	1701,47	6,85	228,09	194,45
200	200	5,50	8,25	41,75	32,77	2588,71	7,87	301,86	258,87
200	200	7,00	10,50	52,36	41,10	3175,88	7,79	374,60	317,59
220	220	7,00	10,50	57,96	45,50	4294,07	8,61	458,18	390,37
220	220	9,00	13,50	73,18	57,45	5275,12	8,49	571,10	479,56
260	260	9,00	13,50	87,58	68,75	8987,79	10,13	815,01	691,37

Tabla 1.3 Dimensiones y propiedades geométricas. HSS nacionales. Sección rectangular.



HxB mm	Espesor mm	Radio Interno mm	Área de sección		Propiedades Estáticas									
			cm ²	kg/m	Peso	Ix	rx	Zx	Sx	Iy	ry	Zy	Sy	
80	2,25	3,38	5,02	3,94	40,37	2,83	12,72	10,09	13,84	1,66	7,87	6,92		
100	2,25	3,38	5,92	4,65	71,07	3,46	18,19	14,21	17,05	1,70	9,57	8,53		
120	2,50	3,75	8,54	6,70	158,80	4,31	32,87	26,47	54,67	2,53	20,39	18,22		
140	3,00	4,50	11,33	8,89	273,27	4,91	49,44	39,04	73,46	2,55	27,40	24,49		
160	3,40	5,10	14,44	11,34	447,97	5,57	71,35	56,00	110,41	2,77	37,99	33,97		
180	4,00	6,00	18,41	14,45	694,88	6,14	100,01	77,21	140,88	2,77	48,66	43,35		
200	4,30	6,45	21,85	17,15	1011,88	6,81	131,35	101,19	194,94	2,99	62,42	55,70		
220	4,50	6,75	26,39	20,72	1556,37	7,68	179,84	141,49	388,33	3,84	96,31	86,30		
260	5,50	8,25	36,25	28,46	2832,96	8,84	283,04	217,92	536,09	3,85	133,39	119,13		
300	5,50	8,25	41,75	32,77	4352,63	10,21	376,14	290,18	776,98	4,31	172,58	155,40		
300	7,00	10,50	52,36	41,10	5332,20	10,09	466,29	355,48	943,58	4,25	212,91	188,72		
320	7,00	10,50	57,96	45,50	7001,96	10,99	563,86	437,62	1512,19	5,11	282,49	252,03		
320	9,00	13,50	73,18	57,45	8590,54	10,83	702,09	536,91	1841,21	5,02	350,10	306,87		
350	9,00	13,50	87,58	68,75	13476,04	12,40	969,36	770,06	4418,15	7,10	587,77	519,78		

1.2 COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ANTE CARGAS DE COMPRESIÓN.

La información que sigue a continuación fue tomada del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor Jose Manuel Velazquez(2001).

1.2.1 PANDEO LOCAL ELÁSTICO

Los miembros comprimidos de acero están constituidos por elementos de espesores relativamente delgados. Estos elementos son muy susceptibles a pandear localmente, en forma de ondas, al ser sometidos a tensiones de compresión en su plano.

Bajo ciertas condiciones, entre ellas fundamentalmente el espesor de los elementos que conforman la sección transversal, puede ocurrir el fenómeno de pandeo local y disminuirse apreciablemente la capacidad resistente del miembro muy por debajo de su carga crítica. Esta posibilidad debe considerarse para precisar en que forma se puede evitar o aminorar el pandeo y así disponer de la capacidad resistente total del miembro.

1.2.1a Plancha Rectangular Sometida a Compresión Uniforme.

Para ilustrar el problema se considera una plancha aislada de espesor t , simplemente apoyada en sus cuatro lados y sometida a una tensión de compresión uniforme, como se indica en la [Figura 1.1](#)

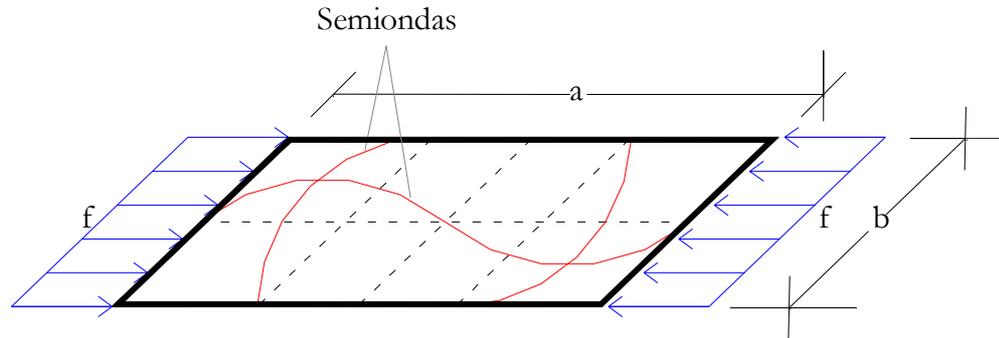


Figura 1.1 Forma típica de pandeo de una plancha con sus cuatro lados simplemente apoyados. Deformada correspondiente a dos semiondas.

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

El análisis teórico de esta plancha en una posición ligeramente deformada, resulta en una tensión crítica de compresión dada por la fórmula siguiente:

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1-\nu^2)(b/t)^2} K \quad (1.1)$$

En donde:

$$K = \left(\frac{a}{m \cdot b} + m \frac{b}{a} \right)^2$$

En esta fórmula, ν es el módulo de Poisson y m es el número de semiondas que aparecen en la dirección de la tensión de compresión; el coeficiente a/b se denomina relación de aspecto. En el [Gráfico 1.1](#) se observa la variación de K para diversos valores de m en función de la relación de aspecto a/b .

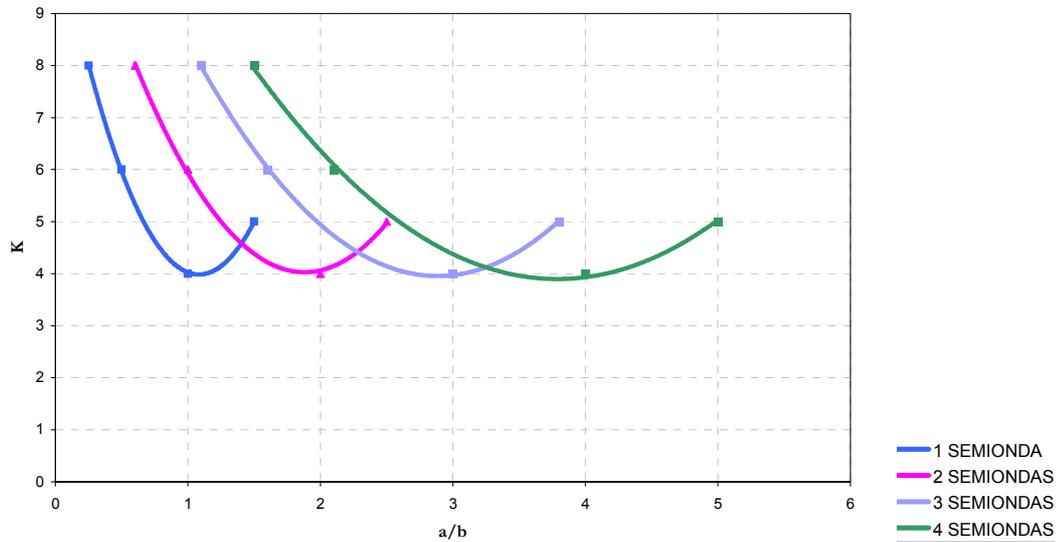


Gráfico 1.1 Envoltente del factor **K** para el caso de una plancha simplemente apoyada en sus cuatro lados.

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

Puede observarse un valor mínimo de **K**, y una tensión crítica mínima, correspondiente a diversos números de semiondas **m**, valores que coinciden con la magnitud correspondiente de la relación **a/b**. La característica más importante de este gráfico es la tendencia de **K** hacia un valor mínimo de 4 para relaciones **a/b** mayores a 3. En la práctica los valores de **a/b** son muy superiores a 3, por lo tanto este valor mínimo de **K** sería representativo para todas las planchas comprimidas uniformemente y simplemente apoyadas en sus cuatro lados. El planteamiento teórico se puede extender a otros casos de compresión uniforme en el plano, de planchas con diferentes tipos de vinculación, donde resultarán expresiones diferentes para **K**. Las curvas se idealizan como envolventes a los efectos de simplificar los resultados de la teoría. En los criterios usuales de diseño se trata de garantizar que el miembro comprimido pueda alcanzar la tensión límite cedente **F_y**, antes de

que pueda presentarse un problema de pandeo local, en cualquiera de las planchas que forman la sección. Este criterio se expresa como:

$$f_{cr} \geq F_y$$

$$K \frac{\pi^2 \cdot E}{12(1-\nu^2)(b/t)^2} \geq F_y$$

Para el módulo de Poisson $\nu = 0.3$

$$\frac{b}{t} < 0.95 \sqrt{K} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (1.2)$$

1.2.1b Plancha Rectangular Sometida a Flexión en su Plano

La tensión crítica resulta en una expresión similar a la que corresponde a una compresión uniforme:

$$f_{cr} = \frac{E \cdot \pi^2}{12(1-\nu^2)(b/t)^2} K$$

La diferencia estriba en que **K** no se puede obtener directamente, sino mediante la igualación a cero de un determinante que representa la condición de inestabilidad. En el [Gráfico 1.2](#), se observan las envolventes obtenidas para **K** en dos casos: a) cuatro bordes simplemente apoyados y b) dos bordes simplemente apoyados y los dos restantes empotrados.

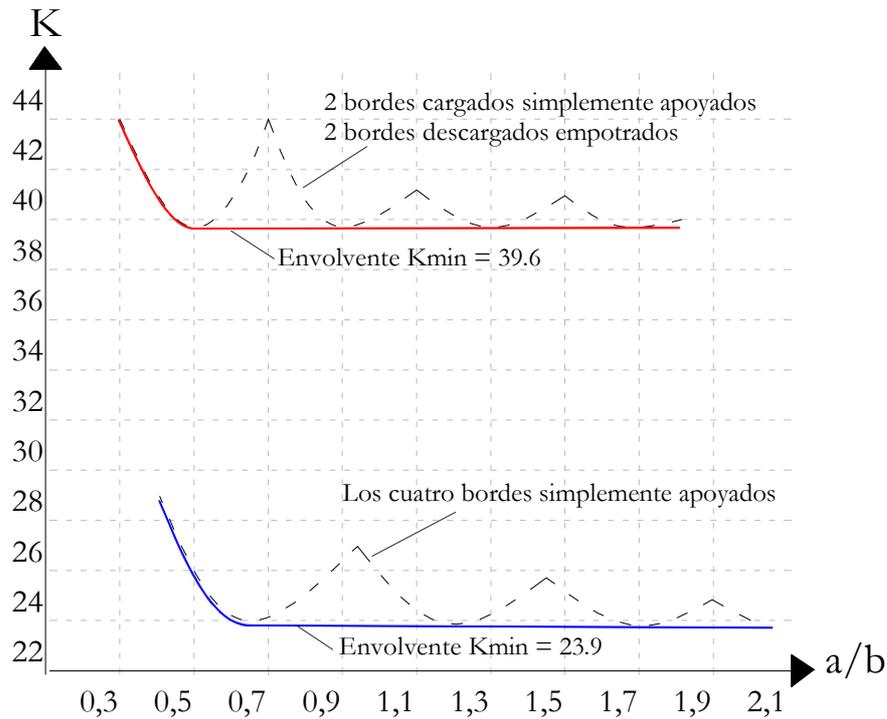


Gráfico 1.2 Envolventes del factor K para el caso de una plancha sometida a flexión.

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

Como se puede observar para relaciones de aspecto superiores a 1,5 el valor mínimo de K oscila entre 23,9 (si se asume que las alas ofrecen poca resistencia a la rotación), y 39,6 (si sucede todo lo contrario).

También aquí se toma en cuenta como criterio que:

$$f_{cr} \geq F_y$$

De donde resulta:

$$\frac{b}{t} \leq 0.95\sqrt{K}\sqrt{E/F_y} \quad (1.3)$$

1.2.1c Sección Cilíndrica Sometida a Compresión Uniforme

La solución clásica resulta en la forma siguiente:

$$f_{cr} = \frac{E t}{r \sqrt{3(1-\nu^2)}}$$

Que como puede observarse no depende de la longitud del cilindro. Para relaciones espesor-radio (t/r) pequeñas y longitudes relativamente grandes, correspondientes a casos prácticos, resulta:

$$f_{cr} = \frac{3}{5} \frac{E t}{r \sqrt{3(1-\nu^2)}}$$

Para el módulo de Poisson de 0.3 resulta:

$$f_{cr} = 0.36 \frac{E t}{r}$$

$$f_{cr} = 0.72 \frac{E t}{D}$$

Siguiendo el criterio anterior:

$$f_{cr} \geq F_y$$

$$\frac{D}{t} \leq 0.75 \frac{E}{F_y} \tag{1.4}$$

1.2.2 PANDEO LOCAL INELÁSTICO

La información que sigue a continuación fue tomada del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor Jose Manuel Velazquez(2001).

El comportamiento real de las planchas a su capacidad resistente es bastante complejo y no puede plantearse teóricamente como se hizo en el punto anterior. En una plancha típica fija en los extremos, donde aplica la tensión y simplemente apoyada en los bordes restantes, la distribución de tensiones permanece elástica hasta que alcanza la tensión crítica **f_{cr}**. A partir de este punto la tensión pierde uniformidad y se va desarrollando una resistencia post-pandeo que es muy pequeña para relaciones **b/t** pequeñas y mucho más elevada para mayores relaciones **b/t**.

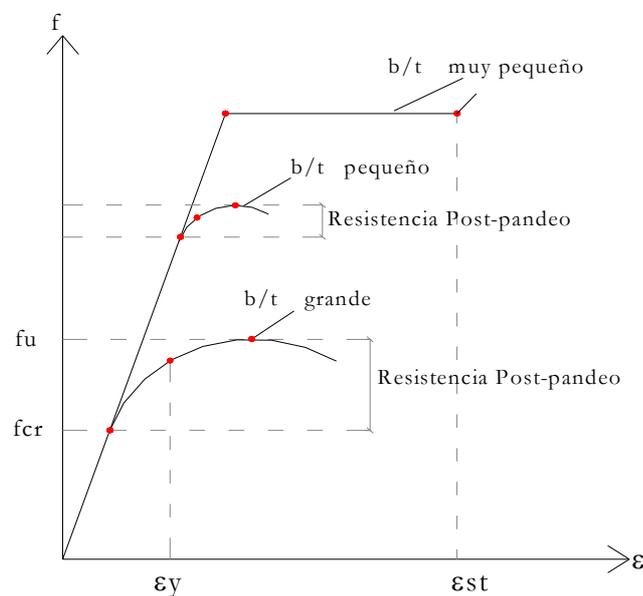


Gráfico 1.3 Comportamiento generalizado de una plancha comprimida en el rango inelástico.

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

Si definimos $1/\lambda^2$ como la relación f_{cr}/F_y de las expresiones teóricas para pandeo elástico de planchas, resulta:

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(b/t)^2} K$$

$$\lambda = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{12 \cdot F_y \cdot (1-\nu^2)}{\pi^2 E K}}$$

De los trabajos experimentales se obtienen los siguientes valores de:

Columnas $\lambda = 0.173$ para $KL/r = 15.70$

Alas articuladas $\lambda = 0.455$ para $b/t = 8.15$

Alas fijas $\lambda = 0.461$ para $b/t = 14.30$

Almas articuladas $\lambda = 0.588$ para $b/t = 32.30$

Almas fijas $\lambda = 0.579$ para $b/t = 42.00$

En resumen, la resistencia de planchas sometidas a compresión en su plano, puede esquematizarse de la siguiente manera:

Efecto de endurecimiento para bajos valores de λ , cedencia para λ entre 0.5 y 0.6, pandeo inelástico en una zona transición y pandeo elástico para λ cercano a 1.4.

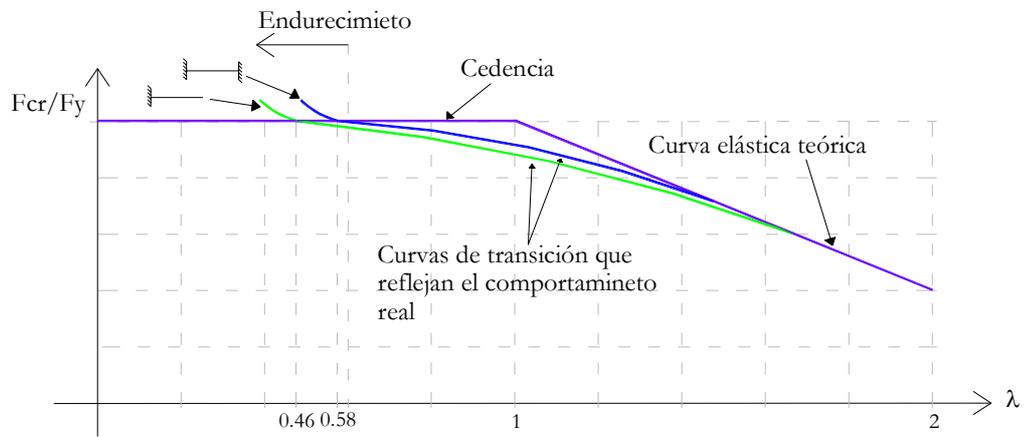


Gráfico 1.4 Efectos de la relación ancho-espesor en el comportamiento post-pandeo

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

1.3 REQUISITOS NORMATIVOS

Estos requisitos normativos son una adaptación al español de las Normas AISC (Noviembre, 2001) (Ref. 3)

De acuerdo a lo anteriormente tratado, se deben limitar las relaciones ancho/espesor de las planchas que conforman una sección a fin de garantizar que el pandeo local de éstas no suceda antes que el pandeo global del elemento.

La normativa clasifica las secciones de acuerdo a la relación ancho/espesor λ :

Compactas $\lambda \leq \lambda_p$

No compactas $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$

Esbeltas $\lambda > \lambda_r$

Donde:

λ = Esbeltez de la pared del miembro

λ_p = Máxima esbeltez de la pared para sección compacta

λ_r = Máxima esbeltez de la pared para sección no compacta

Para el cálculo de λ debe considerarse lo siguiente:

a. Para conexiones tubulares circulares, λ se calcula con d/t , donde d es el diámetro exterior y t el espesor de la pared.

b. Para las alas de secciones cuadradas o rectangulares, λ se calcula como \mathbf{b}/\mathbf{t} , donde \mathbf{b} es la distancia libre entre las almas restándole los radios interiores en las esquinas. Si no se conocen los radios, se permite aproximar \mathbf{b} al valor $(\mathbf{B}-3\mathbf{t})$

c. Para las almas de secciones cuadradas o rectangulares, λ se calcula como \mathbf{h}/\mathbf{t} , donde \mathbf{h} es la distancia libre entre las alas restándole los radios interiores en las esquinas. Si no se conocen los radios, se permite aproximar \mathbf{h} al valor $(\mathbf{H}-3\mathbf{t})$.

1.3.1 Planchas de Secciones Cuadradas o Rectangulares en Compresión Uniforme.

La relación teórica obtenida resultó en la expresión:

$$\frac{b}{t} \leq 0.95\sqrt{K} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Considerando un valor mínimo de 4 para \mathbf{K} , correspondiente a la plancha simplemente apoyada.

$$\frac{b}{t} \leq 1.90 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

De acuerdo al comportamiento real elastoplástico obtenido experimentalmente, se fija λ_p para una relación de 0.58 que es donde se inicia el endurecimiento:

$$\lambda_p = \frac{b}{t} \leq 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Y se fija λ_r para una relación de 0.70 aproximadamente:

$$\lambda_r = \frac{b}{t} \leq 1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

1.3.2 Planchas de Secciones Cuadradas o Rectangulares en Compresión por Flexión

La relación obtenida resultó en la expresión:

$$\frac{b}{t} \leq 0.95 \sqrt{K} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Considerando un valor mínimo de 39.6 para **K**, correspondiente a la plancha empotrada:

$$\frac{b}{t} \leq 5.97 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Al igual que en el caso anterior, se fija λ_p para una relación de 0.6

$$\lambda_p = \frac{b}{t} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Y se fija λ_r para una relación de 0.95, ya que se desprecia el efecto de la transición:

$$\lambda_r = \frac{b}{t} \leq 5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

1.3.3 Paredes de Perfiles Tubulares de Sección Circular a Compresión Uniforme

La relación teórica obtenida resultó ser:

$$\frac{d}{t} \leq 0.75 \frac{E}{F_y}$$

Experimentalmente nunca se alcanza este valor, sino que resulta considerablemente más bajo. De hecho, nunca sobrepasa del 20% del valor teórico. La explicación es que la carga nunca llega a estar centrada y esta excentricidad precipita un pandeo prematuro.

Tomando conservadoramente un 15% del valor teórico:

$$\lambda_r = \frac{d}{t} \leq 0.114 \frac{E}{F_y}$$

1.3.4 Paredes de Perfiles Tubulares de Sección Circular a Compresión por Flexión

Partimos también de la relación teórica obtenida:

$$\frac{d}{t} \leq 0.75 \frac{E}{F_y}$$

En este caso, resulta el problema más favorable experimentalmente y se puede alcanzar la relación λ que permita definir la sección como compacta para un 10%, y como no compacta para un 40%:

$$\lambda_p = \frac{d}{t} \leq 0.0714 \frac{E}{F_y}$$

$$\lambda_r = \frac{d}{t} \leq 0.309 \frac{E}{F_y}$$

1.3.5 Planchas de Secciones Cuadradas o Rectangulares como Almas Sometidas a Flexocompresión

Para sección compacta:

Cuando $Nu/\phi_b N_y \leq 0.125$

$$\lambda_p = \frac{d}{t} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(1 - \frac{2.75 Nu}{\phi_b N_y} \right)$$

Cuando $Nu/\phi_b N_y > 0.125$

$$\lambda_p = \frac{d}{t} \leq 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(2.33 - \frac{Nu}{\phi_b N_y} \right)$$

Pero siempre $\geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

Para sección no compacta: $\lambda_r = \frac{D}{t} \leq 5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left(1 - \frac{0.74 Nu}{\phi_b N_y} \right)$

En resumen, se tendrán las siguientes ecuaciones para el cálculo de λ_p y λ_r :

Sección	λ_p	λ_r
Circular		
a compresión axial		$\lambda_r = \frac{d}{t} \leq 0.114 \frac{E}{F_y}$
a flexión	$\lambda_p = \frac{d}{t} \leq 0.0714 \frac{E}{F_y}$	$\lambda_r = \frac{d}{t} \leq 0.309 \frac{E}{F_y}$
Rectangular		
a compresión uniforme	$\lambda_p = \frac{b}{t} \leq 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\lambda_r = \frac{b}{t} \leq 1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
a compresión por flexión	$\lambda_p = \frac{b}{t} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$\lambda_r = \frac{b}{t} \leq 5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

A continuación se presentan las tablas donde se calcula la relación ancho/espesor para los distintos perfiles.

Tabla 1.4 Relación ancho/espesor. HSS nacionales circulares[♦]

Diámetro Externo	Espesor	Relación Ancho/Espesor		
			(1)	(2)
pulg.	mm.	(λ)		
3	2,25	33,87	*	*
3 1/2	2,25	39,51	*	*
4 1/2	2,50	45,72	*	*
5	3,00	42,33	*	*
5 1/2	3,40	41,09	*	*
6	4,00	38,10	*	*
6 5/8	4,30	39,14	*	*
7 5/8	4,50	43,04	*	*
8 5/8	5,50	39,84	*	*
9 5/8	5,50	44,45	*	*
9 5/8	7,00	34,93	*	*
10 3/4	7,00	39,01	*	*
10 3/4	9,00	30,34	*	*
12 3/4	9,00	35,99	*	*
12 3/4	11,00	29,45	*	*

[♦] * Sección Compacta. ** Sección No Compacta. *** Sección Esbelta.

(1) Perfil sometido a compresión axial. (2) Perfil sometido a Flexión. (3) Perfil sometido a Compresión por Flexión.

Tabla 1.5 Relación ancho/espesor. HSS nacionales cuadradas[♦]

HxB		Espesor	Relación		
			Ancho/Espesor		
mm	mm	mm	(λ)	(1)	(3)
60	60	2,25	23,66	*	*
70	70	2,25	28,11	**	*
90	90	2,50	33,00	**	*
100	100	3,00	30,33	**	*
110	110	3,40	29,35	**	*
120	120	4,00	27,00	*	*
135	135	4,30	28,40	**	*
155	155	4,50	31,44	**	*
175	175	5,50	28,82	**	*
200	200	5,50	33,36	**	*
200	200	7,00	25,57	*	*
220	220	7,00	28,43	**	*
220	220	9,00	21,44	*	*
260	260	9,00	25,89	*	*

[♦] * Sección Compacta. ** Sección No Compacta. *** Sección Esbelta.

(1) Perfil sometido a compresión axial. (2) Perfil sometido a Flexión. (3) Perfil sometido a Compresión por Flexión.

Tabla 1.6 Relación ancho/espesor. HSS nacionales rectangulares[♦]

HxB	Espesor	Relación			Relación		
		Ancho/Espesor	alma		Ancho/Espesor	alas	
mm	mm	(λ)	(1)	(3)	(λ)	(1)	(3)
80 40	2,25	32,55	**	*	14,77	*	*
100 40	2,25	41,44	***	*	14,77	*	*
120 60	2,50	45,00	***	*	21,00	*	*
140 60	3,00	43,67	***	*	17,00	*	*
160 65	3,40	44,06	***	*	16,12	*	*
180 65	4,00	42,00	***	*	13,25	*	*
200 70	4,30	43,51	***	*	13,28	*	*
220 90	4,50	45,89	***	*	17,00	*	*
260 90	5,50	44,27	***	*	13,36	*	*
300 100	5,50	51,55	***	*	15,18	*	*
300 100	7,00	39,86	***	*	11,29	*	*
320 120	7,00	42,71	***	*	14,14	*	*
320 120	9,00	32,56	**	*	10,33	*	*
350 170	9,00	35,89	***	*	15,89	*	*

[♦] * Sección Compacta. ** Sección No Compacta. *** Sección Esbelta.

(1) Perfil sometido a compresión axial. (2) Perfil sometido a Flexión. (3) Perfil sometido a Compresión por Flexión.

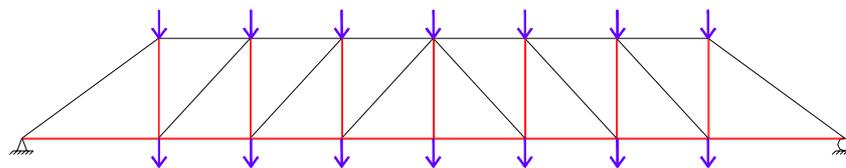
**PERFILES TUBULARES
CAPACIDADES RESISTENTES**

CAPÍTULO 2

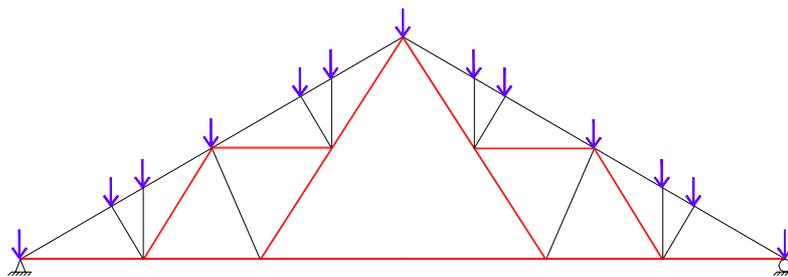
2.1 MIEMBROS SOMETIDOS A TRACCIÓN.

La información que sigue a continuación fue tomada del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor Jose Manuel Velazquez(2001).

Los miembros sometidos a tracción axial se presentan en los miembros principales de las celosías o armaduras para techos, puentes, torres de transmisión, etc. También pueden encontrarse en numerosos miembros secundarios de los sistemas de arriostramiento de estructuras aporticadas en general. En la [Figura 2.1](#), se observan algunos ejemplos típicos, donde se resaltan en color rojo los miembros traccionados.



Celosía para puentes



Celosía para techos

Figura 2.1 Ejemplos típicos de celosías

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

En principio, el diseño de estos elementos es relativamente simple, ya que no se presentan problemas de pandeo. El procedimiento general de diseño contempla verificar que la sección transversal tenga la resistencia suficiente y que el miembro sea suficiente rígido para evitar vibraciones indeseables, flechas excesivas, etc.

Una adecuada selección del tipo de sección transversal y el tipo de conexión, producirá un diseño económico y conveniente constructivamente.

2.1.1 Comportamiento a Tracción

En el [Gráfico 2.1](#) se muestran los diagramas de Tensión-Deformación típicos, resultantes de ensayar a tracción axial pequeñas probetas de acero.

El [Gráfico 2.2](#) detalla el sector inicial de la curva correspondiente al acero Sidor PS-25 ($F_y = 2500 \text{ Kg. /cm}^2$). Este sector es el que se considera importante ya que, deformaciones unitarias mayores a 0,02 serían intolerables, desde el punto de vista de uso para cualquier miembro.

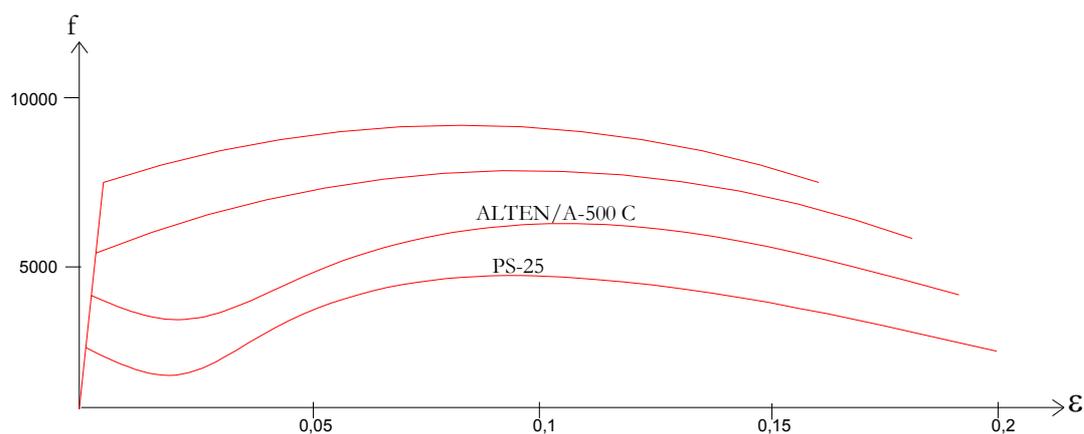


Gráfico 2.1 Diagrama Tensión-Deformación para probetas de diversos aceros.

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

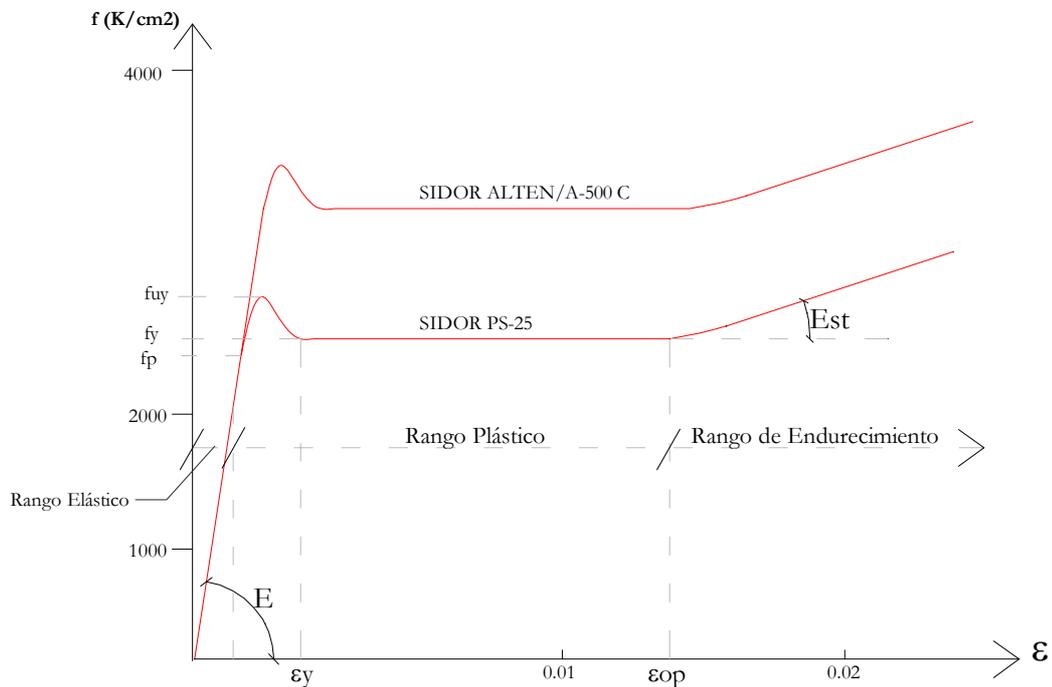


Gráfico 2.2 Detalle del sector inicial del diagrama Tensión-Deformación.

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

En la figura se definen las siguientes propiedades fundamentales:

E: Pendiente en el rango elástico. Usualmente se considera el valor único de $2.100.000 \text{ Kg/cm}^2$ para todos los aceros y se le denomina Módulo de Elasticidad o Módulo de Young.

fp: Tensión que define el límite de validez para una relación lineal entre tensiones y deformaciones unitarias. A partir de este punto denominado Límite de Proporcionalidad, el diagrama se curva ligeramente.

fuy: tensión que define un límite superior de la cedencia de la probeta.

F_y: Tensión ligeramente inferior a **f_{uy}**, denominada Límite Cedente, a partir de la cual el material cede completamente alargándose sin que aumente la tensión en forma apreciable.

ε_y: Deformación unitaria correspondiente a la tensión Límite Cedente.

Est: Pendiente de la curva al iniciarse el proceso de endurecimiento del material, a la cual se denomina Módulo Inicial de Endurecimiento.

ε_{st}: Deformación unitaria al iniciarse el endurecimiento.

Los diagramas Tensión-Deformación mostrados anteriormente corresponden al material idealizado en una probeta de pequeñas proporciones.

Cuando se ensayan miembros completos el diagrama resulta similar pero con una alteración importante, ya que el Límite de Proporcionalidad **f_p** disminuye apreciablemente y no se presenta **f_{uy}** como se observa en el [Gráfico 2.3](#).

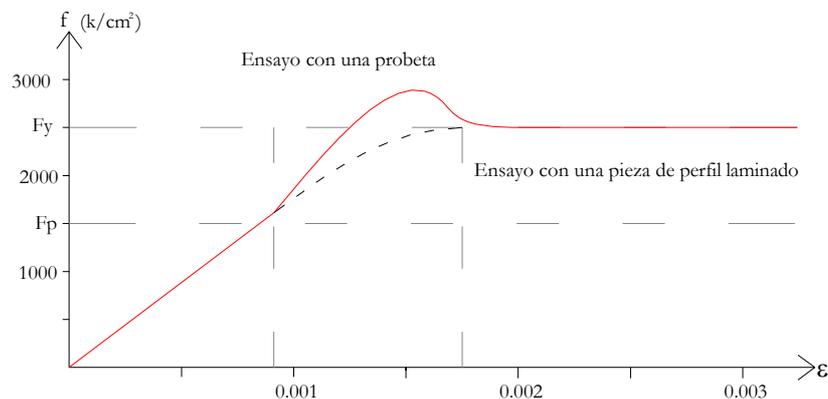


Gráfico 2.3 Diferencia entre los diagramas Tensión-Deformación para probetas y para piezas de perfiles laminados

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

Esta diferencia de comportamiento se debe a desviaciones en la aplicación de la carga, secciones transversales desiguales en el miembro, defectos de laminación, etc. Y fundamentalmente debido a la presencia de tensiones residuales. Sin embargo, la Tensión Límite Cedente F_y no se modifica y globalmente la capacidad resistente del miembro no se altera. Por tal motivo, este efecto no tiene ninguna consecuencia en el diseño de miembros sometidos a tracción axial, siendo de importancia su consideración en miembros sometidos a compresión axial o que involucre problemas importantes de fatiga.

2.1.2 Diseño de Miembros Traccionados.

2.1.2a Criterios de Resistencia.

Consideremos un miembro simple sometido a tracción, con o sin agujero, como se indica en el [Gráfico 2.4](#).

En ambos casos, para tensiones menores a F_p las piezas se mantendrán en el rango elástico. Si se incrementa la carga y la tensión actuante F_t supera a F_p , las piezas entran en comportamiento plástico. Para determinado valor de carga, toda la sección transversal se hallará bajo un estado de tensión uniforme cedente F_y y habrá alcanzado su máxima resistencia.

Para la pieza sin agujero: $T_u = F_y \cdot A_g$.

Para la pieza con agujero: $T_u = F_y \cdot A_n$

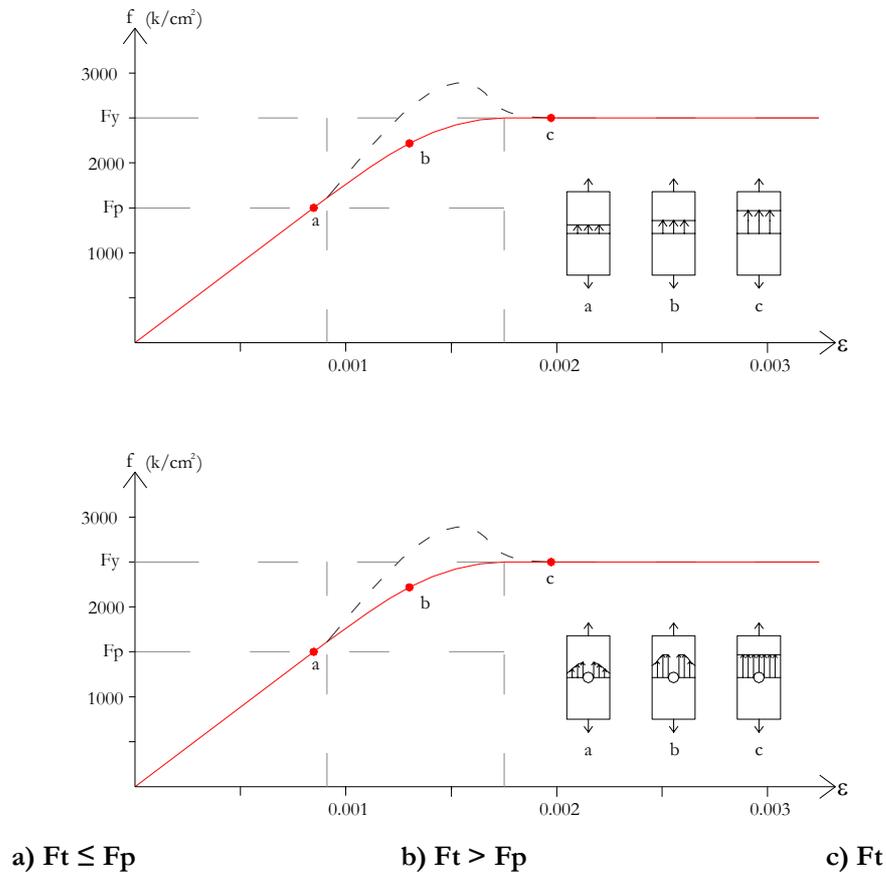


Gráfico 2.4 Comportamiento a tracción de una sección con o sin agujero.

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

En donde **Ag**, es el área total de la sección y **An** es el área neta. Para tomar en cuenta el efecto de concentración de tensiones, la excentricidad de la carga, etc., se utilizará el área neta efectiva **Ae**:

$$T_u = F_y \cdot A_e$$

Una vez que la sección alcance **Fy**, en las proximidades de los agujeros de la conexión, se inicia el proceso de endurecimiento hasta alcanzar la tensión resistente a la tracción **Fu**. Los ensayos demuestran frecuentemente que previamente a esta situación, en secciones relativamente

alejadas de los agujeros, ya la pieza ha alcanzado su tensión cedente **Fy**. Esta posibilidad se constituiría en el criterio de diseño del miembro.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, la Norma establece la resistencia a tracción **$\Phi_t P_n$** como el menor valor entre:

- a. Cedencia en el área total de la sección:

$$\Phi_t = 0.9 \qquad P_n = F_y \cdot A_g$$

- b. Fractura en el área neta efectiva de la sección:

$$\Phi_t = 0.75 \qquad P_n = F_y \cdot A_e$$

2.1.2b Consideraciones de las áreas.

Se definen tres tipos de área para el cálculo de la capacidad resistente.

- a. Área total **A_g**

b. Área neta **A_n**, la cual resulta al descontarle al área total los surcos, ranuras o agujeros que permitan acomodar planchas o cartelas en general

c. Área neta efectiva **A_e**, que corresponde al área neta afectada por un factor de reducción **U** con la intención de considerar la forma de la conexión, concentración de tensiones, excentricidad de carga, etc.

$$A_e = U \cdot A$$

- c.1) Para una conexión donde el tubular está soldado en todo el perímetro

$$U = 1 \qquad A = A_g$$

c.2) Para una conexión con una cartela dispuesta concéntricamente, dentro de una ranura hecha al tubular:

$$U = 1 - \left(\frac{\bar{X}}{L} \right) \leq 0.9 \qquad A = A_n$$

En donde **L** es la longitud de la conexión en dirección de la carga y **X** es su excentricidad, medida como la distancia perpendicular desde la soldadura al centroide del área de la sección transversal que sea tributaria a esa soldadura.

Para tubulares de sección circular:

$$\bar{X} = \frac{d}{\pi}$$

Para tubulares de sección rectangular:

$$\bar{X} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B + H)}$$

c.3) Para conexiones de tubulares de sección rectangular conectadas con un par de cartelas laterales:

$$U = 1 - \left(\frac{\bar{X}}{L} \right)$$

$$A = A_g$$

$$\bar{X} = \frac{B^2}{4(B + H)}$$

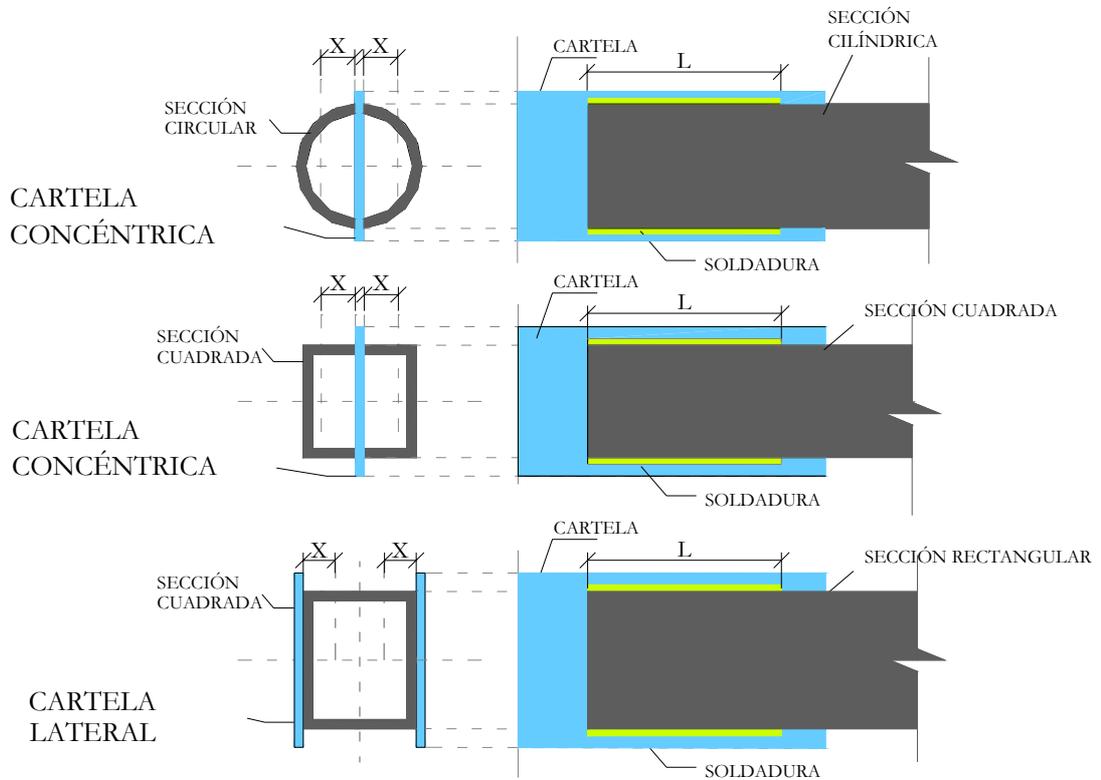


Figura 2.2 Consideración de la excentricidad de una conexión.

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

2.1.2c Criterios de Rigidez.

En general, la consideración de la estabilidad no es de importancia en elementos sometidos a tracción. Sin embargo, es necesario controlar las dimensiones de la sección transversal en relación a la longitud, para evitar una flexibilidad excesiva, vibraciones indeseables, etc. La norma establece como criterio de rigidez que la relación de esbeltez L/r no exceda preferiblemente de 300. En el caso de que pudiese ser sometido a una compresión menor a la carga crítica, para alguna combinación de carga diferente, no necesita cumplirse la limitación de L/r para elementos comprimidos axialmente.

A continuación se presentan las tablas con los valores de Resistencia a tracción calculadas para los distintos casos antes expuestos.

Tabla 2.1 Resistencia a Tracción Axial. HSS nacionales. Para una conexión donde el tubular está soldado en todo el perímetro.

Sección Rectangular			
HxB	Espesor	ϕP_n	
mm.	mm.	Kg.f	
80 40	2,25	13187	
100 40	2,25	15549	
120 60	2,50	22405	
140 60	3,00	29744	
160 65	3,40	37907	
180 65	4,00	48328	
200 70	4,30	57345	
220 90	4,50	69286	
260 90	5,50	95160	
300 100	5,50	109597	
300 100	7,00	137439	
320 120	7,00	152139	
320 120	9,00	192094	
350 170	9,00	229894	

Sección Cuadrada			
HxB	Espesor	ϕP_n	
mm.	mm.	Kg.f	
60 60	2,25	13187	
70 70	2,25	18659	
90 90	2,50	26887	
100 100	3,00	35693	
110 110	3,40	44417	
120 120	4,00	56733	
135 135	4,30	68813	
155 155	4,50	83143	
175 175	5,50	114192	
200 200	5,50	131517	
200 200	7,00	164926	
220 220	7,00	182566	
220 220	9,00	230513	
260 260	9,00	275873	

Sección Circular			
Díámetro Externo	Espesor	ϕP_n	
pulg.	mm.	Kg.f	
3	2,25	12545	
3 1/2	2,25	14700	
4 1/2	2,50	21074	
5	3,00	28048	
5 1/2	3,40	34941	
6	4,00	44756	
6 5/8	4,30	53171	
7 5/8	4,50	64194	
8 5/8	5,50	88578	
9 5/8	5,50	99111	
9 5/8	7,00	125350	
10 3/4	7,00	140444	
10 3/4	9,00	179214	
12 3/4	9,00	213686	
12 3/4	11,00	259513	

TABLA 2.2 Resistencia a Tracción Axial. HSS nacionales. Sección circular. Para una conexión con una cartela dispuesta concéntricamente dentro de una ranura hecha al tubular.

Sección Circular	Diámetro		ϕP_n				
	Externo	Espesor	U				
	pulg.	mm.	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
	3	2,25	10620	11379	12138	12896	13655
	3 1/2	2,25	12444	13333	14222	15111	16000
	4 1/2	2,50	17840	19115	20389	21663	22938
	5	3,00	23745	25441	27137	28833	30529
	5 1/2	3,40	29580	31693	33805	35918	38031
	6	4,00	37889	40595	43302	46008	48715
	6 5/8	4,30	45012	48228	51443	54658	57873
	7 5/8	4,50	54344	58226	62108	65989	69871
	8 5/8	5,50	74987	80343	85699	91055	96411
	9 5/8	5,50	83904	89897	95890	101883	107876
	9 5/8	7,00	106116	113696	121276	128855	136435
	10 3/4	7,00	118895	127387	135880	144372	152865
	10 3/4	9,00	151716	162553	173390	184226	195063
	12 3/4	9,00	180899	193820	206741	219663	232584
	12 3/4	11,00	219694	235387	251079	266771	282464

TABLA 2.3 Resistencia a Tracción Axial. HSS nacionales. Sección cuadrada. Para una conexión con una cartela dispuesta concéntricamente dentro de una ranura hecha al tubular.

	HxB		Espesor	ϕP_n				
	U			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
	pulg.	mm.	mm.					
Sección Cuadrada	60	60	2,25	10206	10935	11665	12394	13123
	70	70	2,25	12035	12895	13754	14614	15474
	90	90	2,50	17342	18580	19819	21058	22297
	100	100	3,00	23022	24666	26311	27955	29599
	110	110	3,40	28649	30695	32742	34788	36834
	120	120	4,00	36593	39207	41821	44434	47048
	135	135	4,30	44385	47555	50725	53896	57066
	155	155	4,50	53627	57458	61288	65119	68950
	175	175	5,50	73654	78915	84176	89437	94698
	200	200	5,50	84828	90887	96947	103006	109065
	200	200	7,00	106377	113976	121574	129173	136771
	220	220	7,00	117755	126166	134577	142988	151400
	220	220	9,00	148681	159301	169921	180541	191161
	260	260	9,00	177938	190648	203358	216068	228778

TABLA 2.4 Resistencia a Tracción Axial. HSS nacionales. Sección rectangular. Para una conexión con una cartela dispuesta concéntricamente dentro de una ranura hecha al tubular.

Sección Rectangular	HxB		Espesor	ϕP_n				
				U				
	pulg.	mm.	mm.	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
	80	40	2,25	10206	10935	11665	12394	13123
	100	40	2,25	12035	12895	13754	14614	15474
	120	60	2,50	17342	18580	19819	21058	22297
	140	60	3,00	23022	24666	26311	27955	29599
	160	65	3,40	29340	31436	33531	35627	37723
	180	65	4,00	37406	40078	42749	45421	48093
	200	70	4,30	44385	47555	50725	53896	57066
	220	90	4,50	53627	57458	61288	65119	68950
	260	90	5,50	73654	78915	84176	89437	94698
	300	100	5,50	84828	90887	96947	103006	109065
	300	100	7,00	106377	113976	121574	129173	136771
	320	120	7,00	117755	126166	134577	142988	151400
	320	120	9,00	148681	159301	169921	180541	191161
	350	170	9,00	177938	190648	203358	216068	228778

TABLA 2.5 Resistencia a Tracción Axial. HSS nacionales. Sección cuadrada. Para una conexión mediante un par de cartelas dispuestas lateralmente.

Sección Cuadrada			ϕP_n					
	HxB	Espesor	U					
	pulg.	pulg.	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	
	60	60	2,25	11341	12151	12961	13771	14581
	70	70	2,25	13372	14327	15283	16238	17193
	90	90	2,50	19269	20645	22021	23398	24774
	100	100	3,00	25580	27407	29234	31061	32888
	110	110	3,40	31832	34106	36380	38653	40927
	120	120	4,00	40659	43563	46467	49372	52276
	135	135	4,30	49316	52839	56361	59884	63407
	155	155	4,50	59586	63842	68098	72354	76611
	175	175	5,50	81837	87683	93528	99374	105220
	200	200	5,50	94254	100986	107718	114451	121183
	200	200	7,00	118197	126640	135082	143525	151968
	220	220	7,00	130839	140185	149530	158876	168222
	220	220	9,00	165201	177001	188801	200601	212401
	260	260	9,00	197709	211831	225953	240075	254197

TABLA 2.6 Resistencia a Tracción Axial. HSS nacionales. Sección rectangular. Para una conexión mediante un par de cartelas dispuestas lateralmente.

Sección Rectangular	HxB		Espesor	ϕP_n				
	U			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
	pulg.	pulg.	U					
	80	40	2,25	11341	12151	12961	13771	14581
	100	40	2,25	13372	14327	15283	16238	17193
	120	60	2,50	19269	20645	22021	23398	24774
	140	60	3,00	25580	27407	29234	31061	32888
	160	65	3,40	32600	34928	37257	39586	41914
	180	65	4,00	41562	44531	47499	50468	53437
	200	70	4,30	49316	52839	56361	59884	63407
	220	90	4,50	59586	63842	68098	72354	76611
	260	90	5,50	81837	87683	93528	99374	105220
	300	100	5,50	94254	100986	107718	114451	121183
	300	100	7,00	118197	126640	135082	143525	151968
	320	120	7,00	130839	140185	149530	158876	168222
	320	120	9,00	165201	177001	188801	200601	212401
	350	170	9,00	197709	211831	225953	240075	254197

2.2 MIEMBROS SOMETIDOS A COMPRESIÓN AXIAL

La información que sigue a continuación fue tomada del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor Jose Manuel Velazquez(2001).

Al igual que el caso de los miembros traccionados, los comprimidos se encuentran en los miembros principales de las celosías o armaduras para techos, puentes, torres de transición, etc. En la [Figura 2.3](#) se observan algunos ejemplos típicos, donde los miembros sometidos a compresión axial se resaltan con el color rojo.

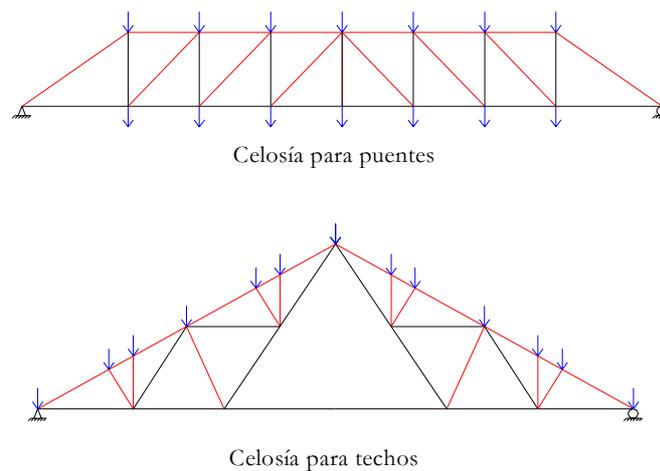


Figura 2.3 Ejemplos típicos de estructuras con miembros comprimidos axialmente

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

2.2.1 Introducción a la Estabilidad de Columnas.

Se puede ilustrar el fenómeno de pandeo o inestabilidad con los miembros indicados en la [Figura 2.4](#). En el caso del perfil muy corto es obvio suponer o intuir que este fallará o comenzará a ceder cuando la

tensión de compresión f_a alcance el valor F_y ; en este caso, la capacidad resistente del perfil tomando como criterio el estado límite cedente, será $F_y.A_g$.

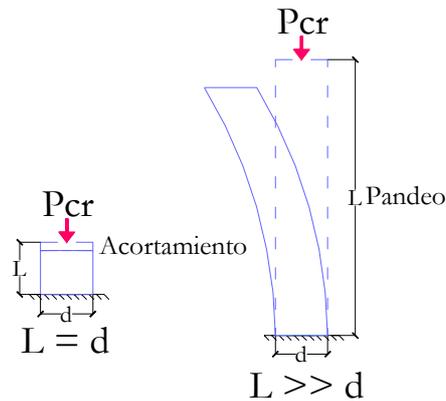


Figura 2.4 Ilustración de la diferencia entre una falla por resistencia y una falla por pandeo

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

Respecto al perfil muy esbelto, sucede el fenómeno siguiente: cuando la carga es todavía relativamente baja, por consiguiente los valores de f_a pequeños, sus incrementos solo producen acortamientos en la sección longitudinal. Cuando la carga alcance determinada magnitud, debido a la esbeltez del miembro, se producirá súbitamente una deformación lateral, que comenzará a incrementarse aceleradamente hasta colapsar el miembro. Este fenómeno es lo que se denomina pandeo y la carga axial correspondiente es la carga crítica P_{cr} . Para la relación L/d que sea igual a determinado valor, el colapso por pandeo ocurrirá antes que la falla por resistencia.

$$P_{cr} < F_y.A_g$$

En estas condiciones, el criterio de estabilidad priva sobre criterios de resistencia y rigidez, al momento de diseñar el miembro. En resumen, podemos definir carga crítica como el nivel de carga axial que induce al elemento a una pérdida de equilibrio estático.

2.2.1a Las Columnas Ideales Aisladas

De acuerdo a la teoría de la estabilidad, el planteamiento del equilibrio de miembros prismáticos de eje recto en una posición ligeramente flectada, y suponiendo las hipótesis usuales de la resistencia de materiales, da origen a una determinada expresión para la carga crítica, dependiendo de las condiciones de apoyo en los extremos. En la [Figura 2.5](#) se expresan los resultados, para varios casos ideales, señalándose el significado de la longitud efectiva. Esta sería la longitud correspondiente entre puntos de inflexión y permite expresar la carga crítica de cualquier columna en una forma completamente general:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (2.1)$$

En donde, **K** es el factor de longitud efectiva y **KL** es la longitud efectiva. En el caso particular de celosías, se consideran todas las conexiones articuladas, y por tanto, **K** siempre es 1. En la [Figura 2.6](#), se presentan los valores de **K** teóricos y los recomendados usualmente para los casos reales en la práctica. La fórmula anterior puede presentarse en una forma conveniente dividiendo ambos miembros entre el área **A** de la sección transversal y definiendo el radio de giro **r** como $\left(\frac{I}{A}\right)^{\frac{1}{2}}$

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (2.2)$$

En donde $\left(\frac{KL}{r}\right)$ se denomina relación de esbeltez efectiva. A la ecuación 2.2 se le denomina tensión crítica de Euler y es mas ventajosa que la ecuación 2.1 porque **E** es un solo valor para todos los aceros, y $\left(\frac{KL}{r}\right)$ es un relación adimensional.

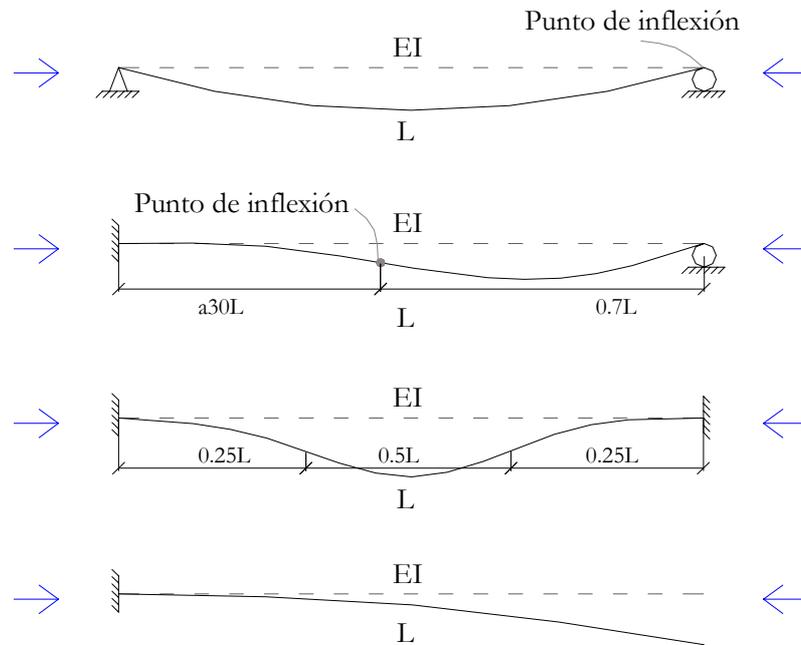


Figura 2.5 Formas de pandeo y para diversos miembros comprimidos, indicándose la longitud efectiva

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

La forma de la columna pandeada se muestra con la línea de trazos						
Valor teórico de K	0,5	0,7	1	1	2	2
Valores recomendados para el diseño cuando las restricciones reales se aproximan a las ideales	0,65	0,8	1,2	1	2,1	2
Simbolos para las restricciones en los extremos	 	rotación y traslación impedidas rotación libre y traslación impedida rotación impedida y traslación libre rotación y traslación libres				

Figura 2.6 Valores del factor K para casos ideales de restricciones en los extremos y aproximaciones recomendadas

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

2.2.1b Las Tensiones Residuales.

Estas tensiones internas en el material se originan, en los procesos de fabricación de las piezas, debido a la aparición de deformaciones plásticas. Las causas fundamentales que producen estas tensiones son:

- Enfriamientos diferenciales en la sección transversal durante el proceso de laminación.
- Calentamientos diferenciales en la sección transversal durante el proceso de soldadura.
- Deformación en frío para fabricar determinado tipo de secciones.

En los casos usuales, las tensiones residuales más importantes resultan de los procesos de laminación. En los perfiles doble **T**, primeramente se

enfrian los extremos de las alas, y en las secciones de mucha altura, se enfría la parte central del alma.

Este enfriamiento implica que estas zonas se solidifiquen antes que el resto de la sección, convirtiéndose en una restricción que impide la contracción por enfriamiento de las zonas adyacentes.

Las partes solidificadas inicialmente se han comprimido y las solidificadas posteriormente, quedan en un estado de tracción debido a la restricción mencionada.

Es importante destacar que estas tensiones se equilibran totalmente porque son tensiones internas interactuando mutuamente, y por lo tanto, la capacidad de resistencia ante tensiones externas no se altera. En el [Gráfico 2.5](#), se señalan tensiones residuales típicas de perfiles laminados. La magnitud de estas tensiones oscilan entre 700 Kg/cm^2 y 1000 Kg/cm^2 , aunque se han medido valores hasta 1400 Kg/cm^2 .

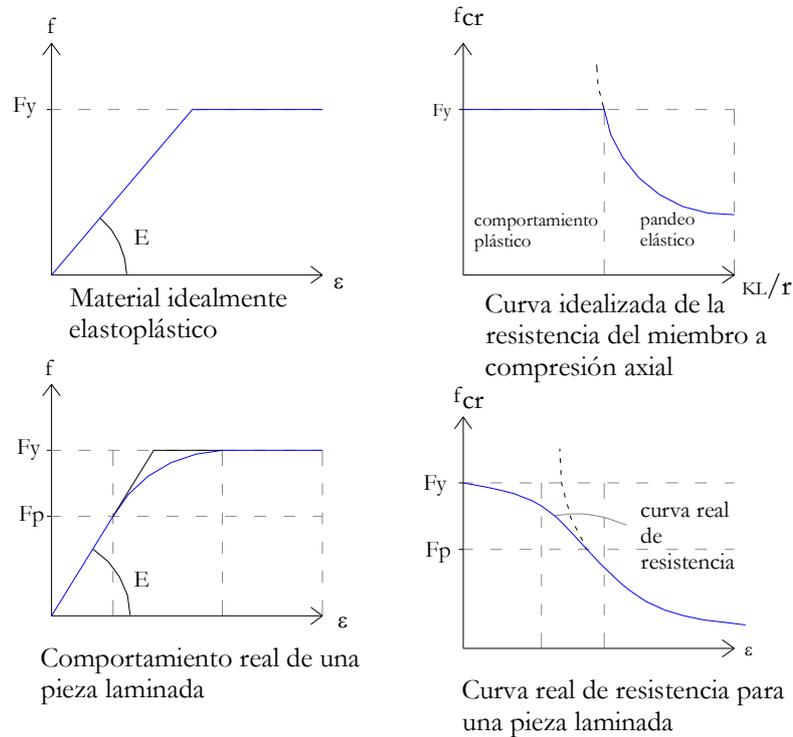


Gráfico 2.5 Efectos del comportamiento real de los miembros comprimidos en la curva de resistencia a compresión axial

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

A continuación se explicará el efecto de las tensiones residuales, analizando lo que sucede en las alas de una sección laminada; véase el [Gráfico 2.6](#). Mientras el nivel de cargas mantenga las tensiones máximas por debajo del límite cedente, el comportamiento será ligeramente elástico y se pueden suponer las tensiones:

$$f_{\min} = fa - frt$$

$$f_{\max} = fa + frc$$

Donde **frt** es la Tensión residual de tracción y **frc** es la tensión residual de compresión.

La cedencia incipiente o inicial se produce cuando las fibras de máxima tensión alcancen la magnitud F_y , es decir que:

$$f_{\max} == F_y$$

En ese instante, el comportamiento deja de ser elástico, habiendo llegado la tensión actuante f_a al valor que corresponde al límite de proporcionalidad F_p :

$$f_a = F_p$$

Entonces se cumple la relación:

$$F_y = F_p + f_{rc}$$

De donde resulta finalmente:

$$F_p = F_y - f_{rc}$$

Si se continúa aplicando la carga f_{\max} , no podrá superar F_y , extendiéndose las zonas de cedencia al resto de la sección.

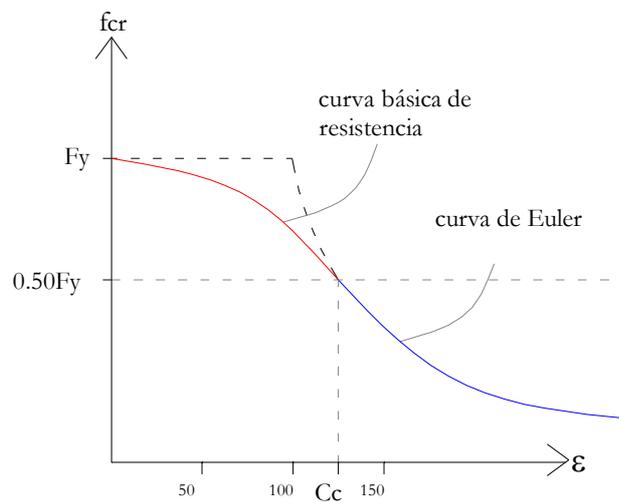


Gráfico 2.6 Curvas básicas de resistencia y de Euler para un acero de $F_y = 2500 \text{ k/cm}^2$

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LFRD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

2.2.1c Resistencia Básica de Miembros Comprimidos.

Luego de muchos años de experimentación en columnas, se encontraron valores promedios de **frc** en el orden de 30% de **Fy**. A los efectos de estimar, en forma conservadora, el valor de **frc** se estableció en las normas por tensiones admisibles que:

$$f_{rc} = 0.50 Fy$$

En ese caso

$$Fc = Fy - 0.50Fy$$

$$Fp = 0.50 Fy$$

Para tensiones actuantes, que no sobrepasen de **Fp**, el comportamiento es linealmente elástico y por lo tanto, es válida la expresión de Euler:

$$f_{cr} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

El punto límite de la curva de Euler corresponderá a un valor de $0.50Fy$ para **Fp**:

$$0.50Fy = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

De donde resulta:

$$\left(\frac{KL}{r}\right) = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Fy}}$$

Este valor de la relación de esbeltez efectiva $\left(\frac{Kl}{r}\right)$, denominada **Cc** o λ_c , es de gran importancia porque define el punto a partir del cual es válida la expresión general de Euler, ya que puede considerarse un comportamiento linealmente elástico.

Para valores de $\left(\frac{Kl}{r}\right)$ menores de **Cc**, deja de ser válida la expresión de Euler y hay que considerar un comportamiento elastoplástico.

En el **Gráfico 2.7** puede observarse cual sería el efecto de este comportamiento en la curva de resistencia del miembro comprimido.

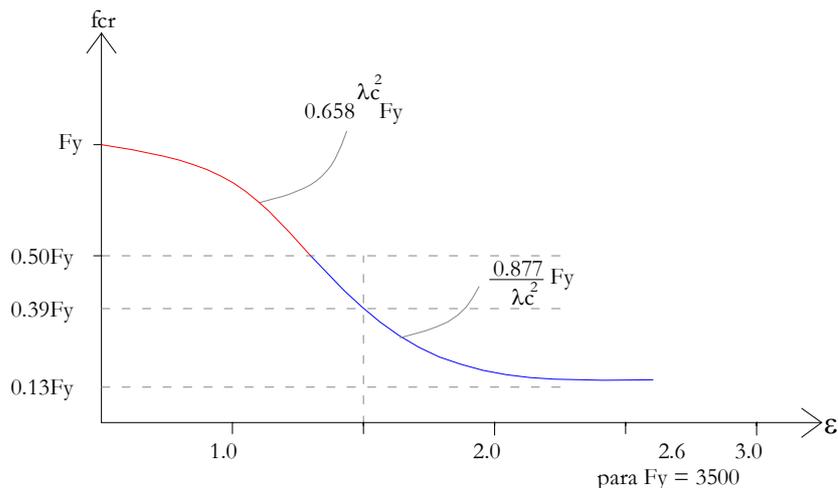


Gráfico 2.7 Gráfica para la tensión crítica de un elemento comprimido axialmente

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

Basándonos en una curva parabólica propuesta por F. Bleich, las normas consideraban una curva de resistencia definida como:

$$f_{cr} = F_y - \left(\frac{f_{rc}}{\pi^2 E}\right)(F_y - f_{rc})\left(\frac{Kl}{r}\right)$$

Para un valor fijo de $frc = 0.50f_y$, esta parábola tiene la particularidad de ser tangente a la curva elástica de Euler en el punto **Cc**, y a la vez, adecuarse bastante bien al comportamiento experimental de los miembros comprimidos:

$$F_{cr} = F_y - \left(\frac{F_y^2}{4\pi^2 E} \right) \left(\frac{KL}{r} \right)^2$$

Para el valor correspondiente de **Cc** esta expresión resulta en:

$$F_{cr} = 0.50F_y$$

La expresión general de **Frc**, en el rango de comportamiento elastoplástico puede expresarse en función de **Cc**:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}}$$

$$F_{cr} = \left[1 - \frac{1}{2C_c^2} \left(\frac{KL}{r} \right)^2 \right] F_y$$

Para la versión LRFD de la norma, se tomó en cuenta que miembros perfectamente rectos no es posible fabricar. Estas imperfecciones son tolerables siempre que $e \leq L/1000$. Conservadoramente, se considera una excentricidad de $e = L/1500$ la cual da origen a una disminución de la tensión crítica de Euler, que resulta en:

$$F_{cr} = \frac{0.877\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

Si se define la relación:

$$\lambda_c = \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)}{\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$F_{cr} = \left(\frac{0.877}{\lambda_c^2}\right) F_y$$

Resulta:

Tomando $\lambda_c=1.5$ como valor límite entre comportamiento inelástico y el elástico resulta $F_{cr}=0.39 F_y$, en lugar de $0.5 F_y$ para este límite. Este valor de λ_c se correspondería a un KL/r de 136 para $F_y=2500 \text{ k/cm}^2$.

Para el comportamiento inelástico se adopta una función exponencial, que contempla la incertidumbre en el comportamiento al aumentar la relación de esbeltez, similar a la variación de coeficientes de seguridad que se utilizaban en la norma anterior.

$$F_{cr} = \left(0.658^{\lambda_c^2}\right) F_y$$

2.2.2 Requisitos Normativos.

Estos requisitos normativos son una adaptación al español de las Normas AISC (Noviembre, 2001) (Ref. 3)

2.2.2a La Longitud Efectiva.

De acuerdo a lo tratado anteriormente, el factor de longitud efectiva K constituye un punto principal en el cálculo de la capacidad resistente de elementos comprimidos. En teoría, K oscila entre un valor mínimo de 0.5 y desde un punto de vista real, resulta imposible un valor superior a 2. Con estas premisas la norma establece:

En cerchas o celosías constituidas por cordón superior e inferior, con los montantes diagonales, que formen parte del alma, soldados en todo su perímetro a éstos:

$K = 0.75$ para montantes diagonales

$K = 0.90$ para los cordones

En cerchas o celosías que no cumplan con el requisito anterior:

$K = 1.00$ para los montantes

$K = 0.90$ para los cordones

En pórticos donde su estabilidad lateral se provea mediante arriostramiento diagonal, muros o elementos equivalentes, K se tomará como 1, al menos que se pueda justificar un valor menor con la aplicación de un método racional.

En pórticos donde la estabilidad lateral dependa de la rigidez a flexión de vigas y columnas, rígidamente conectadas entre sí, K se determinará mediante un análisis racional.

2.2.2b Capacidad Resistente

La capacidad resistente para el pandeo flexional de elementos comprimidos será $\Phi_c N_c$, en donde Φ_c es igual a 0.85 y N_c está dado por $F_{cr} A_g$.

El valor de la tensión crítica se determinará como sigue a continuación:

a. Para $\sqrt{Q}\lambda_c \leq 1.5$ $F_{cr} = Q(0.658^{Q\lambda_c^2})F_y$

b. Para $\sqrt{Q}\lambda_c > 1.5$ $F_{cr} = \frac{0.877}{\lambda_c^2} F_y$

En las fórmulas:

$$\lambda_c = \frac{KL}{\pi r} \sqrt{F_y/E}$$

Y **Q** es un factor de área efectiva, que depende de la relación ancho/espesor (λ) de los elementos que forman la sección transversal, susceptibles a pandeo local tratado anteriormente.

Cuando $\lambda \leq \lambda_r$, **Q=1**, ya que el pandeo local no afectará al miembro antes que ocurra el pandeo flexional global.

Cuando $\lambda > \lambda_r$, la aparición del pandeo local afecta a la capacidad resistente, y **Q** será menor a 1.

Para secciones tubulares cilíndricas, siempre y cuando λ no sobrepase de $0.488E/F_y$:

$$Q = \frac{0.0379E}{F_y(D/t)} + \frac{2}{3}$$

Para secciones tubulares rectangulares:

$$Q = \frac{Ae}{Ag}$$

Donde el área efectiva **Ae** se calculará para un ancho efectivo **be**, en cada lado de la sección definido como:

$$be = 1.91t \sqrt{\frac{E}{f}} \left(1 - \frac{0.341}{D/t} \sqrt{\frac{E}{f}} \right) \leq b$$

Donde: $f = Nu/Ag$

A continuación se presentan las tablas con los valores de Resistencia a compresión calculada para los distintos perfiles.

TABLA 2.7 Resistencia a compresión axial. HSS nacionales. Sección circular.

Diámetro	3	3 1/2	4 1/2	5	5 1/2	6	6 5/8	7 5/8	8 5/8	9 5/8	9 5/8	10 3/4	10 3/4	12 3/4	12 3/4	
Espesor	2,25	2,25	2,50	3,00	3,40	4,00	4,30	4,50	5,50	5,50	7,00	7,00	9,00	9,00	11,00	
KL (cm)	0	15618	18300	26235	34917	43498	55717	66192	79915	110270	123383	156047	174838	223103	266017	323067
	100	14035	16930	25037	33615	42152	54259	64770	78621	108867	122128	154440	173402	221242	264455	321145
	125	13217	16205	24387	32905	41413	53455	63984	77903	108086	121427	153543	172599	220202	263580	320069
	150	12281	15361	23616	32056	40527	52489	63035	77034	107139	120576	152453	171623	218938	262514	318759
	175	11260	14420	22736	31082	39505	51370	61933	76019	106030	119579	151176	170477	217454	261261	317218
	200	10187	13406	21762	29995	38357	50109	60685	74865	104765	118438	149715	169164	215753	259822	315448
	225	9094	12342	20708	28808	37097	48716	59300	73579	103350	117158	148077	167687	213842	258201	313455
	250	8011	11253	19590	27537	35738	47206	57791	72167	101791	115744	146267	166053	211726	256401	311242
	275	6963	10161	18424	26198	34293	45591	56167	70637	100094	114201	144293	164265	209411	254427	308814
	300	5963	9086	17227	24806	32777	43885	54440	69000	98269	112534	142161	162328	206905	252281	306177
	325	5081	8046	16014	23376	31206	42103	52624	67263	96323	110751	139879	160249	204216	249970	303336
	350	4381	7048	14800	21925	29593	40261	50730	65436	94264	108856	137456	158034	201350	247498	300298
	375	3817	6140	13598	20466	27954	38371	48772	63529	92102	106857	134900	155689	198317	244869	297068
	400	3354	5396	12421	19014	26302	36449	46762	61552	89846	104760	132220	153220	195125	242090	293654
	425	2971	4780	11279	17581	24650	34508	44714	59515	87504	102574	129426	150635	191783	239167	290063
	450	2650	4264	10176	16179	23012	32563	42639	57428	85088	100305	126527	147941	188302	236105	286302
	475	2379	3827	9133	14818	21398	30626	40551	55301	82605	97961	123533	145146	184690	232911	282379
	500	2147	3454	8243	13495	19820	28709	38460	53145	80067	95549	120454	142257	180959	229590	278302
	525	1947	3133	7476	12241	18285	26822	36378	50968	77483	93078	117300	139281	177117	226151	274080
	550	1774	2854	6812	11153	16787	24977	34316	48782	74863	90555	114080	136227	173175	222599	269720
575	1623	2612	6233	10204	15359	23181	32282	46593	72215	87988	110806	133103	169144	218941	265232	
600	1491	2398	5724	9372	14106	21419	30287	44413	69550	85384	107486	129917	165033	215186	260624	
625	1374	2210	5275	8637	13000	19740	28338	42248	66875	82751	104130	126676	160854	211338	255906	
650	1270	2044	4877	7985	12019	18251	26443	40107	64201	80097	100749	123388	156617	207407	251085	
675	1178	1895	4523	7405	11146	16924	24555	37996	61536	77430	97352	120062	152332	203400	246172	
700	1095	1762	4205	6885	10364	15736	22832	35924	58886	74755	93947	116705	148010	199322	241175	
725	1021	1643	3920	6419	9661	14670	21285	33895	56261	72081	90545	113326	143659	195183	236103	
750	954	1535	3663	5998	9028	13708	19889	31916	53666	69413	87152	109930	139291	190989	230965	
775	894	1438	3431	5617	8455	12838	18627	29930	51110	66759	83779	106527	134913	186748	225771	
800	839	1349	3220	5272	7935	12048	17481	28089	48597	64125	80431	103122	130537	182466	220529	

TABLA 2.8 Resistencia a compresión axial. HSS nacionales. Sección cuadrada.

Dimensiones		60x60	70x70	90x90	100x100	110x110	120x120	135x135	155x155	175x175	200x200	200x200	220x220	220x220	260x260
Espesor		2,25	2,25	2,50	3,00	3,40	4,00	4,30	4,50	5,50	5,50	7,00	7,00	9,00	9,00
KL (cm)	0	15009	17698	25502	33854	42129	53811	65269	78861	108310	124743	156431	173163	218640	261664
	100	13116	16054	24059	32284	40504	52049	63582	77322	106637	123281	154558	171463	216435	259807
	125	12158	15197	23284	31434	39618	51084	62652	76469	105707	122467	153514	170515	215204	258769
	150	11082	14212	22370	30424	38561	49928	61534	75440	104582	121478	152248	169362	213710	257505
	175	9932	13130	21336	29273	37347	48595	60238	74242	103267	120321	150765	168011	211957	256020
	200	8753	11983	20202	27999	35995	47102	58777	72883	101771	118999	149072	166464	209952	254316
	225	7585	10804	18990	26622	34522	45465	57164	71373	100101	117518	147176	164729	207703	252400
	250	6463	9623	17721	25162	32946	43702	55413	69722	98268	115885	145086	162811	205218	250275
	275	5404	8467	16417	23642	31288	41834	53541	67942	96280	114106	142810	160717	202506	247947
	300	4541	7360	15099	22083	29568	39879	51562	66044	94149	112189	140358	158455	199576	245422
	325	3869	6309	13786	20504	27805	37857	49495	64041	91887	110142	137741	156032	196440	242706
	350	3336	5440	12496	18925	26019	35789	47355	61947	89504	107973	134969	153456	193108	239808
	375	2906	4739	11244	17365	24228	33693	45159	59773	87014	105692	132054	150738	189593	236733
	400	2554	4165	10044	15839	22450	31588	42925	57534	84428	103306	129008	147885	185906	233489
	425	2263	3689	8899	14362	20701	29492	40667	55242	81760	100825	125842	144907	182059	230086
	450	2018	3291	7938	12926	18994	27421	38403	52911	79023	98259	122569	141814	178067	226530
	475	1811	2954	7124	11602	17342	25389	36146	50554	76229	95617	119202	138616	173941	222830
	500	1635	2666	6430	10470	15724	23410	33910	48183	73390	92910	115753	135324	169696	218996
	525	1483	2418	5832	9497	14262	21495	31709	45810	70520	90146	112234	131947	165345	215037
	550	1351	2203	5314	8653	12995	19613	29554	43447	67630	87335	108659	128495	160901	210961
575	1236	2016	4862	7917	11890	17944	27455	41105	64733	84488	105039	124980	156379	206779	
600	1135	1851	4465	7271	10919	16480	25409	38793	61839	81613	101387	121411	151791	202499	
625	1046	1706	4115	6701	10063	15188	23417	36521	58960	78720	97715	117799	147151	198131	
650	967	1577	3805	6195	9304	14042	21650	34297	56106	75818	94034	114153	142473	193685	
675	897	1463	3528	5745	8628	13021	20076	32130	53285	72915	90355	110484	137768	189170	
700	834	1360	3280	5342	8022	12108	18668	29977	50509	70020	86690	106801	133051	184596	
725	777	1268	3058	4980	7479	11287	17402	27945	47784	67142	83049	103114	128332	179973	
750	727	1185	2858	4653	6988	10547	16262	26113	45118	64286	79440	99432	123623	175309	
775	680	1110	2676	4358	6545	9878	15229	24456	42518	61462	75874	95762	118937	170614	
800	639	1041	2512	4090	6142	9270	14292	22951	39902	58675	72359	92115	114283	165897	

TABLA 2.9 Resistencia a compresión axial en el alma. HSS nacionales. Sección rectangular.

Dimensiones	80x40	100x40	120x60	140x60	160x65	180x65	200x70	220x90	260x90	300x100	300x100	320x120	320x120	350x170	
Espesor	2,25	2,25	2,50	3,00	3,40	4,00	4,30	4,50	5,50	5,50	7,00	7,00	9,00	9,00	
KL (cm)	0	15009	17698	25502	33854	42129	53811	65269	78861	108310	124743	156431	173163	218640	261664
	100	13704	16652	24519	32844	41149	52779	64247	77890	107302	123871	155313	172118	217283	260424
	125	13021	16091	23984	32289	40607	52208	63680	77348	106739	123384	154687	171534	216524	259729
	150	12232	15432	23345	31623	39955	51518	62993	76692	106055	122791	153926	170822	215599	258883
	175	11361	14687	22612	30854	39197	50714	62191	75924	105252	122093	153031	169985	214512	257886
	200	10433	13872	21794	29990	38341	49801	61278	75047	104334	121294	152006	169024	213263	256740
	225	9472	13002	20903	29040	37393	48787	60259	74065	103302	120394	150851	167941	211858	255448
	250	8503	12095	19951	28014	36362	47679	59141	72983	102162	119396	149571	166739	210297	254012
	275	7546	11166	18948	26922	35255	46482	57929	71806	100916	118303	148169	165421	208586	252433
	300	6622	10230	17908	25774	34081	45207	56630	70538	99568	117117	146649	163989	206728	250716
	325	5737	9301	16842	24583	32850	43860	55251	69186	98124	115841	145014	162446	204727	248863
	350	4946	8393	15762	23357	31570	42450	53800	67754	96588	114479	143269	160796	202588	246876
	375	4309	7516	14679	22109	30250	40986	52283	66249	94965	113034	141418	159043	200315	244760
	400	3787	6667	13604	20849	28901	39477	50710	64677	93260	111509	139466	157190	197914	242519
	425	3355	5906	12545	19586	27530	37932	49086	63045	91479	109909	137417	155242	195390	240155
	450	2992	5268	11512	18330	26147	36359	47421	61359	89627	108236	135277	153201	192747	237673
	475	2686	4728	10513	17089	24761	34767	45722	59626	87710	106496	133051	151073	189993	235078
	500	2424	4267	9533	15873	23380	33165	43998	57852	85733	104692	130744	148863	187132	232372
	525	2198	3870	8647	14687	22010	31560	42255	56043	83703	102829	128362	146573	184171	229562
	550	2003	3526	7879	13539	20660	29960	40501	54208	81626	100910	125911	144210	181115	226651
575	1833	3226	7209	12405	19336	28372	38743	52351	79508	98940	123396	141778	177972	223644	
600	1683	2963	6620	11393	18043	26803	36989	50479	77353	96924	120822	139281	174748	220546	
625	1551	2731	6101	10500	16787	25260	35244	48600	75170	94865	118196	136725	171448	217361	
650	1434	2525	5641	9708	15539	23749	33516	46717	72963	92769	115524	134114	168080	214096	
675	1330	2341	5231	9002	14409	22274	31809	44838	70737	90640	112811	131454	164650	210755	
700	1237	2177	4864	8370	13398	20822	30130	42969	68500	88483	110062	128749	161164	207342	
725	1153	2029	4534	7803	12490	19411	28484	41113	66256	86301	107285	126004	157630	203864	
750	1077	1896	4237	7292	11671	18138	26874	39276	64010	84099	104483	123225	154053	200325	
775	1009	1776	3968	6829	10931	16987	25286	37464	61769	81881	101664	120416	150440	196731	
800	947	1667	3724	6409	10258	15942	23730	35680	59536	79652	98832	117582	146798	193087	

TABLA 2.10 Resistencia a compresión axial en las alas. HSS nacionales. Sección rectangular.

Dimensiones	80x40	100x40	120x60	140x60	160x65	180x65	200x70	220x90	260x90	300x100	300x100	320x120	320x120	350x170	
Espeor	2,25	2,25	2,50	3,00	3,40	4,00	4,30	4,50	5,50	5,50	7,00	7,00	9,00	9,00	
KL (cm)	0	15009	17698	25502	33854	42129	53811	65269	78861	108310	124743	156431	173163	218640	261664
	100	11513	13731	22752	30245	38289	48910	60137	75040	103088	119939	150215	168380	212382	257901
	125	9918	11904	21338	28387	36285	46353	57430	72972	100262	117319	146828	165749	208940	255808
	150	8265	9998	19728	26271	33978	43407	54286	70523	96914	114195	142792	162588	204810	253273
	175	6663	8135	17982	23972	31439	40167	50792	67734	93100	110609	138165	158930	200034	250310
	200	5194	6399	16158	21568	28745	36727	47039	64652	88885	106612	133011	154811	194661	246934
	225	4104	5056	14313	19133	25969	33184	43119	61329	84339	102255	127403	150273	188746	243163
	250	3324	4095	12499	16736	23183	29626	39124	57816	79533	97597	121414	145357	182348	239016
	275	2747	3384	10761	14435	20450	26136	35137	54168	74539	92695	115122	140111	175528	234515
	300	2308	2844	9117	12250	17825	22784	31235	50435	69428	87607	108604	134583	168351	229683
	325	1967	2423	7768	10438	15319	19583	27484	46669	64269	82394	101937	128821	160882	224543
	350	1696	2089	6698	9000	13209	16886	23884	42917	59128	77112	95195	122874	153188	219121
	375	1477	1820	5835	7840	11506	14709	20806	39223	54063	71815	88450	116793	145333	213443
	400	1299	1600	5128	6891	10113	12928	18286	35624	49127	66554	81768	110624	137381	207537
	425	1150	1417	4542	6104	8958	11452	16198	32156	44367	61376	75208	104415	129393	201428
	450	1026	1264	4052	5444	7991	10215	14448	28782	39734	56325	68825	98211	121429	195146
	475	921	1134	3637	4886	7172	9168	12967	25832	35661	51436	62665	92052	113542	188718
	500	831	1024	3282	4410	6472	8274	11703	23314	32184	46646	56648	85978	105782	182171
	525	754	929	2977	4000	5871	7505	10615	21146	29192	42309	51382	80024	98196	175534
	550	687	846	2712	3645	5349	6838	9672	19268	26599	38551	46817	74222	90823	168832
	575	628	774	2482	3335	4894	6256	8849	17629	24336	35271	42834	68600	83583	162093
	600	577	711	2279	3062	4495	5746	8127	16190	22350	32393	39339	63045	76763	155340
	625	532	655	2100	2822	4142	5295	7490	14921	20598	29854	36255	58102	70744	148600
	650	492	606	1942	2609	3830	4896	6925	13795	19044	27601	33520	53719	65407	141896
	675	456	562	1801	2420	3551	4540	6421	12792	17659	25595	31083	49813	60652	135248
	700	424	522	1674	2250	3302	4221	5971	11895	16421	23799	28902	46319	56397	128679
	725	395	487	1561	2097	3078	3935	5566	11089	15308	22186	26943	43180	52575	122208
	750	369	455	1459	1960	2877	3677	5201	10362	14304	20732	25177	40349	49128	115851
775	346	426	1366	1836	2694	3444	4871	9704	13396	19416	23579	37788	46010	109627	
800	325	400	1282	1723	2528	3232	4572	9107	12572	18221	22128	35463	43179	103550	

2.3 ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXION

La información que sigue a continuación fue tomada del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor Jose Manuel Velazquez(2001).

2.3.1 Comportamiento

En el comportamiento generalizado de un elemento a flexión pueden identificarse tres regiones:

- a. un rango elástico donde el pandeo local puede presentarse mientras la sección todavía presenta un estado de tensión elástica. Para las secciones tubulares en general se descarta la posibilidad de pandeo lateral torsional debido a su gran rigidez a torsión expresado con el término **GJ**.
- b. Un rango inelástico donde ocurre cierta inestabilidad luego de que algunas partes de la sección transversal han estado en cedencia.
- c. Un rango plástico que se caracteriza por la habilidad de la sección transversal para alcanzar el momento plástico **M_p**, y mantener esta capacidad a través de una importante rotación hasta permitir formación de rótulas plásticas y propiciar una redistribución de momentos.

Consideremos una sección cualquiera sometida a flexión bajo un comportamiento lineal elástico y la conservación de la sección plana:

$$f = \frac{M \cdot y}{I}$$

Incrementando progresivamente la magnitud del momento flector, en el instante que **f_{max}** alcance la tensión cedente **F_y**:

$$f_{\max} = \frac{M \cdot y_{\max}}{I} = Fy$$

Al término I/Y_{\max} se le denomina Módulo de Sección Elástico (S), resultando el momento cedente:

$$My = S \cdot Fy$$

Para cualquier sección puede obtenerse la expresión general de S con solo determinar el centroide, el momento de inercia y la posición de la fibra más alejada Y_{\max} . Cuando se sigue incrementando el momento y continúa cediendo la sección, llega un instante en que toda la sección esta sometida a una tensión uniforme Fy , es decir está plastificada. Al solo estar presente flexión, el eje neutro debe dividir la sección en dos áreas iguales por encima y por debajo de esta. Si los centroides de estas áreas son y_1 y y_2 medidas desde el eje neutro, las resultantes de tracción y compresión multiplicadas por sus respectivos brazos darán como resultados el Momento Plástico M_p :

$$M_p = \frac{1}{2} * A * (y_1 + y_2) * Fy$$

Si definimos:

$$M_p = z \cdot Fy$$

Donde A es el área de la sección y Z se denomina Módulo de Sección Plástico, para una sección cualquiera puede calcularse éste al calcular por geometría las distancias y_1, y_2 :

$$M_p = \frac{1}{2} * A * (y_1 + y_2)$$

Para alcanzar M_p se supone que la sección es compacta, es decir, que las relaciones ancho/espesor λ de los elementos de la sección transversal no supere los límites establecidos.

$$\lambda \leq \lambda_p$$

Cuando λ supera a λ_p la sección deja de ser compacta y comienza a perder la habilidad de alcanzar M_p , llegando solo hasta M_y .

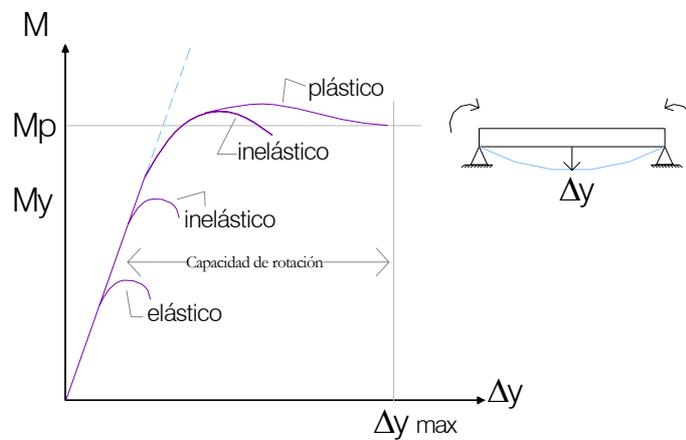


Gráfico 2.8 Comportamiento generalizado de un elemento a flexión.

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

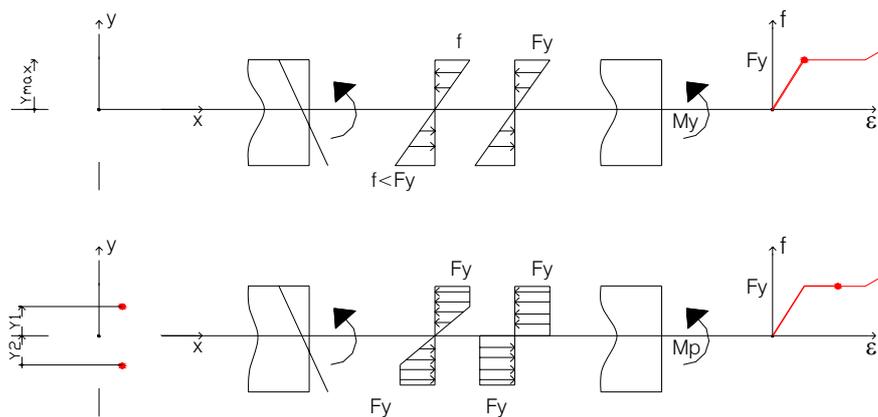


Figura 2.7 Comportamiento generalizado de una sección a flexión.

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

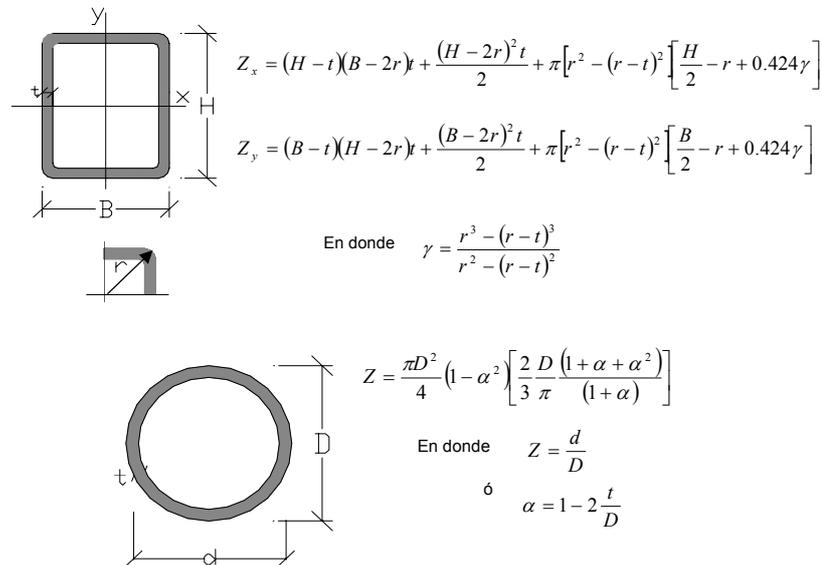


Figura 2.8 Módulos de sección plástica para secciones tubulares.

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

2.3.2. Normativa para el Cálculo de la Capacidad Resistente a Flexión

Estos requisitos normativos son una adaptación al español de las Normas AISC (Noviembre, 2001) (Ref. 3)

La capacidad resistente a flexión $\phi_b \cdot Mn$, en donde $\phi=0.9$, se determinará como sigue a continuación:

a. Para secciones tubulares cilíndricas.

- Cuando $\lambda \leq \lambda_p$

$$Mn = Mp = z \cdot Fy$$

- Cuando $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$

$$Mn = \left(\frac{0.0207}{D/t} \frac{E}{Fy} + 1 \right) S \cdot Fy$$

- Cuando $\lambda r < \lambda \leq 0.448E / Fy$

$$Mn = \left(\frac{0.330 \cdot E}{D/t} \right) S$$

b. Para secciones tubulares cuadradas y rectangulares.

- cuando $\lambda \leq \lambda p$

$$Mn = Mp = z \cdot Fy$$

- cuando $\lambda p < \lambda \leq \lambda r$

$$Mn = \left[Mp - (Mp - My) \left(\frac{\lambda - \lambda p}{\lambda r - \lambda p} \right) \right]$$

En donde $My = S \cdot Fy$

- cuando $\lambda > \lambda r$

$$Mn = Fy \cdot Seff$$

En donde $Seff$ es el módulo de sección efectiva para el ancho efectivo del ala comprimido, tomado como:

$$b_e = 1.91 \cdot t \sqrt{E/Fy} \left(1 - \frac{0.381}{b/t} \sqrt{E/Fy} \right) \leq b$$

A continuación se presentan las tablas con los valores de resistencia a flexión calculada para los distintos perfiles.

Tabla 2.11 Resistencia a flexión. HSS nacionales.

Sección Circular			Sección Cuadrada			Sección Rectangular		
Díametro Externo	Espesor	ϕM_n	HxB	Espesor	ϕM_n	HxB	Espesor	ϕM_n
pulg.	mm.	Kg f	mm.	mm.	Kg f	mm.	mm.	Kg f
3	2,25	35447	60	2,25	33844	80	2,25	40064
3 1/2	2,25	48664	70	2,25	46912	100	2,25	57306
4 1/2	2,50	90010	90	2,5	87442	120	2,5	103556
5	3,00	132875	100	3	128582	140	3	155741
5 1/2	3,40	181950	110	3,4	175790	160	3,4	224747
6	4,00	253761	120	4	244117	180	4	315029
6 5/8	4,30	333156	135	4,3	333800	200	4,3	413758
7 5/8	4,50	464012	155	4,5	464885	220	4,5	566489
8 5/8	5,50	722859	175	5,5	718471	260	5,5	891590
9 5/8	5,50	904956	200	5,5	950868	300	5,5	1184855
9 5/8	7,00	1137479	200	7	1179987	300	7	1468803
10 3/4	7,00	1427843	220	7	1443256	320	7	1776172
10 3/4	9,00	1808589	220	9	1798956	320	9	2211586
12 3/4	9,00	2570979	260	9	2567296	350	9	3053481
12 3/4	11,00	3102953						

2.4 ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXOCOMPRESION

La información que sigue a continuación fue tomada del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor Jose Manuel Velazquez(2001).

2.4.1 La Fórmula de Interacción

Para ilustrar el problema de flexocompresión consideremos una sección sometida simultáneamente a compresión axial y flexión, proveniente de cargas transversales, momentos aplicados y/o efectos de amplificación por carga axial (Figura. 2.9). Para un comportamiento lineal y elástico pueden suponerse ambos efectos y resulta:

$$Fz = \frac{P}{A} \pm \frac{Mz}{I}$$

Las tensiones en las fibras extremas serán máximas y mínimas

$$F_{\max,\min} = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{S}$$

En el diseño elástico convencional, el criterio de la cedencia incipiente considera que la capacidad resistente del miembro se logra cuando **fmax** alcanza a **Fy**:

$$\frac{P}{A} \pm \frac{M}{S} = Fy$$

$$\frac{P}{A \cdot Fy} \pm \frac{M}{S \cdot Fy} = 1$$

El término **A.Fy** corresponde a la carga axial que iniciará la cedencia en toda la sección si actuase sola, y **S.Fy** el momento que produce **Fy** en la fibra extrema si éste actuase solo:

$$P_o = A.F_y \quad \text{y} \quad M_o = S.F_y$$

La ecuación resulta:
$$\frac{P}{P_o} \pm \frac{M}{M_o} = 1 \quad (2.3)$$

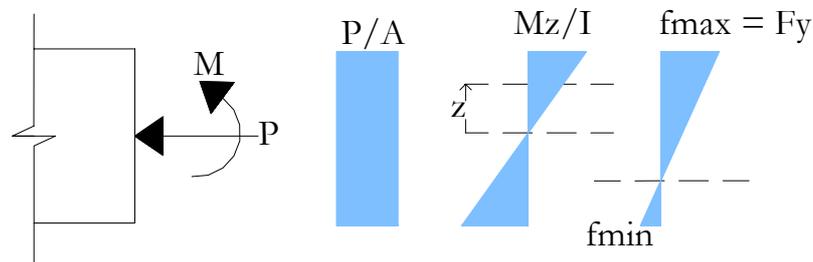


Figura 2.9 Cedencia incipiente en flexocompresión recta o uniaxial

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

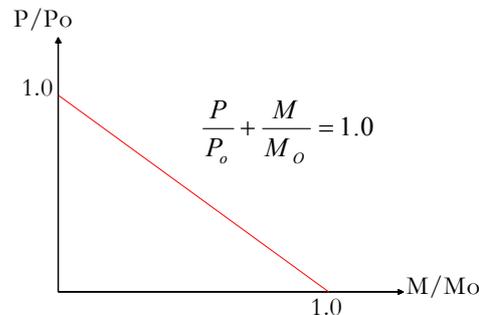


Gráfico 2.9 Fórmula y diagrama de interacción para flexocompresión recta

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

Esta es la conocida fórmula de interacción para flexocompresión recta que se representa en el **Gráfico 2.9** y corresponde a la acción límite del

comportamiento elástico. Si se considera un comportamiento plástico más allá de la cedencia incipiente y se analiza el caso de una sección rectangular y el caso de una sección **I** idealizada, donde se desprecia el área del alma (véase [Figura 2.10](#)) resulta:

Para la sección rectangular:

$$\left(\frac{P}{P_o}\right)^2 + \frac{M}{M_o} = 1$$

Para la sección **I**:

$$\frac{P}{P_o} + \frac{M}{M_o} = 1$$

De acuerdo a este resultado y considerando que todas las secciones **I** estarán más cercanas a la fórmula de interacción recta, tanto en comportamiento límite elástico como el diseño plástico o por resistencia, podemos adoptar en general:

$$\frac{P}{P_o} + \frac{M}{M_o} = 1 \tag{2.4}$$

En el [Gráfico 2.10](#) se observa esta ecuación en comparación con las curvas reales, y por ello siempre resulta conservadora.

Si se extiende el problema al caso de flexocompresión biaxial, por analogía, la recta será válida para la flexocompresión recta en ambos planos y se formará un plano de interacción para considerar la flexión en un plano cualquiera. Este plano también sería conservador en relación a las formas curvas de los volúmenes de interacción calculados numéricamente. Véase [Gráfico 2.11](#)

Este plano quedaría descrito por:

$$\frac{P}{P_o} + \frac{M_x}{M_{ox}} + \frac{M_y}{M_{oy}} = 1 \quad (2.5)$$

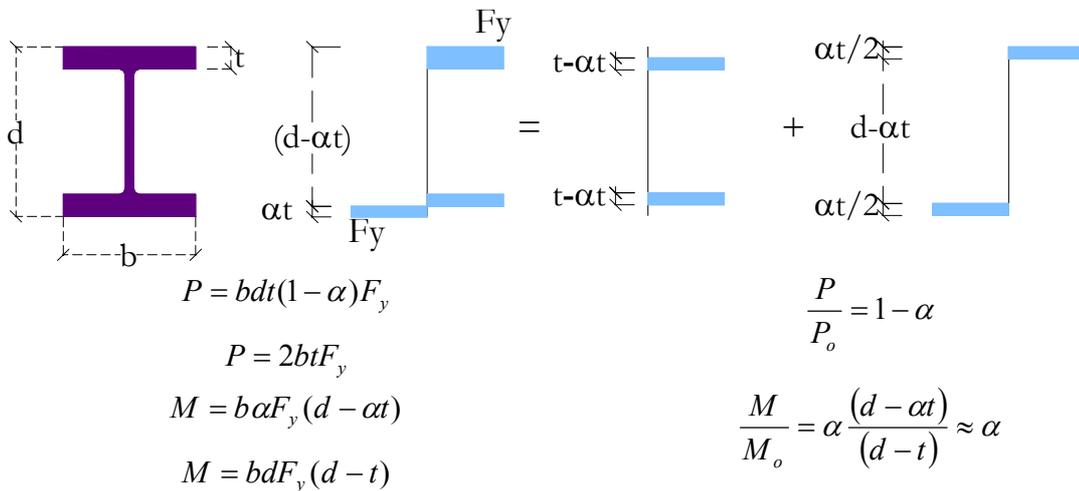
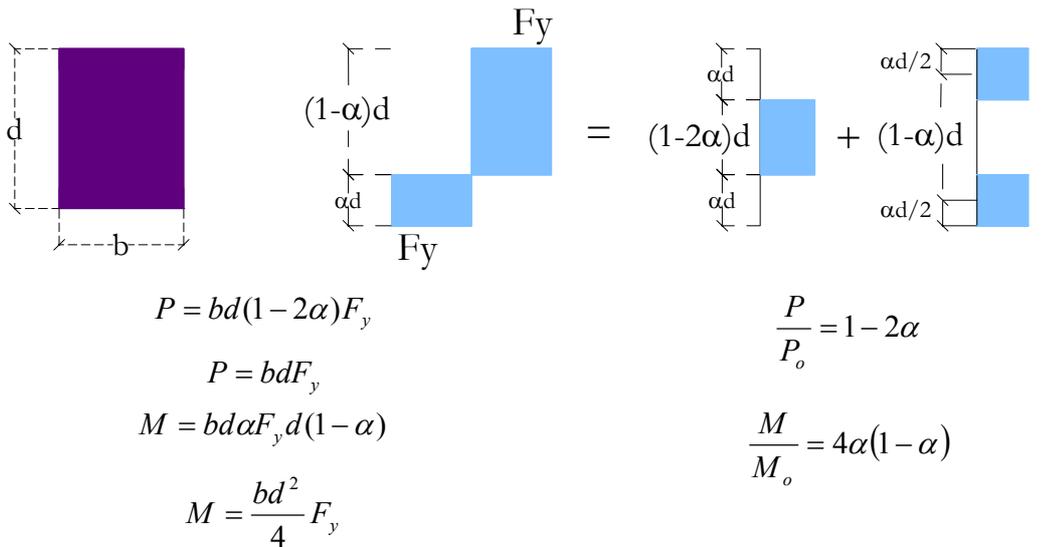


Figura 2.10 Comportamiento plástico para una sección rectangular y una sección I idealizada.

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

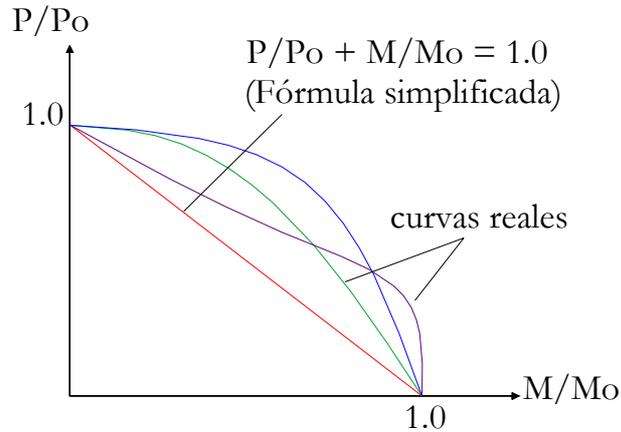


Gráfico 2.10 Diagrama de interacción para flexo compresión recta.

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

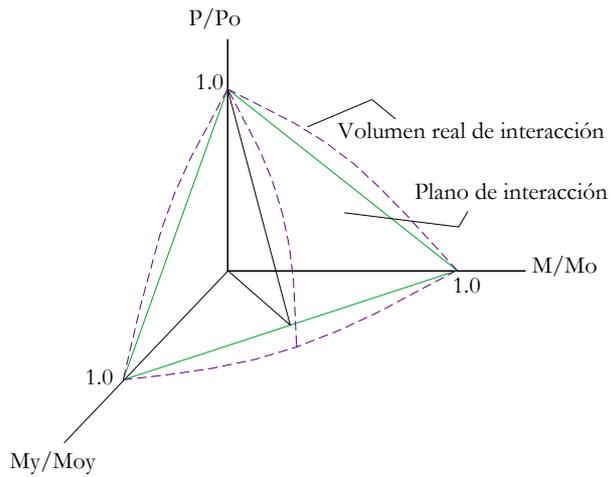


Gráfico 2.11 Volumen de interacción para flexo compresión biaxial.

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

2.4.2 El problema de la flexocompresión en el miembro.

La fórmula de interacción (2.5) corresponde al análisis de una sección transversal individual. Cuando se plantea el problema en su carácter global,

correspondiente a elementos sometidos simultáneamente a cargas transversales y axiales, se deben evaluar dos efectos muy importantes:

2.4.2a Efecto de la amplificación debida a la magnitud de la carga axial.

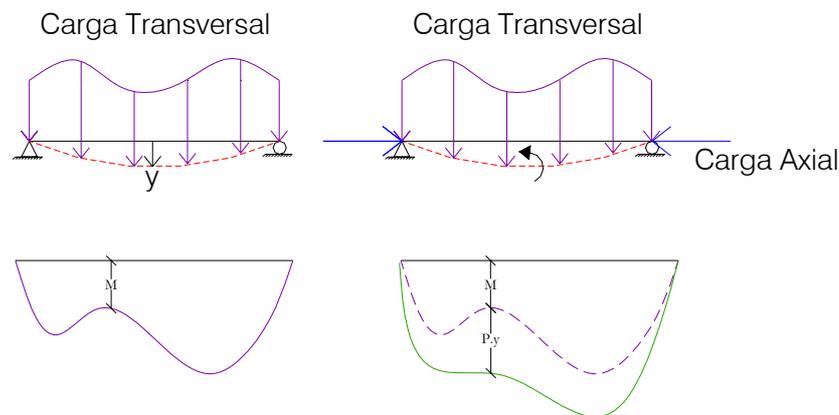


Figura 2.11 Amplificación de momentos debido al efecto de la carga axial.

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

Para el caso típico de un elemento sometido a cargas transversales, analizando como problema geométrico lineal en el sentido de despreciar las deformaciones para cualquier análisis estructural, su diagrama de momentos será independiente de la deformación (véase [Figura. 2.11](#)). Como puede observarse, al intervenir la carga axial, estas deformaciones por pequeñas que sean implican un momento adicional por efecto de la carga axial y el problema pasa a ser geoméricamente no lineal:

$$M' = M + P \cdot y = \varphi M$$

En donde φ es un factor de ampliación dependiente fundamentalmente de la magnitud la carga axial. Para los casos típicos de carga transversal, una fórmula simplificada de este factor es debida a T. Young (1907) y S. Timoshenko (1906).

$$\varphi = \frac{1}{1 - \frac{P}{P_{cr}}}$$

En donde \mathbf{P} es la carga axial actuante y \mathbf{P}_{cr} es la carga crítica elástica de Euler dada por:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2}$$

Entonces la [Fórmula 2.5](#), para incluir esta ampliación en las dos direcciones se expresará como:

$$\frac{P}{P_0} + \frac{M_x}{\left(1 - \frac{P}{P_{cr_x}}\right) M_{0x}} + \frac{M_y}{\left(1 - \frac{P}{P_{cr_y}}\right) M_{0y}} \quad (2.6)$$

2.4.2b Efecto de la reducción debida a los momentos extremos.

El factor de ampliación φ se limita al caso de momentos nulos o iguales en ambos extremos del miembro. Con frecuencia son distintos y pueden tener signos diferentes; en tales casos el concepto de un momento equivalente expresado mediante un factor α_m de reducción permite evaluar apropiadamente el problema:

$$\alpha_m = \sqrt{0.3 \left(\frac{M_1}{M_2}\right)^2 + 0.4 \left(\frac{M_1}{M_2}\right) + 0.3} \quad (2.7)$$

Esta fórmula es debida a Ch. Massonnet (1959), en donde se considera M_1 el menor de los momentos actúan en dirección contraria. La curvatura es desfavorable por ser simple y la relación M_1/M_2 se toma negativa. Véase [Gráfico 2.12](#)

Otra fórmula, más sencilla es debida a W. Austin (1961):

$$\alpha_m = 0.60 + 0.40 \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \quad (2.7)$$

La fórmula 2.5 al incluir este efecto de reducción queda como:

$$\frac{P}{P_0} + \frac{M_x \cdot \alpha_{mx}}{\left(1 - \frac{P}{P_{CRX}}\right) M_{0X}} + \frac{M_y \cdot \alpha_{my}}{\left(1 - \frac{P}{P_{CRY}}\right) M_{0Y}} = 1 \quad (2.8)$$

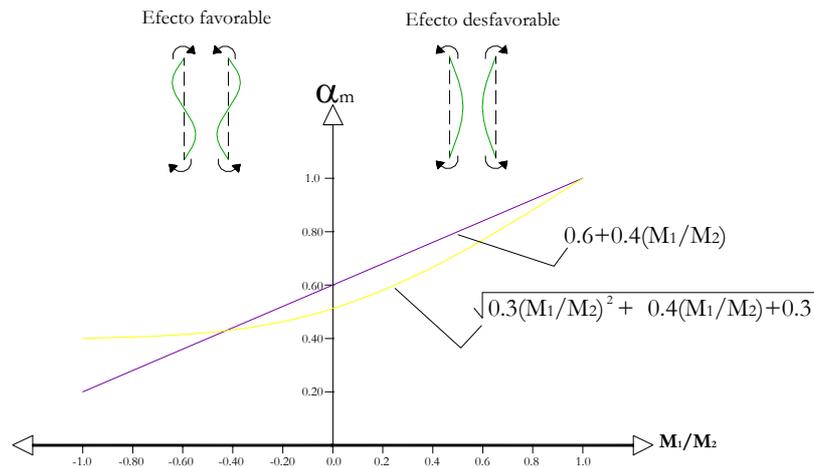


Gráfico 2.12 Reducción debido al efecto de momentos flectores extremos.

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

2.4.3 Requisitos Normativos.

Estos requisitos normativos son una adaptación al español de las Normas AISC (Noviembre, 2001) (Ref. 3)

La fórmula básica de interacción anteriormente planeada y ya afectada por al factor de reducción α y el factor de ampliación $(1 - P/P_{cr})$ corresponde a una recta girando alrededor del eje **Z** para formar un plano. La norma modifica esta recta bifurcándola en su parte inferior para formar dos planos y de una forma indirecta trata de considerar el efecto **P-Δ** como factor de ampliación adicional. Es así que:

a. Para $Nu/\varphi N_c \geq 0.20$

$$\frac{Nu}{\varphi \cdot N_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mu_x}{\varphi_b \cdot Mn_x} + \frac{Mu_y}{\varphi_b \cdot Mn_y} \right) \leq 1.0$$

b. Para $Nu/\varphi N_c < 0.20$

$$\frac{Nu}{2\varphi N_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{Mu_x}{\varphi_b \cdot Mn_x} + \frac{Mu_y}{\varphi_b \cdot Mn_y} \right) \leq 1.0$$

En esas fórmulas se distinguen dos grupos de términos:

- Capacidades resistentes a carga axial de compresión $\varphi \cdot N_c$ y a flexión $\varphi_b \cdot M_{nx}$, $\varphi_b \cdot M_{ny}$, en el caso de que actuaran individualmente.

- Acciones actuantes por carga axial de compresión **Nu** y por flexión **Mu_x**, **Mu_y**. Las correspondientes a flexión se afectan por el factor de ampliación **B₁**, aplicado a esa parte del momento **Mu** y suponiendo que

no hay traslación o desplazamiento lateral (\mathbf{Mu}_{st}); y por el factor \mathbf{B}_2 aplicado a esa parte del momento \mathbf{Mu} , correspondiente solo a la traslación lateral (\mathbf{Mc}_{ct}).

Entonces \mathbf{Mu} resulta como:

$$Mu = B_1 \cdot Mu_{st} + B_2 \cdot Mu_{ct}$$

En donde:

$$B_1 = \frac{\alpha_m}{\left(1 - \frac{Nu}{Ncr}\right)} \geq 1.0$$

Siendo \mathbf{Ncr} la carga crítica de Euler, resultante del análisis teórico elástico, sin ninguna limitación o tope por razones de comportamiento elastoplástico real:

$$Ncr = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(KL)^2}$$

En donde \mathbf{K} corresponde al pórtico arriostrado. El factor α_m está dado por la fórmula simplificada da Austin:

$$\alpha_m = 0.60 - 0.40 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)$$

En donde \mathbf{M}_1 y \mathbf{M}_2 son los momentos flectores en los extremos, denominados \mathbf{M}_1 al de menor magnitud y \mathbf{M}_2 al mayor. La relación $\mathbf{M}_1/\mathbf{M}_2$ se considera positiva cuando la curvatura producida por ellos es doble y negativa cuando sea simple.

El factor B_2 , para considerar el efecto **P-A**, puede calcularse con cualquiera de las fórmulas siguientes:

$$B_2 = \frac{1}{\left(1 - \sum \left(\frac{A_{oh}}{\sum HL} \right)\right)}$$

$$B_2 = \frac{1}{\left(1 - \sum \left(\frac{Nu}{\sum Ncr} \right)\right)}$$

En donde:

ΣNu = Cargas axiales mayoradas actuantes en todas las columnas del piso donde se estudia el efecto.

A_{oh} = Desplazamiento lateral relativo del piso.

ΣH = Sumatoria de las fuerzas horizontales del piso que producen A_{oh}

L = Altura del piso.

$$Ncr = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(KL)^2}$$

Donde K corresponde al pórtico no arriostrado.

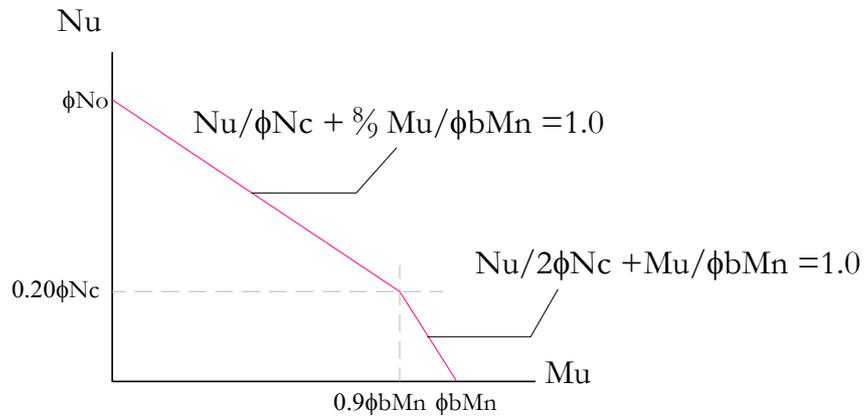
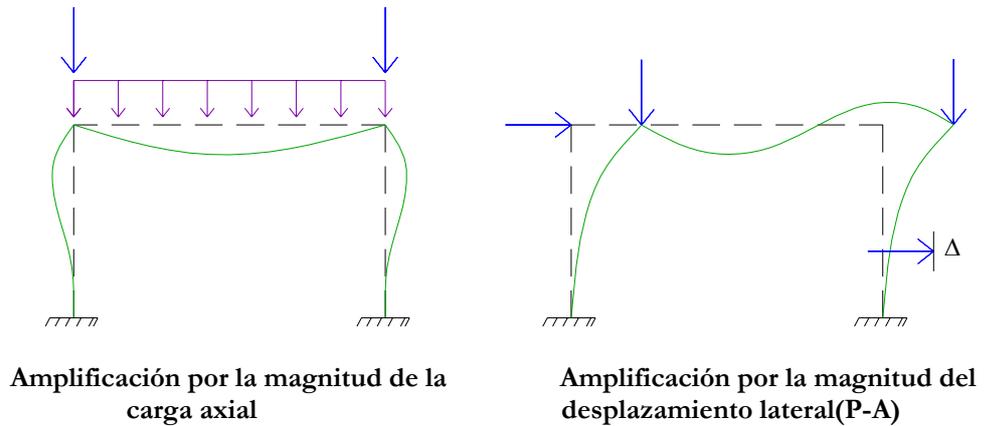


Gráfico 2.13 Gráfica de la interacción para el caso de flexo compresión recta.

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).



Amplificación por la magnitud de la carga axial

Amplificación por la magnitud del desplazamiento lateral(P-A)

Figura 2.12 Efectos de amplificación de momentos

Modificado de del trabajo, *Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular*, realizado por el profesor José Manuel Velásquez (2001).

**PERFILES TUBULARES DE ACERO
CONEXIONES SOLDADAS**

CAPÍTULO 3

3.1 CELOSÍAS DE PERFILES TUBULARES

El siguiente texto es una adaptación del Manual *Perfiles Tubulares en Aplicaciones Estructurales* de Wardenier, J. (2002) (Ref. 2)

En la [Figura 3.1](#) se pueden observar los diferentes tipos de celosías generalmente utilizados. En la construcción de celosías utilizando perfiles tubulares se debe minorizar el número de conexiones, para de esta forma simplificar su fabricación. Por este motivo se prefiere una celosía Warren con conexiones tipo **K** ([Fig. 3.1a](#)) a una celosía Pratt con conexiones tipo **N** ([Fig. 3.1b](#)).

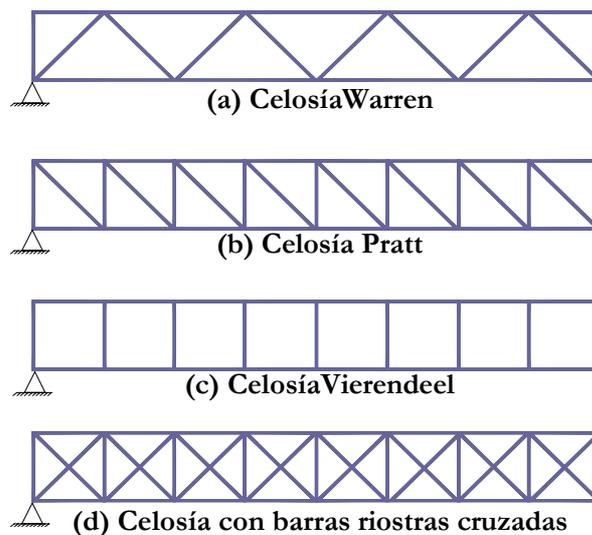


Figura 3.1 Varios tipos de celosías

Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

Cuando los requisitos arquitectónicos o funcionales exigen que no se utilicen barras diagonales es preferible utilizar las vigas Vierendeel ([Fig. 3.1c](#))

Las vigas se caracterizan por su longitud L , profundidad h , geometría y la distancia entre las conexiones. La relación entre la profundidad y la luz se toma normalmente como $1/10 L$ o $1/16 L$.

Existen diferentes tipos de conexiones entre los cuales están **X** o cruz, **T**, **Y**, **N**, **K** o **KT**. Dependiendo del tipo de celosía, se utilizan diferentes tipos de conexiones (Fig. 3.2).

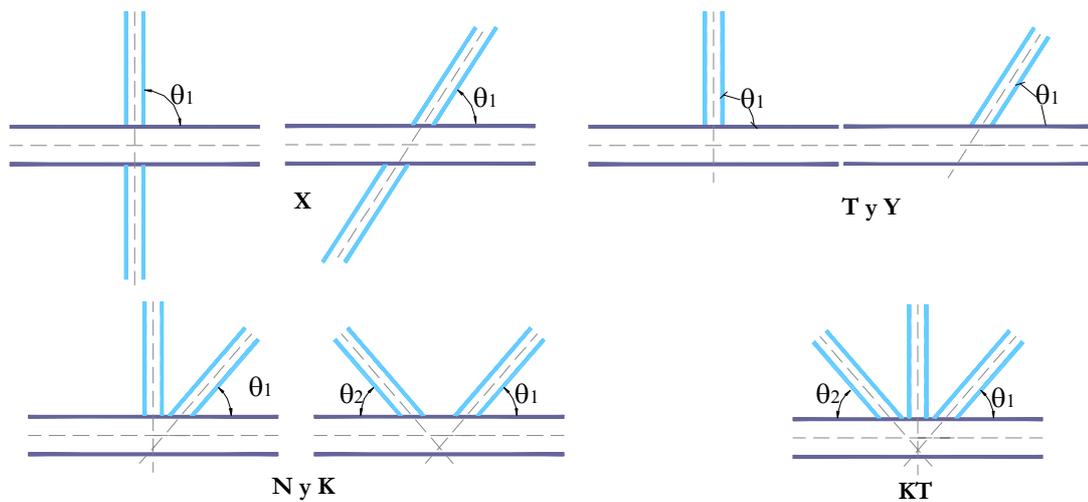


Figura 3.2 Tipos básicos de conexiones.

Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

La carga determinará el comportamiento de la conexión aunque las denominaciones **X**, **T**, **Y**, etc., tienen relación con la configuración. Por ejemplo, una conexión tipo **K** con cargas en los miembros secundarios actuando en el mismo sentido, se comporta por lo tanto, como una conexión tipo **T** y ha de ser tratada consecuentemente como una conexión tipo **T**.

En la Figura 3.3 se muestra la nomenclatura a utilizar para referirse a los diferentes parámetros que determinan la geometría de la conexión.

Si una celosía se diseña basándose únicamente en las tensiones en los miembros puede ocurrir una posterior rigidización de las conexiones no deseada. Esto quiere decir que los cordones y los miembros secundarios han de elegirse de forma que los principales parámetros que gobiernan las conexiones, proporcionen una resistencia adecuada a los mismos y una fabricación económica.

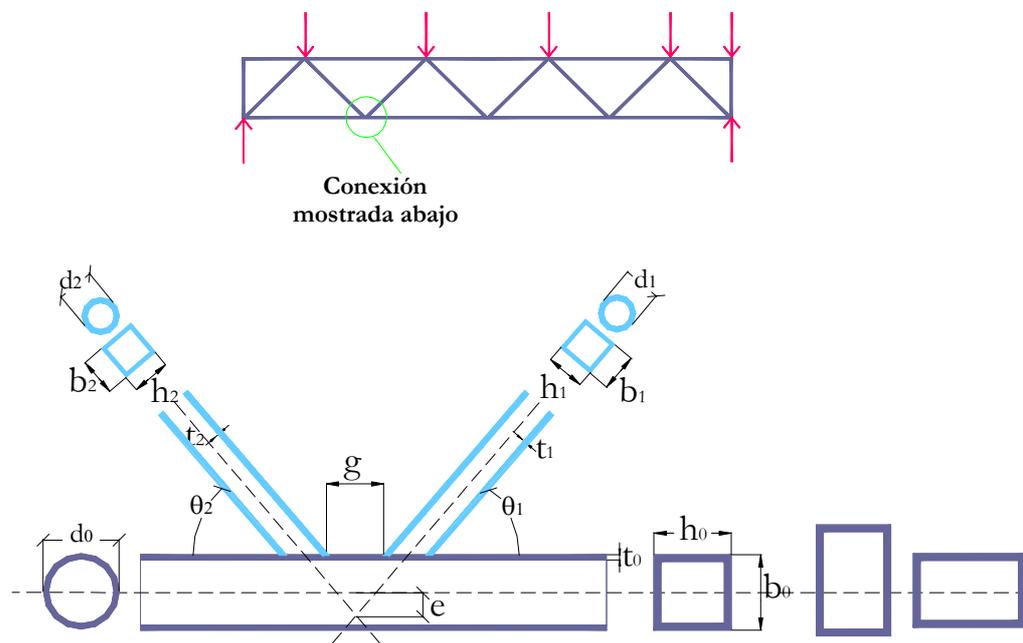


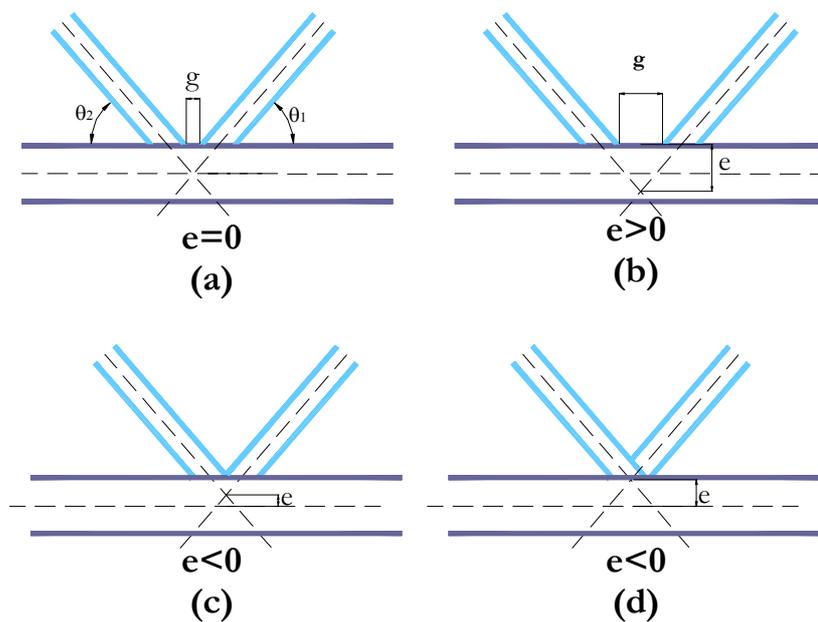
Figura 3.3 Símbolos utilizados para conexiones tipo K con espaciamiento Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

La información que sigue a continuación es una guía para lograr un diseño óptimo de celosías:

- Las celosías normalmente se calculan suponiendo que los elementos que las conforman están unidos con articulaciones. Si las conexiones tienen suficiente capacidad de rotación, los momentos flectores secundarios debidos a la rigidez real de la conexión, pueden ser despreciados para el

cálculo estático. Ésta rotación puede obtenerse limitando la esbeltez de la pared de determinados elementos, particularmente los sometidos a compresión, lo cual constituye la base de algunos límites geométricos de validez.

▪ Normalmente para el cálculo se supone que los ejes de los miembros concurren en un mismo punto en la conexión, aunque en ocasiones se requiere, para facilitar la construcción, tener una determinada excentricidad de conexión. Siempre que esta excentricidad se mantenga dentro de los límites indicados en la [Figura 3.4](#), los momentos flectores resultantes pueden ignorarse en el cálculo de la conexión y de los elementos del cordón solicitados a tracción. Para los elementos del cordón solicitados a compresión, siempre deben tenerse en cuenta estos momentos flectores.



$$-0.55 \leq \frac{e}{h_0} \text{ ó } \frac{e}{d_0} \leq 0.25$$

Figura 3.4 Excentricidad en la conexión.

Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

▪ Aunque las conexiones con espaciamiento sean de más fácil fabricación, en lo que respecta a corte, ajuste y soldadura de los extremos (Fig. 3.5), frente a las solapadas, algunas veces las conexiones con solape (Fig. 3.4d) proporcionan una mejor resistencia.

▪ La distancia medida a lo largo de la cara de conexión del cordón entre los bordes de los miembros secundarios adyacentes (despreciando las soldaduras) es lo que se conoce como espaciamiento g , en un buen diseño debe establecerse un valor máximo para esta medida $g = t_1 + t_2$, de manera que las soldaduras no se superpongan una sobre otra. El porcentaje de solape Ov , definido en la Figura 3.5, (dimensión p perteneciente al miembro que solapa), debe ser al menos $Ov = 25\%$.

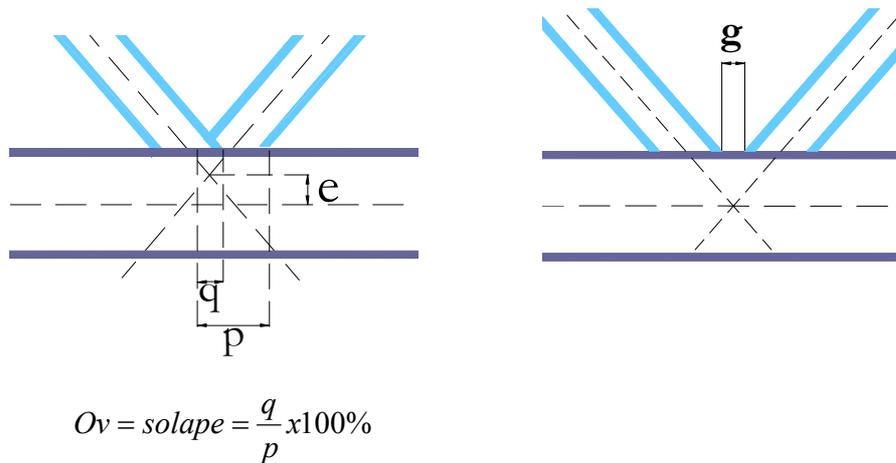


Figura 3.5 Espaciamiento y solape

Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

▪ En las estructuras de celosía habituales, por ejemplo las utilizadas para puentes, aproximadamente un 50% del peso del material se utiliza para los cordones comprimidos, es por esto que deberán optimizarse para dar

como resultado secciones de pared delgada. Sin embargo, para la proteccin frente a la corrosin (pintura) debe minimizarse el rea de superficie exterior.

- La relacin final entre el diámetro y el espesor del cordn a compresin ser un compromiso entre la resistencia de la conexin y la resistencia a pando del elemento, ya que la resistencia de la conexin aumenta con la disminucin del diámetro del cordn o de la relacin entre el diámetro y el espesor de cordn. Como resultado, se optar por perfiles de espesores relativamente fuertes. Para el cordn a traccin la relacin entre diámetro y espesor a elegir deber ser lo ms pequea posible.

- Al aumentar la relacin entre el espesor de cordn y el del miembro secundario t_o/t_i aumentar la eficiencia de la resistencia de la conexin (resistencia de la conexin entre la carga de cedencia del miembro secundario), por esto debe elegirse el valor ms alto posible, preferiblemente superior a 2. Además, para una misma seccin transversal el volumen de soldadura requerido para un miembro secundario de pared delgada es menor que para uno de pared gruesa, si las soldaduras han de desarrollar la capacidad resistente de la pared del elemento conectado.

- Ya que la resistencia de conexin tambin depende de la relacin entre los lmites elásticos del acero del cordn y del miembro secundario, la utilizacin de acero de mayor resistencia para los cordones puede ofrecer posibilidades menos costosas. En principio, las celosías multiplano pueden abordarse de manera similar a las planas, aunque la profundidad puede ser menor, entre $1/15 L$ y $1/18 L$.

3.2. COMPORTAMIENTO DE LAS UNIONES

El siguiente texto es una adaptación del Manual *Perfiles Tubulares en Aplicaciones Estructurales* de Wardenier, J. (2002) (Ref. 2)

La trayectoria seguida por las tensiones, la distribución de la rigidez y las propiedades de los materiales, son aspectos de vital importancia para la adecuada comprensión del comportamiento de las uniones soldadas entre perfiles tubulares.

3.2.1 Trayectoria Seguida por Las Tensiones

Al aplicar una tensión a una unión entre una placa y un perfil tubular, tal como se indica en la [Figura 3.6](#), éste pasa de un elemento a otro en el orden siguiente:

- placa
- soldadura
- cara del perfil tubular, a la cual está soldada la placa
- pared lateral del perfil tubular

La falla se puede dar en cualquiera de ellos. Esto dependerá de las características de los elementos, por ejemplo, si el ancho de la placa es pequeño en comparación con el ancho del perfil, pueden ocurrir varias clases de falla en la cara del HSS a la cual ésta está unida.

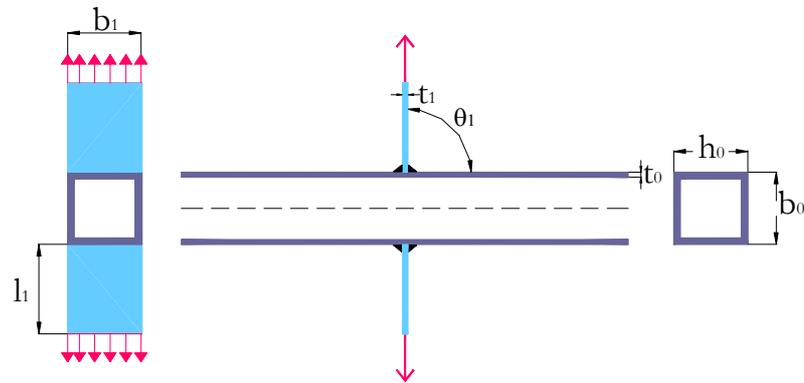


Figura 3.6 Unión de Placa a un HSS.

Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

3.2.2 Distribución de la Rigidez Interna

La distribución elástica de las tensiones es determinada por la distribución de la rigidez interna de la conexión; si se considera la rigidez de una placa y la cara de un perfil tubular a la que ésta se conecta (Figura 3.6), se puede decir que la placa permanece recta si soporta una carga uniforme q por unidad de longitud (Fig. 3.7a). La rigidez de la placa frente a elevadas tensiones normales determina la deformación de la misma. Considerando una unidad de carga q_1 en una reducida unidad de longitud en los lados de la placa (Fig. 3.7b), la carga q_1 puede transferirse directamente a la pared lateral del HSS. Por lo tanto, la deformación en dicho punto está determinada por la rigidez de la pared lateral del HSS frente a tensiones normales.

Luego, una unidad de carga q_2 en el centro de la cara del perfil tubular (Fig. 3.7c). La carga se transfiere a las paredes laterales por flexión. Por lo tanto, la deformación viene dada por la rigidez frente a flexión de la cara superior del HSS y por la rigidez axial de las paredes laterales del HSS.

En definitiva, la rigidez para una carga q_2 es considerablemente menor que para una carga q_1 .

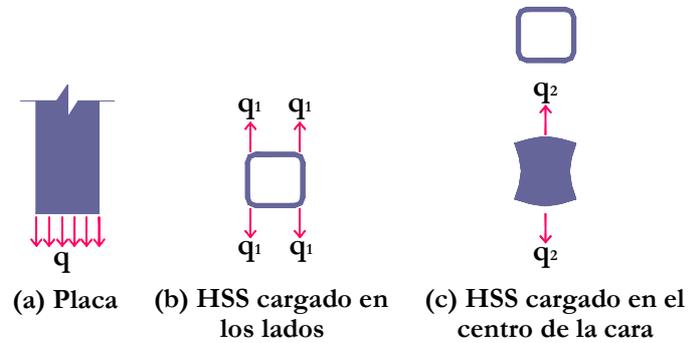


Figura 3.7 Unión de Placa a cordón de un HSS.

Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

La distribución de tensiones elásticas resultantes en la placa puede determinarse de dos maneras.

3.2.2a. Deformaciones bajo una tensión uniforme:

Para garantizar que la placa y la cara del perfil tubular presenten el mismo tipo de deformación, las tensiones deberían ser bajas en el centro y mayores en los lados. Por lo tanto, es necesario añadir tensiones, tal y como se muestra en la [Figura 3.8b](#), que aumenten las existentes en los lados y reduzcan las tensiones en el centro de la placa, quedando las mayores tensiones soportadas por las zonas más rígidas.

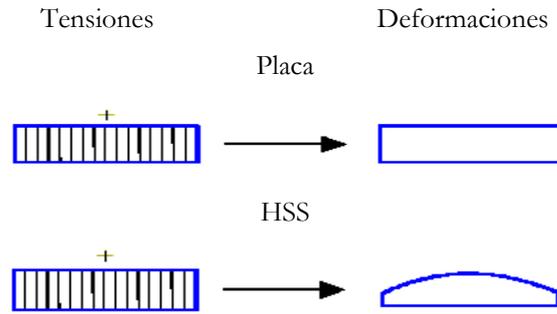


Figura 3.8a Tensión y deformación resultante

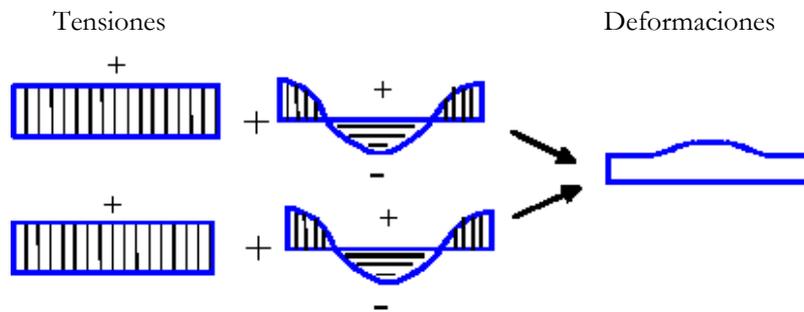


Figura 3.8b Compatibilidad

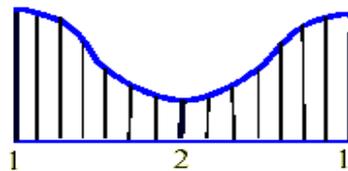


Figura 3.8c Distribución de tensiones en la placa

Modificados de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

La placa puede considerarse rígida ya que permanece prácticamente recta debido a que su rigidez axial es mucho mayor que la rigidez a flexión de la cara superior del HSS.

3.2.2b. Suponiendo la Placa Rígida

En la [Gráfico 3.1](#), se muestra la distribución de tensiones para una placa supuestamente rígida. Para una deformación δ_1 , la tensión para q_1 es mucho mayor que para q_2 , resultando la distribución de tensiones de la [Figura 3.8c](#).

Se puede concluir que la no-uniformidad depende en gran medida en la relación ancho-espesor. Si b_o/t_o es muy reducido la distribución de tensiones puede considerarse uniforme. Si b_o/t_o es grande, puede significar incluso que la tensión en el centro es de signo contrario a la de los lados.

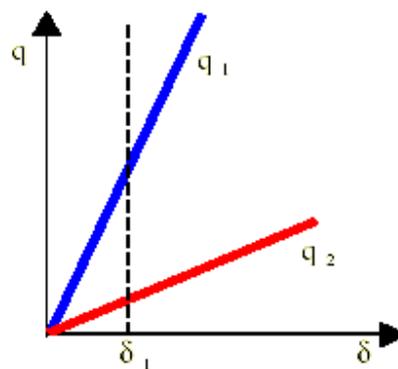


Gráfico 3.1 Diagrama carga-deformación

Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

3.2.3 Efecto de las Propiedades de los Materiales

Un aspecto de vital importancia para el cálculo estático es la capacidad de deformación de los materiales, ya que la capacidad de deformación determina si los momentos secundarios se redistribuirán en la estructura. Si una celosía está cargada hasta el punto de falla y la resistencia de la unión es predominante comparada con la resistencia del elemento, el límite elástico

se da en un momento determinado debido a la combinación de la tensión axial y de los momentos flectores (secundarios). Si la capacidad de deformación es suficiente, las tensiones axiales del elemento aumentarán con una disminución de los momentos flectores (secundarios) a causa de la rotación plástica de la unión. En la fase de colapso, los momentos flectores secundarios pueden desaparecer por completo.

Por otro lado el comportamiento de la estructura para un acero convencional es el siguiente:

En un principio el punto (1) (Figura 3.8c) alcanzará la tensión de cedencia F_y . Con un aumento de la carga este punto cede, es decir, la tensión permanece constante y la deformación aumenta. Para una deformación unitaria determinada, el material en el punto (1) alcanzará la zona de endurecimiento por deformación. Tras un aumento adicional de la carga, la tensión aumentará hasta alcanzar la tensión última F_u , después de lo cual ésta comenzará a disminuir. A una deformación unitaria determinada se producirá la fractura en el punto (1).

Cuando la fractura se da en zonas más rígidas puede seguir incrementándose la carga debido a que la distribución de tensiones es más uniforme en el resto de la sección transversal, mostrándose la importancia del límite elástico en la capacidad de las uniones para soportar carga.

3.2.4 Modos de Falla

A continuación se consideran los modos de falla para la unión de la placa a un perfil HSS cuadrado o rectangular.

3.2.4a Placa

En la [Figura 3.9a](#) se muestran las posibles distribuciones de tensión en la placa tras la cedencia y la deformación unitaria última en los lados (localización 1).

Si la relación ancho-espesor del cordón es baja y el material tiene suficiente ductilidad, la placa puede alcanzar la capacidad de ceder. En la mayor parte de los casos dicha capacidad es menor.

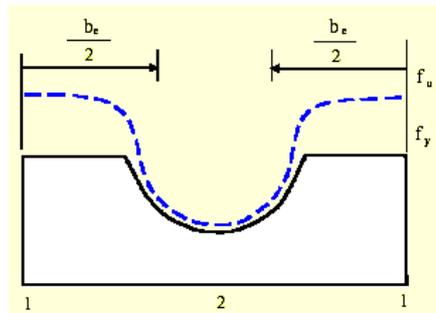


Figura 3.9a Distribución plástica y situación última en el momento de fallo
Tomado de *Perfiles Tubulares en Aplicaciones Estructurales* (Ref. 2)

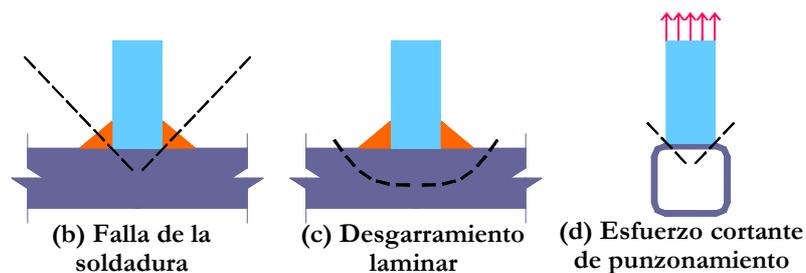


Figura 3.9 Modos de falla

Modificado de *Perfiles Tubulares en Aplicaciones Estructurales* (Ref. 2)

3.2.4b Soldaduras

Las soldaduras se deben calcular para ser más resistentes que los elementos conectados. Si la resistencia de la placa es mayor que la de las soldaduras en ángulo (Figura 3.9b), la soldadura podría fallar. La deformación total de la unión disminuye si la deformación plástica no se da en la placa, sino solo en la soldadura, resultando así una unión sin capacidad de deformación, lo que generalmente no está permitido.

Solamente pueden admitirse soldaduras menos resistentes para estructuras muy poco solicitadas, por ejemplo aquellas cuyos elementos se han seleccionado en base a su aspecto estético.

3.2.4c Cara del cordón

Es importante la utilización de materiales con bajo contenido de azufre (buenas propiedades a través del espesor) ya que puede ocurrir un desgarramiento laminar o producirse agrietamientos, especialmente en materiales de gran espesor, cuando las tensiones pasen a través de la cara superior a las paredes laterales (Fig. 3.9c).

Si $b_1 < b_0$, se pueden producir la plastificación de la cara superior del cordón o su punzonamiento.

Si $b_1 = b_0$ la cara superior del cordón mantiene su posición gracias a la placa y a su unión rígida con las paredes laterales del mismo. De esta manera la plastificación de la cara superior sólo puede darse luego de que la placa ceda de manera excesiva a los lados y/o las paredes laterales igualmente fluyan excesivamente.

El punzonamiento de la cara del perfil tubular sólo puede darse si el ancho de la placa b_1 es inferior a $b_o - 2t_o$ (ver la Fig. 3.9d).

3.2.4d Pared lateral del cordón

La cedencia de las paredes laterales del cordón puede constituir una falla crítica, ya que a través de ellas se transmiten todas las tensiones contando con un ancho limitado; sobre todo cuando la tensión es de compresión, ya que la estabilidad de la pared puede hacerse crítica.

3.2.5 Criterios Generales De Falla

En general, la resistencia estática se caracteriza por varios criterios, es decir:

- resistencia última a la sollicitación
- límite de deformación
- inicio de grieta visible.

La capacidad última resistente está bien definida para aquellos nudos que muestran un máximo en el diagrama de tensión-deformación, por ejemplo, para algunos nudos solicitados a compresión. Otros nudos muestran una creciente capacidad de soportar carga con deformaciones crecientes, de tal forma que se llega al máximo con una deformación excesiva.

Se ha definido un límite de deformación para la capacidad última resistente, basado en el hecho de que la deformación bajo sollicitación de servicio no debe ser predominante y no se debe producir tampoco el inicio

de grietas bajo sollicitación de servicio, para así evitar la necesidad de comprobar la resistencia última y además la situación de servicio, siendo éste $0,03d_o$ o $0,03b_o$, tal y como se muestra en el [Gráfico 3.2](#).

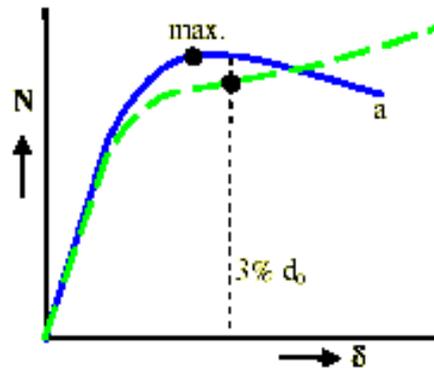


Gráfico 3.2 Límite de deformación

Tomado de *Perfiles Tubulares en Aplicaciones Estructurales* (Ref. 2)

La capacidad última resistente quedará entonces determinada por el primer criterio que alcanzado, bien sea la capacidad resistente máxima o el límite de deformación para sollicitaciones últimas.

En cuanto a la situación de servicio, se utiliza un límite arbitrario de $0.01 d_o$ o $0.01 b_o$. Este límite del 1% ha demostrado no dar deformaciones inaceptables.

3.2.6 Modos Generales De Falla

Así como la unión placa-cordón que se muestra en la [Figura 3.1](#), en las uniones entre perfiles tubulares, también pueden presentar distintos tipos de falla, dependiendo de la sollicitación a la cual está sujeta, al tipo de dicha conexión y a los parámetros geométricos.

En la [Figura 3.10](#) se muestran varios tipos de falla para una conexión en **K** entre perfiles tubulares rectangulares.

- a) plastificación de la cara del cordón
- b) punzonamiento del cordón
- c) falla del miembro secundario
- d) falla por tensión cortante en el cordón
- e) pandeo local del miembro secundario comprimido
- f) pandeo local del cordón.

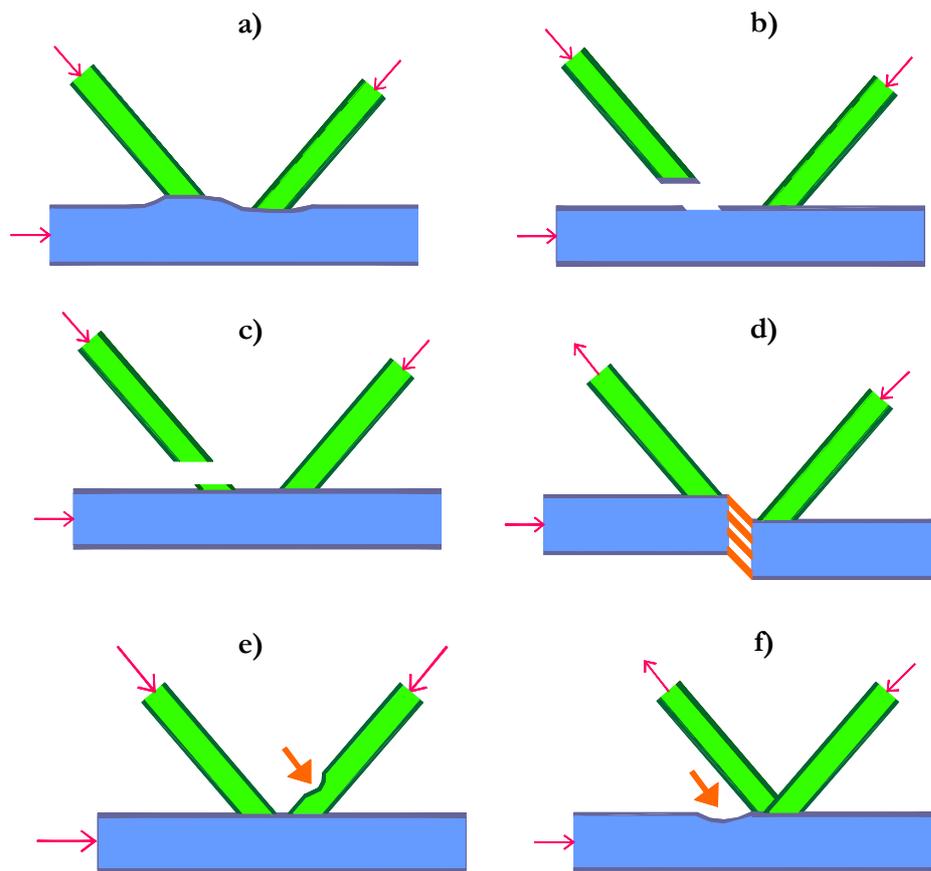


Figura 3.10 Modos de fallo para las conexiones en K de HSS rectangulares
Modificado de *Perfiles Tubulares en Aplicaciones Estructurales* (Ref. 2)

3.3 PROVISIONES GENERALES PARA CONEXIONES

Estos requisitos normativos son una adaptaci3n al espaol de las Normas AISC (Noviembre, 2001) (Ref. 3)

3.3.1 Soldaduras.

La diferencia de flexibilidad entre las paredes de un HSS en una conexi3n soldada a otro miembro, produce una no uniformidad en la transferencia de carga a lo largo de la lnea de soldadura. Esta no uniformidad debe ser tomada en cuenta al momento de disear una uni3n soldada. En estos casos, la resistencia de la soldadura de filete y la longitud efectiva (L_e) para soldaduras de filete y ranura, quedan limitadas de la siguiente manera:

- a. En conexiones **T**, **Y**, y **X** con HSS rectangulares.

$$L_e = 2H_b + B_b \quad \text{Para } \Theta \leq 50^\circ \quad (3.1)$$

$$L_e = 2H_b \quad \text{Para } \Theta \geq 60^\circ \quad (3.2)$$

La interpolaci3n lineal ser3 usada al determinar L_e para valores de Θ entre 50° y 60°

- b. En las aberturas de las conexiones Tipo **K**, con HSS rectangulares.

$$L_e = 2H_b + 2B_b \quad \text{Para } \Theta \leq 50^\circ \quad (3.3)$$

$$L_e = 2H_b + B_b \quad \text{Para } \Theta \geq 60^\circ \quad (3.4)$$

La interpolación lineal será usada al determinar L_e para valores de Θ entre 50° y 60°

c. Cuando una lámina transversal es soldada a la cara de un HSS, (ver [Gráfico 3.3](#))

$$Le = 2 \frac{10Fy \cdot t_0}{\left(\frac{b_0}{t_0}\right) Fy_L \cdot t_L} b_1 \leq 2b_1 \quad (3.5)$$

En donde:

h_1 = ancho de la pared del miembro secundario que es paralelo al eje del cordón (cm.).

b_1 = ancho de la pared del miembro secundario que es transversal al eje del cordón (cm.).

θ = ángulo menor entre el miembro secundario y el cordón.

b_0 = ancho de la pared del cordón a la cual la lámina es fijada, (cm.).

b_1 = ancho de la lámina fijada (cm.).

t_0 = espesor de la pared del cordón (cm.).

t_L = espesor de la lámina fijada, (cm.).

Fy = resistencia cedente del acero del HSS, (Kg. /cm²).

Fy_L = resistencia cedente de la lámina, (Kg. /cm²).

En lugar de lo antes expuesto, se permiten otros criterios racionales.

En el [Gráfico 3.3](#) puede observarse, para distintos perfiles, el comportamiento de la longitud efectiva (por unidad de ancho de lámina), al variar el espesor de la lámina; se puede concluir que para un perfil determinado, la longitud efectiva disminuye a medida que el espesor de la lámina aumenta. Otra razón por la cual no se recomienda utilizar espesores de lámina mayores que los del perfil a la cual se esta soldando.

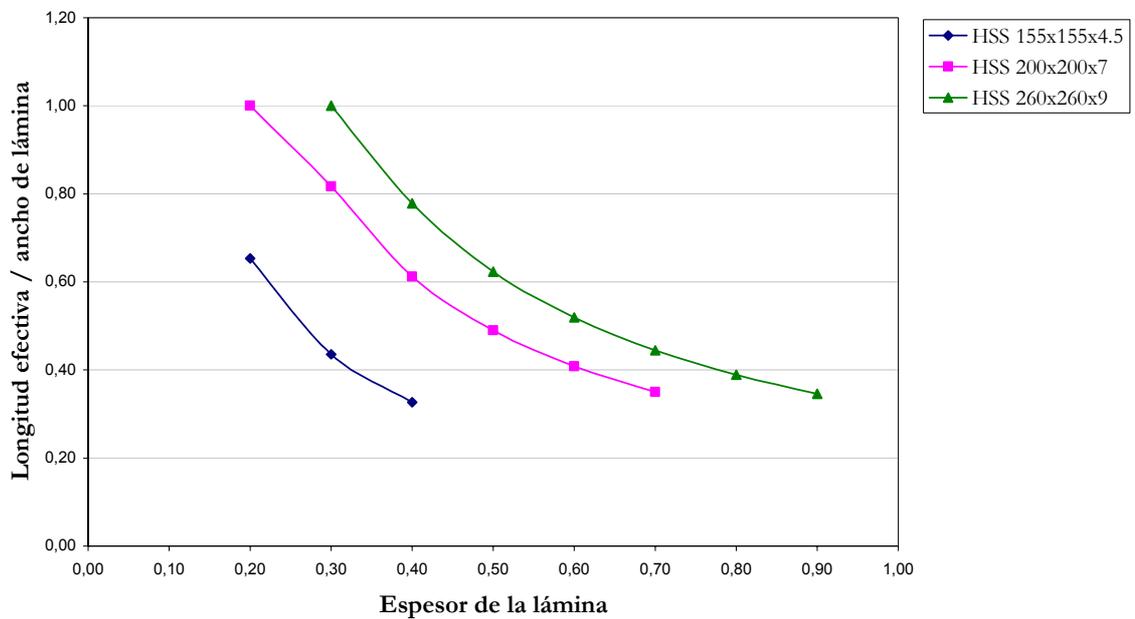


Gráfico 3.3 Relación longitud efectiva-espesor de lámina

Tabla 3.1 Longitud efectiva para soldadura de filete y ranura

Sección cuadrada	HxB		T, Y y X						K					
	mm.		θ						θ					
	$\leq 50^\circ$	52	54	56	58	$\geq 60^\circ$	$\leq 50^\circ$	52	54	56	58	$\geq 60^\circ$		
60	60	240	216	192	168	144	120	240	228	216	204	192	180	
70	70	280	252	224	196	168	140	280	266	252	238	224	210	
90	90	360	324	288	252	216	180	360	342	324	306	288	270	
100	100	400	360	320	280	240	200	400	380	360	340	320	300	
110	110	440	396	352	308	264	220	440	418	396	374	352	330	
120	120	480	432	384	336	288	240	480	456	432	408	384	360	
135	135	540	486	432	378	324	270	540	513	486	459	432	405	
155	155	620	558	496	434	372	310	620	589	558	527	496	465	
175	175	700	630	560	490	420	350	700	665	630	595	560	525	
200	200	800	720	640	560	480	400	800	760	720	680	640	600	
200	200	800	720	640	560	480	400	800	760	720	680	640	600	
220	220	880	792	704	616	528	440	880	836	792	748	704	660	
220	220	880	792	704	616	528	440	880	836	792	748	704	660	
260	260	1040	936	832	728	624	520	1040	988	936	884	832	780	

Sección rectangular	HxB		T, Y y X						K					
	mm.		θ						θ					
	$\leq 50^\circ$	52	54	56	58	$\geq 60^\circ$	$\leq 50^\circ$	52	54	56	58	$\geq 60^\circ$		
80	40	240	224	208	192	176	160	240	232	224	216	208	200	
100	40	280	264	248	232	216	200	280	272	264	256	248	240	
120	60	360	336	312	288	264	240	360	348	336	324	312	300	
140	60	400	376	352	328	304	280	400	388	376	364	352	340	
160	65	450	424	398	372	346	320	450	437	424	411	398	385	
180	65	490	464	438	412	386	360	490	477	464	451	438	425	
200	70	540	512	484	456	428	400	540	526	512	498	484	470	
220	90	620	584	548	512	476	440	620	602	584	566	548	530	
260	90	700	664	628	592	556	520	700	682	664	646	628	610	
300	100	800	760	720	680	640	600	800	780	760	740	720	700	
300	100	800	760	720	680	640	600	800	780	760	740	720	700	
320	120	880	832	784	736	688	640	880	856	832	808	784	760	
320	120	880	832	784	736	688	640	880	856	832	808	784	760	
350	170	1040	972	904	836	768	700	1040	1006	972	938	904	870	

Tabla 3.2 Longitud efectiva en función del ancho de una lámina soldada a la cara de un HSS rectangular

b ₀	Espesor cm	Le/2b _L (para F _{yL} = 3500 kg/cm ²)								Le/2b _L (para F _{yL} = 2500 kg/cm ²)							
		t _L								t _L							
		0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
40	0,23	0,63								0,89							
60	0,23	0,36								0,51							
	0,25	0,52								0,73							
	0,30	0,75	0,50							1,00	0,70						
65	0,34	0,89	0,59							1,00	0,83						
	0,40	1,00	0,82	0,62						1,00	1,00	0,86					
70	0,23	0,36								0,51							
	0,43	1,00	0,88	0,66						1,00	1,00	0,92					
80	0,23	0,32								0,89							
90	0,25	0,35								0,49							
	0,45	1,00	0,75	0,56						1,00	1,00	0,79					
	0,55	1,00	1,00	0,84	0,67					1,00	1,00	1,00	0,94				
100	0,23	0,25								0,89							
	0,30	0,45	0,30							0,63	0,42						
	0,55	1,00	1,00	0,76	0,61					1,00	1,00	1,00	0,85				
	0,70	1,00	1,00	1,00	0,98	0,82	0,70			1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98		
110	0,34	0,53	0,35							0,74	0,49						
120	0,25	0,26								0,73							
	0,40	0,67	0,44	0,33						0,93	0,62	0,47					
	0,70	1,00	1,00	1,00	0,82	0,68	0,58			1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,82		
	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	0,84	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
135	0,43	0,68	0,46	0,34						0,96	0,64	0,48					
140	0,30	0,32	0,21							1,00	0,70						
155	0,45	0,65	0,44	0,33						0,91	0,61	0,46					
160	0,34	0,36	0,24							1,00	0,83						
170	0,90	1,00	1,00	1,00	0,95	0,79	0,68	0,60	0,53	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,83	0,74
175	0,55	0,86	0,58	0,43	0,35					1,00	0,81	0,61	0,48				
180	0,40	0,44	0,30	0,22						1,00	1,00	0,86					
200	0,43	0,46	0,31	0,23						1,00	1,00	0,92					
	0,55	0,76	0,50	0,38	0,30					1,00	0,71	0,53	0,42				
	0,70	1,00	0,82	0,61	0,49	0,41	0,35			1,00	1,00	0,86	0,69	0,57	0,49		
220	0,45	0,46	0,31	0,23						1,00	1,00	0,79					
	0,70	1,00	0,74	0,56	0,45	0,37	0,32			1,00	1,00	0,78	0,62	0,52	0,45		
	0,90	1,00	1,00	0,92	0,74	0,61	0,53	0,46	0,41	1,00	1,00	1,00	1,00	0,86	0,74	0,64	0,57
260	0,55	0,58	0,39	0,29	0,23					1,00	1,00	1,00	0,94				
	0,90	1,00	1,00	0,78	0,62	0,52	0,45	0,39	0,35	1,00	1,00	1,00	0,87	0,73	0,62	0,55	0,48
300	0,55	0,50	0,34	0,25	0,20					1,00	1,00	1,00	0,85				
	0,70	0,82	0,54	0,41	0,33	0,27	0,23			1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98		
320	0,70	0,77	0,51	0,38	0,31	0,26	0,22			1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,82		
	0,90	1,00	0,84	0,63	0,51	0,42	0,36	0,32	0,28	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
350	0,90	1,00	0,77	0,58	0,46	0,39	0,33	0,29	0,26	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95	0,83	0,74

3.3.2 Resistencia de Diseño

3.3.2a Resistencia de Diseño a la Ruptura por Corte.

La resistencia de diseño a la ruptura por corte a lo largo de una trayectoria adyacente a una soldadura de filete en las paredes del HSS, será tomada como ΦR_n donde:

$$\begin{aligned}\Phi &= 0.75 \\ R_n &= 0.6F_u tL\end{aligned}\tag{3.6}$$

En donde

t = espesor de las paredes del HSS, (cm.)

L = longitud de la soldadura, (cm.).

3.3.2b Resistencia a la Ruptura por Tracción.

La resistencia a la ruptura por tracción a lo largo de una trayectoria adyacente a la soldadura de filete en las paredes del HSS se tomará como ΦR_n donde

$$\begin{aligned}\Phi &= 0.75 \\ R_n &= F_u \cdot t \cdot L\end{aligned}\tag{3.7}$$

En donde

t = espesor de las paredes de un HSS, (cm.)

L = longitud de la soldadura, (cm.).

3.3.2c Resistencia a la Ruptura al Corte por Punzonado

Cuando una lámina es paralela al eje longitudinal de un HSS y se encuentra soldada a la pared lateral del mismo, está sometida a una carga que es paralela pero excéntrica o tiene un componente perpendicular a las paredes de los HSS

$$\phi_t \cdot f \cdot t_p \leq 1.2 \cdot \phi_v \cdot F_u \cdot t \quad (3.8)$$

En donde:

$$\Phi_v = 0.75$$

$$\Phi_t = 0.90$$

f = máximo tensión en la lámina perpendicular a la pared del HSS (Kg/cm²)

t_p = espesor de la lámina, (cm.)

F_u = tensión mínima a tracción especificada de los HSS, (Kg. /cm²)

t = espesor de las paredes de los HSS, (cm.)

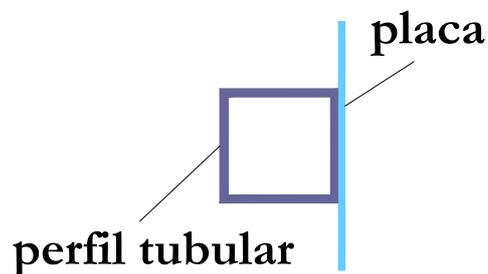


Tabla 3.3 Resistencia de diseño a la ruptura

Diametro pulg.	Espesor mm	Sección circular		Sección cuadrada		Sección rectangular			Máx valor para F^*t_p			
		Corte	ϕR_n Tracción	HxB mm.	Espesor mm	Corte	ϕR_n Tracción	HxB mm.		Espesor mm.	Corte	ϕR_n Tracción
3	2,25	10422	17371	60	2,25	10449	17415	80	40	10449	17415	968
3 1/2	2,25	12159	20266	70	2,25	12191	20318	100	40	12191	20318	968
4 1/2	2,50	17371	28951	90	2,50	17415	29025	120	60	17415	29025	1075
5	3,00	23161	38602	100	3,00	23220	38700	140	60	23220	38700	1290
5 1/2	3,40	28874	48123	110	3,40	28948	48246	160	65	29606	49343	1462
6	4,00	37057	61762	120	4,00	37152	61920	180	65	37926	63210	1720
6 5/8	4,30	43993	73322	135	4,30	44931	74885	200	70	44931	74885	1849
7 5/8	4,50	52987	88312	155	4,50	53987	89978	220	90	53987	89978	1935
8 5/8	5,50	73255	122091	175	5,50	74498	124163	260	90	74498	124163	2365
9 5/8	5,50	81747	136245	200	5,50	85140	141900	300	100	85140	141900	2365
9 5/8	7,00	104042	173403	200	7,00	108360	180600	300	100	108360	180600	3010
10 3/4	7,00	116212	193686	220	7,00	119196	198660	320	120	119196	198660	3010
10 3/4	9,00	149415	249025	220	9,00	153252	255420	320	120	153252	255420	3870
12 3/4	9,00	177208	295347	260	9,00	181116	301860	350	170	181116	301860	3870
12 3/4	11,00	216588	360980									4730

3.3.3 Conexiones Excéntricas

Para armaduras construidas con HSS, constituidas por miembros secundarios soldados a cordones, las excentricidades dentro de los límites de aplicabilidad de la Sección 3.3.4 se permitirán sin considerar los momentos resultantes para el diseño de las conexiones, excepto en las aplicaciones con fatiga.

3.3.4 Clasificación de las Conexiones entre HSS en Armaduras

Las conexiones entre HSS en armaduras consisten de uno o más miembros secundarios que están directamente soldados a un cordón continuo y serán clasificadas como sigue:

- a. Cuando la carga por punzonado de un miembro secundario, es equilibrada por corte en el cordón, las conexiones serán clasificadas como: conexiones **T**, cuando el miembro secundario es perpendicular al cordón y como una conexión **Y** cuando no lo sea.
- b. Cuando las cargas tipo punzonado de un miembro secundario están esencialmente equilibradas por las cargas de otro miembro secundario en el mismo lado de la junta, la conexión deberá ser clasificada como una conexión **K**.
- c. Cuando las cargas tipo punzonado, en un miembro secundario, son transmitidas a través del cordón y son equilibradas por otro miembro secundario en el lado opuesto, la conexión será clasificada como una conexión **X** o cruz.

Cuando los miembros secundarios transmiten parte de su carga como conexiones **K** y parte de su carga como conexiones **T**, **Y** y **X**, la resistencia de diseño será determinada por interpolación proporcional de cada una en el total.

Todo lo explicado anteriormente se puede ver en la [Figura 3.2](#)

Para los propósitos de esta Especificación, las líneas centrales de los miembros secundarios y de los cordones caerán en un plano simple y las conexiones **K** podrán ser usadas en la configuración con desfase. Para otras configuraciones tales como conexiones multiplanares, una conexión con miembros secundarios que está desfasada de tal manera, que su línea central no se intercepta con la línea del cordón, o cuando una conexión **K** es superpuesta, se usarán otros procedimientos de diseño, ensayos o análisis racionales.

3.3.5 Definición de Parámetros

β = es la relación de anchos; la relación del diámetro de miembros secundarios al diámetro del cordón = d_i/b_0 para HSS circulares, y la relación del ancho total del miembro secundario al ancho del cordón = b_i/b_0 para HSS rectangulares.

β_e = relación de ancho efectivo, la suma de los perímetros de los dos miembros secundarios en una conexión **K** dividida por 8 veces el ancho del cordón.

γ = la relación de esbeltez del cordón; la relación de una mitad del diámetro al espesor de la pared = $d_0/2t$ para HSS circulares, la relación de una mitad del ancho al espesor de la pared = $b_0/2t$ para HSS rectangulares.

η = parámetro de la longitud de la carga, aplicable solamente para HSS rectangulares, la relación de la longitud de contacto del miembro secundario con el cordón en el plano de la conexión al ancho del cordón = N/b_0 , donde $N = h_i/\text{sen}\Theta$ y Θ es el ángulo entre el miembro secundario y el cordón.

ζ =relación de abertura, la relación de abertura entre los miembros secundarios de una conexión **K** abierta al ancho del cordón = g/d_0 para HSS circulares = g/b_0 para HSS rectangulares.

3.4 COMPORTAMIENTO DE LAS UNIONES SOLDADAS ENTRE PERFILES TUBULARES CIRCULARES

El siguiente texto es una adaptación del Manual *Perfiles Tubulares en Aplicaciones Estructurales* de Wardenier, J. (2002) (Ref. 2)

Los perfiles tubulares circulares pueden conectarse de varias maneras:

- con conexiones especiales prefabricadas (Fig. 3.11)
- con piezas para los extremos de las barras que permiten uniones con tornillos (Fig. 3.12)
- soldados a una placa (Fig. 3.13)
- soldados directamente a la barra pasante (cordón)

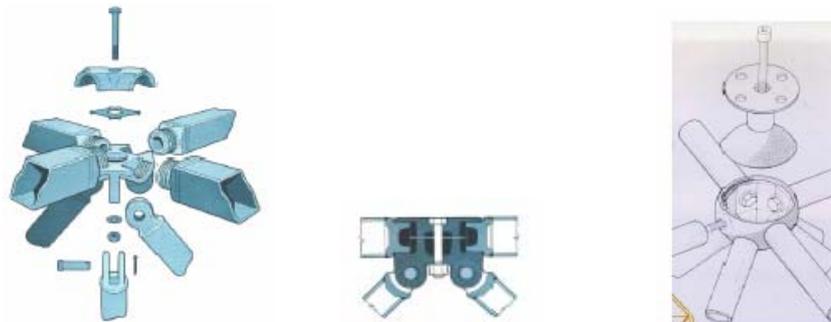


Figura 3.11 Nudos con conexiones prefabricadas.

Tomado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

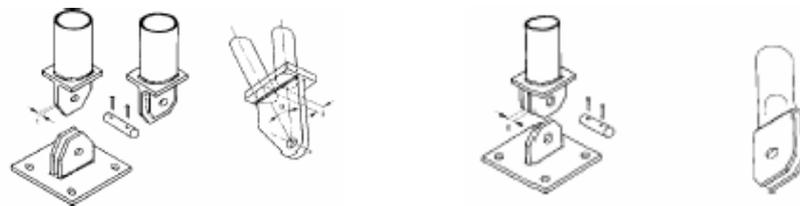


Figura 3.12 Nudos con piezas aplicadas en los extremos de las barras para uniones atornilladas

Tomado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

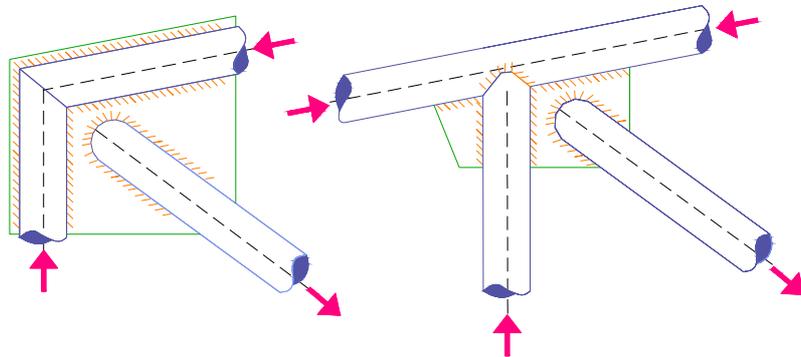


Figura 3.13 Uniones soldadas con cartela (costosas y obsoletas)
Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

Gracias a que en la actualidad no existen complicaciones para el torneado de los extremos de las barras, la solución más sencilla en cuanto a uniones se refiere, es la soldadura directa entre ellas. Aún así, en algunos casos pueden requerirse uniones atornilladas por razones de transporte y ensamblado, o uniones prefabricadas para estructuras espaciales.

Debido a la distribución no lineal de la rigidez a lo largo del perímetro de las barras soldadas directamente, las reglas de cálculo para estas uniones (Fig. 3.14), son bastante complejas. Se basan en una combinación de modelos analíticos y datos derivados de la experimentación que dan como resultado fórmulas de cálculo semi-empíricas, que responden a la transferencia de tensiones.

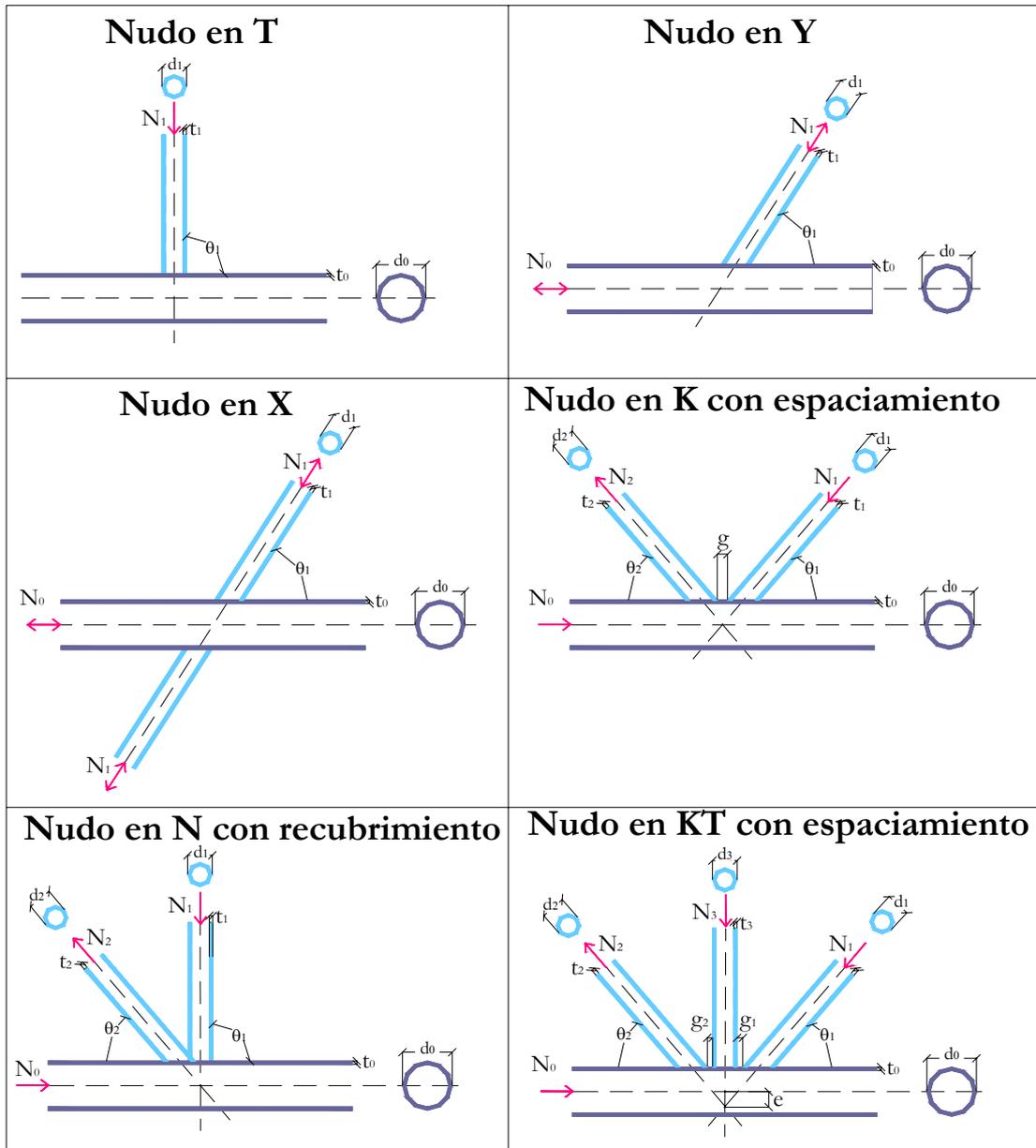


Figura 3.14 Uniones o nudos entre perfiles de sección circular soldados
Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

3.4.1 Modos de Falla

Como se explicó en la [Sección 3.1.1](#), es decir, siguiendo la trayectoria de las tensiones, pueden preverse varios modos de falla posibles ([Figura 3.15](#)), entre los cuales están:

- falla del miembro secundario (cedencia, pandeo local)
- falla de la soldadura
- desgarramiento laminar
- plastificación del cordón (cara/pared o sección transversal)
- punzonamiento del cordón
- pandeo local del cordón
- falla por tensión cortante en el cordón

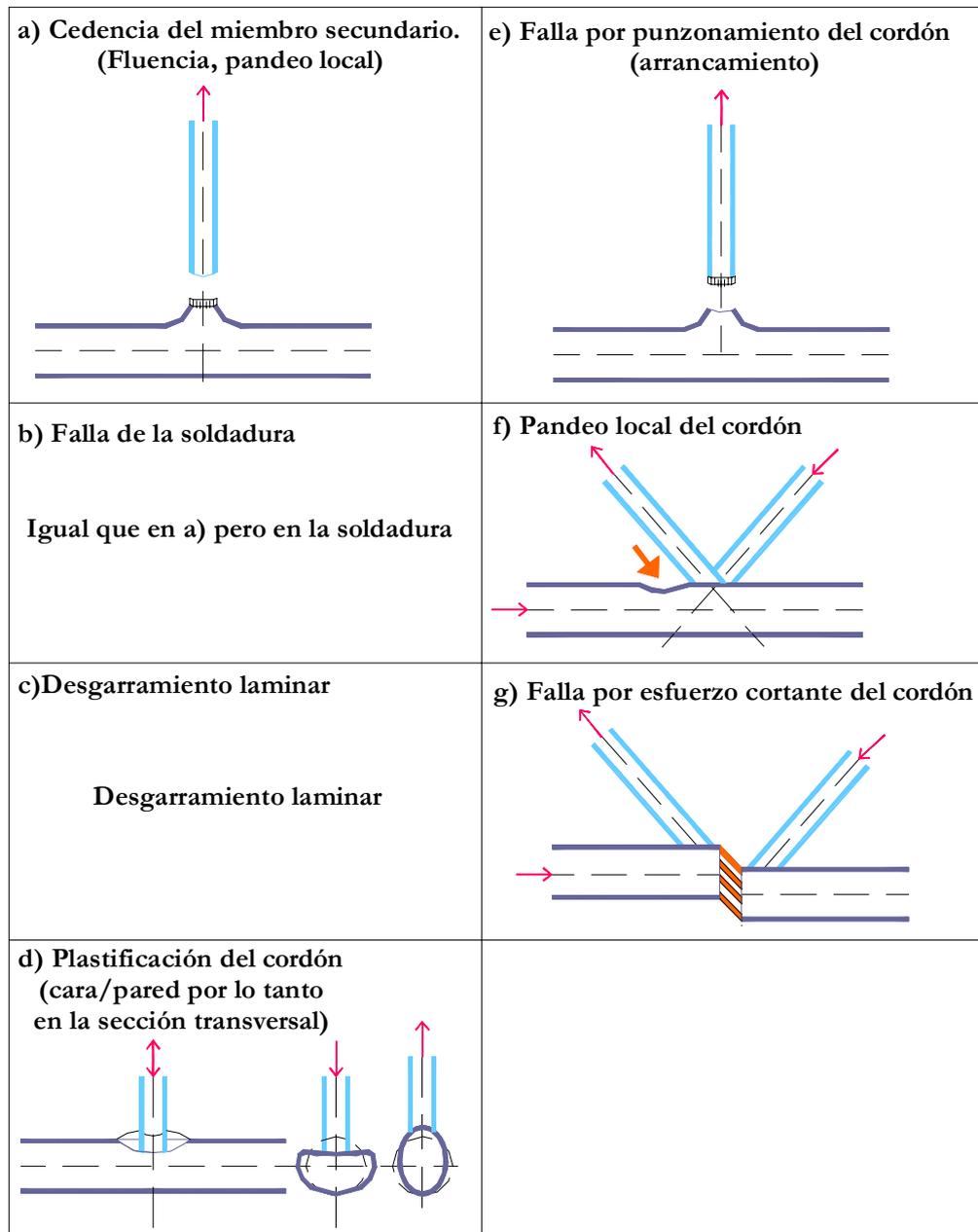


Figura 3.15 Modos de falla para uniones o nudos entre perfiles de sección circular
Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

Las soldaduras pueden considerarse siempre como más robustas que los elementos conectados.

El material no debe ser susceptible de sufrir desgarramiento laminar, es decir, para espesores gruesos el contenido de azufre debe ser bajo.

Además, en las recomendaciones de cálculo actuales, las relaciones ancho-espesor han sido limitadas para evitar el pandeo local, como se trató en el capítulo uno. Y aún más, dentro del campo de validez de las recomendaciones para el cálculo, se ha demostrado que el criterio de la tensión cortante en el cordón queda cubierto por la fórmula para la plastificación del cordón.

Como resultado, los modos de falla predominantes que se han de considerar han sido reducidos a:

- plastificación del cordón
- punzonamiento del cordón

3.4.1a Plastificación del Cordón

En una conexión tipo **X** la mayor parte de la tensión se transfiere por los valles de los miembros secundarios, ya que el cordón tiene un comportamiento más rígido en esa parte del perímetro de la conexión, véase la distribución elástica de las tensiones de la unión en la [Figura 3.16](#).

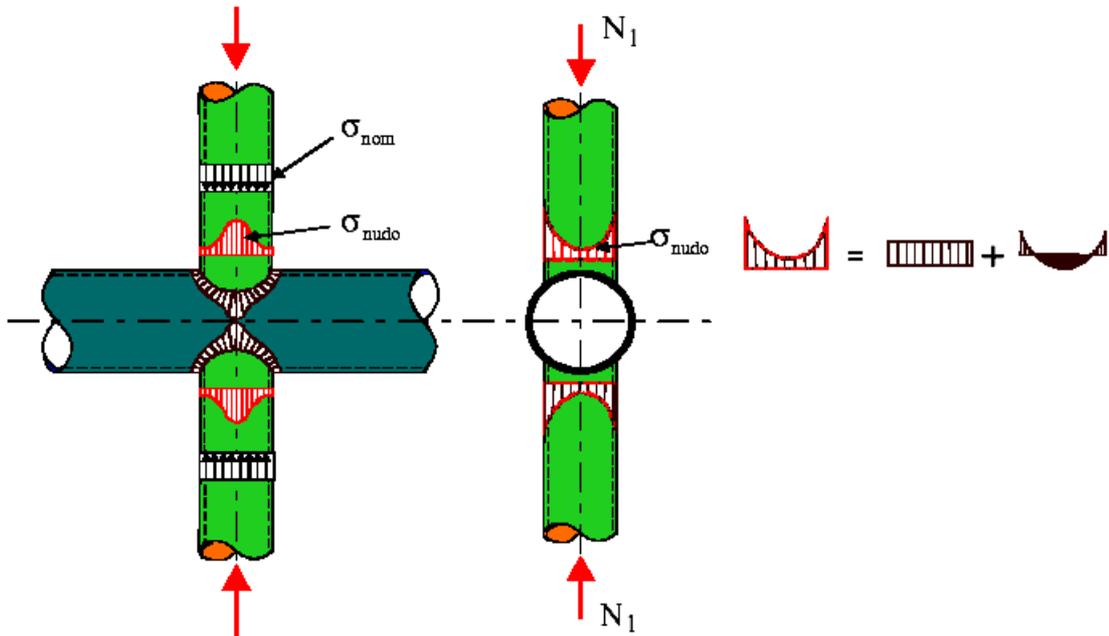


Figura 3.16 Modos de falla para uniones o nudos entre perfiles de sección circular
Tomado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

En situación de falla, se alcanzará la capacidad plástica resistente en las ubicaciones **A** y **B** (en la [Figura 3.17](#)).

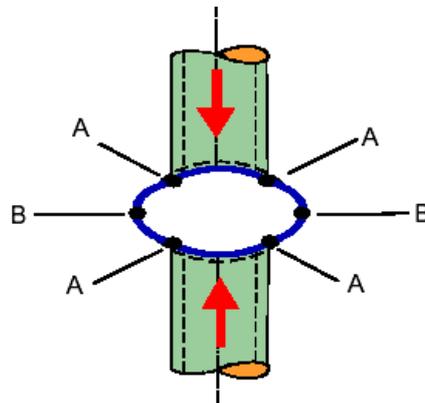


Figura 3.17 Articulaciones plásticas para una situación de colapso
Tomado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

Considerando la plastificación del cordón, causada por las componentes de la tensión en el miembro secundario, perpendiculares al cordón. Puede deducirse claramente que las tensiones actuantes en el cordón también influyen en la capacidad resistente de la unión y esto viene dado por una función, que se ha determinado en base a ensayos experimentales.

3.4.1b Punzonamiento por Tensión Cortante

El modelo de falla de punzonamiento por tensión cortante también viene dado por la componente de la tensión actuante en el miembro secundario perpendicular al cordón. La resistencia del nudo se fundamenta en el área efectiva a punzonado multiplicada por la resistencia al punzonado (Fig. 3.18). Debido a la desigual distribución de la rigidez, la distribución de tensiones tampoco será uniforme, incluso después de la cedencia. Sin embargo, los ensayos han demostrado que dentro del campo de validez dado, el perímetro completo se puede considerar como efectivo.

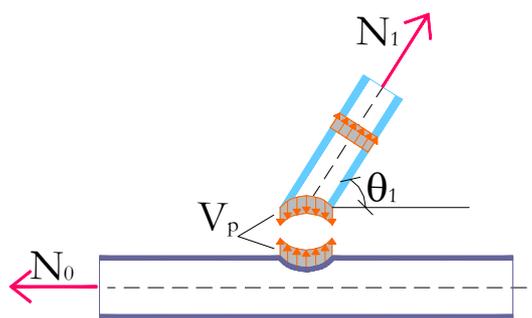


Figura 3.18 Punzonamiento por tensión cortante

Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

3.4.1c Tensión Cortante en el Cordón

En las conexiones tipo **T**, la falla está dominada por una combinación de: a) falla local de la sección transversal del cordón, a causa de la componente perpendicular al cordón de la tensión sobre el miembro secundario, y b) de falla del cordón debido al tensión cortante, la flexión y, si está presente, la tensión axial en el cordón.

Las conexiones tipo **K** con un valor de β elevado, pueden fallar a causa de una tensión cortante ubicado en la abertura, [Figura 3.19](#). El modo de falla es una plastificación de la sección transversal del cordón debido al tensión cortante, al tensión axial y, en caso de existir, a la flexión.

Si los momentos flectores son pequeños, sólo ha de tenerse en cuenta la interacción entre la tensión axial y la tensión cortante.

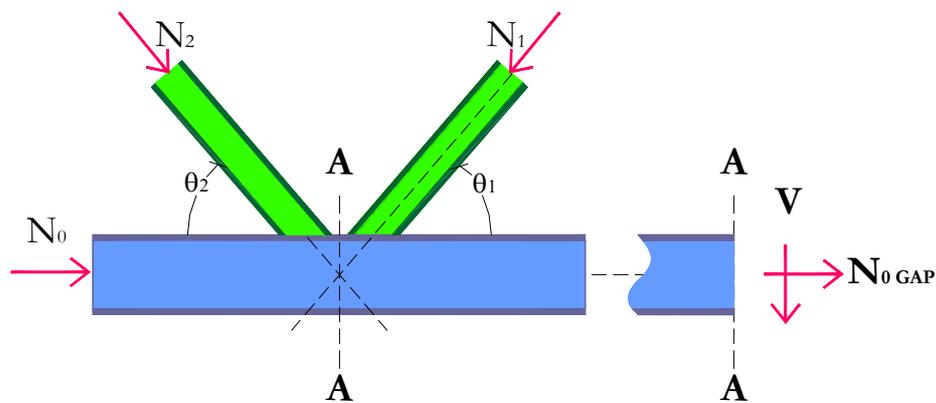


Figura 3.19 Tensión cortante en el cordón

Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

3.4.2 Verificación Experimental y Numérica

En la actualidad se dispone de muchos resultados de análisis numéricos así como también de una gran cantidad de evidencia experimental.

Principalmente en Alemania, Japón, los EE.UU., Holanda, Gran Bretaña y Noruega se han llevado los trabajos experimentales. Las conexiones se han sometido a varios ensayos, principalmente en conexiones aisladas. Solo algunos ensayos se han llevado a cabo en conexiones de estructuras completas.

3.4.3 Otros Tipos de Conexiones

3.4.3a Conexiones Directamente Relacionadas.

La resistencia de cálculo de los tipos de conexiones, que aparecen en la [Figura 3.20](#) puede relacionarse directamente con la de los tipos de conexiones básicas.

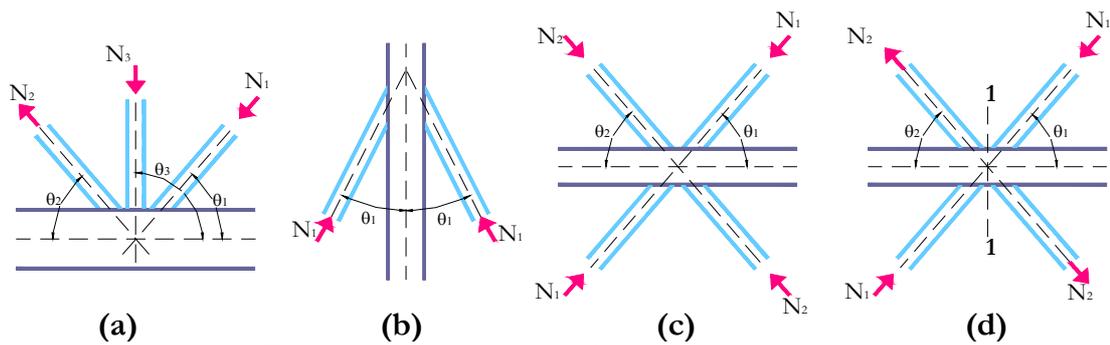


Figura 3.20 Tipos de conexiones relacionadas

Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

Las conexiones **(b)** y **(d)**, tienen una carga comparable a la de una conexión tipo **K** y la resistencia de cálculo tiene, por lo tanto, relación con la de las conexiones tipo **K**.

En todos los casos han de tenerse en cuenta las componentes perpendiculares al cordón de las tensiones en el miembro secundario, ya que estos afectan a la plastificación del cordón.

En este último caso también quedará claro que la tensión cortante del cordón será más elevado que para una conexión tipo **K** y habrá de considerarse por separado.

3.4.3b Conexiones Multiplano

En las conexiones multiplano hay dos efectos adicionales que influyen en la capacidad resistente en comparación con las conexiones en un solo plano, es decir:

- los efectos geométricos
- los efectos de carga

Consideremos por ejemplo el nudo **XX** de la [Figura 3.21](#). Si los miembros secundarios fuera del plano, son de diámetro muy pequeño y están descargados, apenas tendrán efecto en la deformación del cordón. Sin embargo, si el diámetro aumenta, la sección transversal del cordón se rigidizará considerablemente. En consecuencia, el efecto geométrico sobre la capacidad resistente de la conexión será menor para valores β pequeños y mayor para valores β más altos.

La capacidad de deformación disminuirá para relaciones de β altas, ya que la deformación se concentra en la ubicación de la abertura entre los miembros secundarios.

Para los efectos de carga en los nudos **XX** es bastante evidente que si las tensiones planos actuantes en los miembros secundarios son de sentido contrario, se reducirá la capacidad resistente de la conexión, mientras que si las cargas actúan en el mismo sentido, aumentará la capacidad resistente de la conexión.

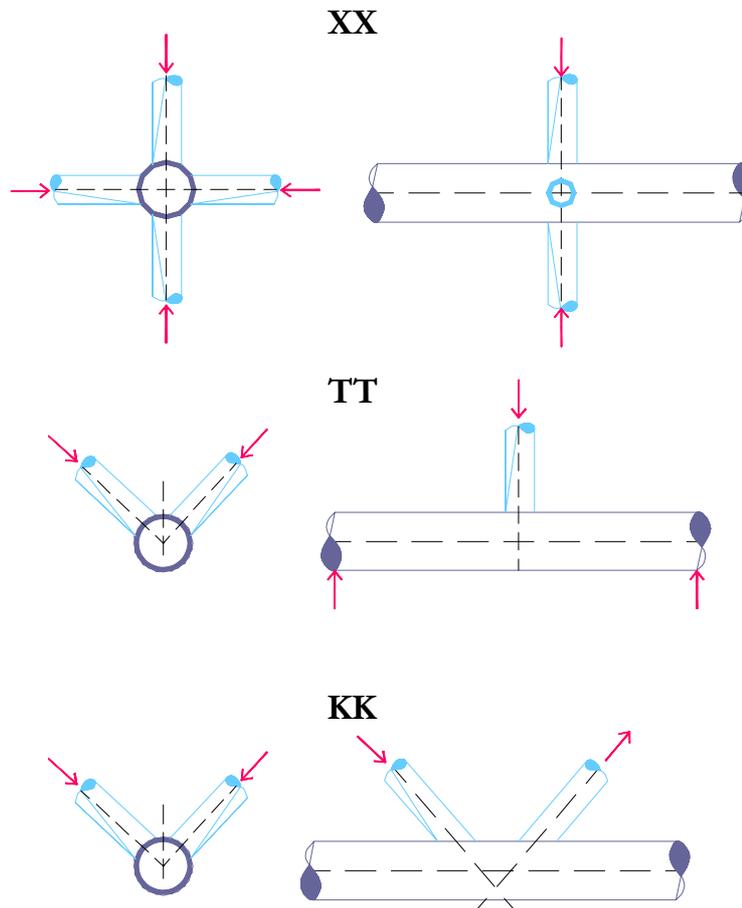


Figura 3.21 Conexiones multiplano

Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

3.4.3c Conexiones Sometidas a Momento Flector

En principio, las fórmulas de resistencia de cálculo para nudos sometidos a momentos flectores en el plano o fuera del plano se han determinado de forma similar a las de los nudos sometidos a tensión normal, resultando igualmente en dos criterios de resistencia, es decir, la plastificación del cordón y el punzonamiento del cordón. Se recomienda elegir las conexiones con $\beta=1$ para asegurar suficiente rigidez y resistencia.

3.5 REQUISITOS NORMATIVOS PARA HSS DE SECCI3N CIRCULAR

Estos requisitos normativos son una adaptaci3n al espaol de las Normas AISC (Noviembre, 2001) (Ref. 3)

Las resistencias de diseo de miembros secundarios ΦP_n y ΦM_n para cargas axiales y flexi3n respectivamente, ser3n determinadas a partir de los estados lmites de la plastificaci3n de las paredes del cord3n, de la ruptura del corte por punzonado y el colapso general.

Se considerar3 la interacci3n entre las tensiones debidos a las fuerzas en los cordones y a las fuerzas locales en las conexiones de los miembros secundarios. El par3metro de interacci3n entre tensiones en los cordones Q_f ser3 determinado como:

$$Q_f = 1 - \lambda \cdot \gamma \cdot U^2$$

Donde **U** es la relaci3n de utilizaci3n dada por:

$$U^2 = \left(\frac{Pu}{Ag \cdot Fy} \right)^2 + \left(\frac{Mu}{S \cdot Fy} \right)^2$$

$\lambda = 0.030$ para cargas axiales en miembros secundarios,

= 0.0044 para flexi3n en el plano del miembro secundario

= 0.018 para flexi3n fuera del plano en el miembro secundario.

Pu = resistencia requerida a carga axial en el cord3n, (Kg.)

Ag = 3rea total del cord3n, (cm²)

Fy = resistencia cedente del cord3n, (Kg/cm²)

Mu = la mayor resistencia a flexión requerida en el cordón y en la conexión, (Kg/m)

S = Módulo de sección elástico del cordón, (cm³)

3.5.1 Límites de Aplicabilidad

Los criterios aquí establecidos son aplicables solo cuando la configuración de la conexión está dentro de los siguientes límites de aplicabilidad:

- a. Excentricidad de la junta: $-0.55D \leq e \leq 0.25D$, donde **D** es el diámetro del cordón y *e* es el desplazamiento positivo de los miembros secundarios
- b. Ángulo de miembros secundario: $\theta \geq 30^\circ$
- c. Rigidez de la pared: relación del diámetro al espesor de la pared menor o igual a 50 para cordones y miembros secundarios en conexiones **T**, **Y** y **K**, y menor o igual a 40 para cordones en conexiones en cruz.
- d. Relación de ancho: $0.2 < d_1/d_0 \leq 1$. (Todas las secciones nacionales aquí tabuladas, cumplen con este requisito).
- e. Abertura **g**, mayor o igual que la suma de los espesores de las paredes de los miembros secundarios.

3.5.2 Miembros Secundarios con Cargas Axiales

Para conexiones tipo **T**, **Y** y **K**, la resistencia de diseño de miembros secundarios **ΦPn** será el menor valor obtenido de acuerdo a los estados límites de plastificación de las paredes de los cordones y la ruptura al corte por punzonado. Para conexiones tipo **X** la resistencia de diseño de los

miembros secundarios ΦP_n será el menor valor obtenido de acuerdo a los estados límites de plastificación de las paredes del cordón, y ruptura al corte por punzonado y el colapso en general.

3.5.2a Para el Estado Límite de Plastificación de las Paredes del Cordón:

$$\Phi = 0.80$$

$$P_n \cdot \text{sen} \theta = t^2 \cdot F_y \cdot (6\pi \cdot \beta \cdot Q_p) Q_f \quad (3.9)$$

Donde

$$Q_p = \left(\frac{1.7}{\alpha} + \frac{0.18}{\beta} \right) Q_\beta^{0.7-(\alpha-1)} \quad (3.10)$$

- para $\beta \leq 0.6 \rightarrow Q_\beta = 1$

- para $\beta > 0.6 \rightarrow Q_\beta = \left(\frac{0.3}{\beta(1 - 0.833\beta)} \right)$

α = parámetro de ovalización del cordón

= 1.7 para conexiones **T** y **Y**

= $1 + 0.7g/d_1$, $1 \leq \alpha < 1.7$, para conexiones **K**

= 2.4 para conexiones **X**

3.5.2b Para el Estado Límite de Ruptura al Corte por Punzonado

$$\Phi = 0.95$$

$$P_n \cdot \text{sen} \theta = \pi \cdot d_1 \cdot t(0.6 \cdot F_y) \quad (3.11)$$

3.5.2c Para el estado límite de colapso

$$\Phi = 0.80$$

$$P_n \cdot \text{sen}\theta = 1.8t^2 \cdot F_y(1.9 + 2.7 \cdot \beta)Q_p \cdot Q_f \quad (3.12)$$

3.5.3 Miembros Secundarios a Flexión

Para conexiones **T**, **Y**, **X** y **K** con espaciamiento, la resistencia de diseño del miembro secundario ΦM_n , será el menor valor obtenido de acuerdo a los estados límites de plastificación de las paredes del cordón y la ruptura al corte por punzonado.

3.5.3a Para el Estado Límite de Plastificación de las Paredes del Cordón

$$\Phi = 0.80$$

$$M_n \cdot \text{sen}\theta = t^2 \cdot F_y \cdot \left(\frac{d_1}{4}\right) \cdot (6\pi \cdot \beta \cdot Q_q) \cdot Q_f \quad (3.13)$$

Donde:

$$Q_q = \left(\frac{2.1}{\alpha} + \frac{0.6}{\beta}\right) Q_\beta^{1.2-(\alpha-0.67)} \quad (3.14)$$

- para $\beta \leq 0.6 \rightarrow Q_\beta = 1$

- para $\beta > 0.6 \rightarrow Q_\beta = \left(\frac{0.3}{\beta(1 - 0.833\beta)}\right)$

α = parámetro de ovalización del cordón

= 0.67 para pandeo en el plano

= 1.5 para pandeo fuera del plano

Para combinaciones de pandeo en el plano y fuera del plano, α será determinada por interpolación, y Q_f interpolando los valores de λ .

3.5.3b Para el Estado Límite de Ruptura al Corte por Punzonado

$$\Phi = 0.95$$

$$Mn \cdot \text{sen}\theta = d_1^2 \cdot t_0 \cdot (0.6 \cdot Fy) \quad (3.15)$$

3.5.4 Miembros Secundarios con Cargas Axiales y Flexión Combinadas

La interacción de cargas axiales y flexión combinada en conexiones entre HSS de armaduras, cumplirán los siguientes requerimientos:

$$\left(\frac{Pu}{\phi \cdot Pn} \right)^{1.75} + \frac{Mu}{\phi \cdot Mn} \leq 1 \quad (3.16)$$

Donde:

Pu = resistencia axial requerida para el miembro secundario, (Kg.)

Mu = resistencia a flexión requerida para el miembro secundario
(Kg.-m)

3.6 UNIONES SOLDADAS ENTRE PERFILES TUBULARES RECTANGULARES

El siguiente texto es una adaptación del Manual *Perfiles Tubulares en Aplicaciones Estructurales* de Wardenier, J. (2002) (Ref. 2)

La unión de perfiles tubulares rectangulares se hace generalmente de forma directa, es decir, sin la utilización de placas o cartelas, como se muestra en la [Figura 3.22](#). Esta es la forma más económica, además de proporcionar la manera más eficiente de protección y mantenimiento. Su conexión es muy fácil de realizar, ya que solo se necesitan cortes rectos en los extremos del perfil.

Aunque la fabricación es sencilla, la transferencia de tensiones es más compleja debido a la distribución no uniforme de la rigidez en las conexiones. A causa de las caras planas del perfil, las diferencias de rigidez en las esquinas y en el centro de una cara son incluso mayores que los de los perfiles tubulares circulares.

El criterio general para identificar los diferentes modos de falla y para examinar la transferencia de tensiones se ha descrito en la Sección 3.1, pero se tratará aquí con más detalle, aplicado a las uniones entre perfiles tubulares rectangulares y cuadrados.

La mayor parte de los modos de falla se pueden relacionar con los modelos analíticos utilizados para estudiar el impacto de los diferentes parámetros que los influyen. Se han establecido normas de cálculo basadas en los modelos analíticos y en los ensayos realizados.

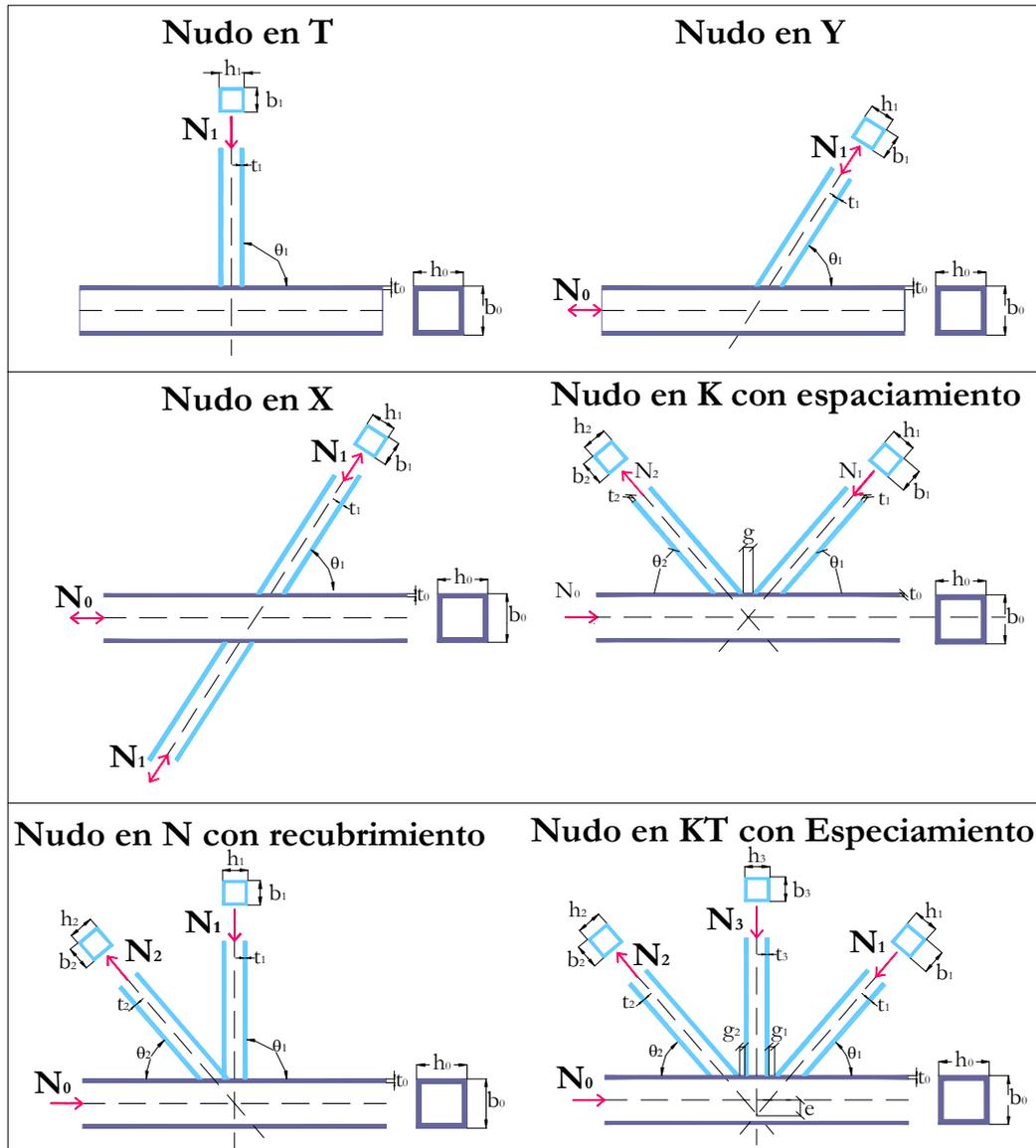


Figura 3.22 Uniones soldadas entre perfiles tubulares rectangulares o cuadrados
Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

3.6.1 Modos de Falla

De manera similar a las conexiones entre perfiles tubulares circulares, la capacidad resistente se basa en el valor máximo del diagrama cargas deformaciones (si la deformación del cordón es menor de $0.03 b_o$) o en la carga cuando la deformación del cordón es $0.03 b_o$.

Como ya se ha indicado en la Sección 3.1 y muestra la [Figura 3.23](#), pueden darse los siguientes modos de falla:

- falla del miembro secundario (ancho efectivo del miembro secundario: falla parcial o pandeo)
- falla de la soldadura
- desgarramiento laminar
- plastificación de la cara del cordón
- falla del cordón por punzonamiento
- límite elástico de la pared del cordón o pandeo
- pandeo local en el cordón
- falla del cordón por tensión cortante

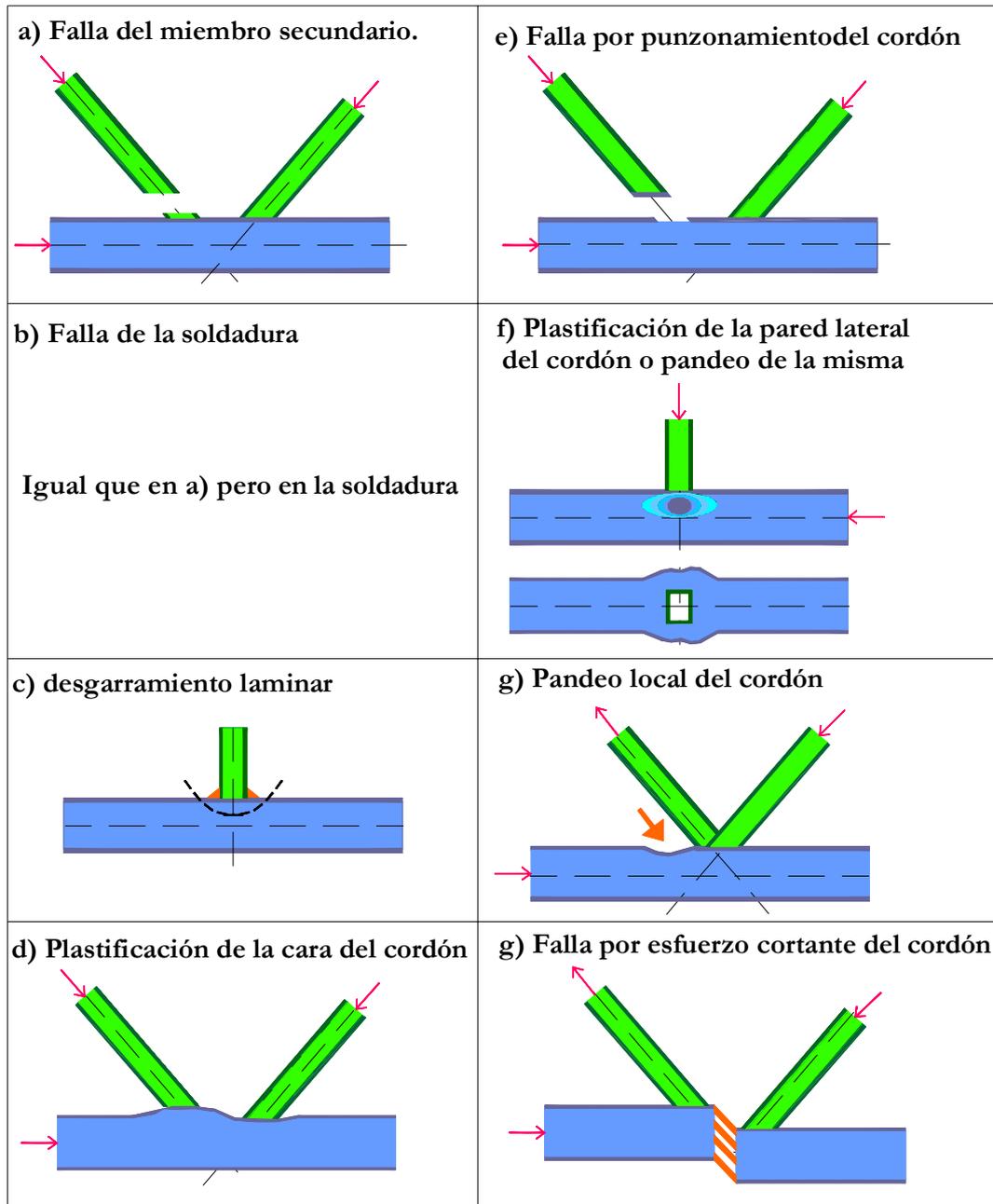


Figura 3.23 Modos de falla para uniones soldadas entre HSS rectangulares o cuadrados Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

Al igual que en las uniones entre perfiles tubulares circulares, para evitar fallas en las soldaduras éstas deben ser más robustas que los elementos unidos.

También en este caso, para elementos de pared muy gruesa ($t > 25$ mm), debería utilizarse una calidad de acero con bajo contenido de azufre en los cordones, para así evitar el desgarramiento laminar.

Como se habló en el Capítulo 1, las relaciones ancho-espesor de pared (b/t) han sido limitadas, con el fin de evitar el pandeo local y/o limitar las deformaciones.

Para el cálculo se deben considerar los siguientes modos de falla:

- falla del miembro secundario (ancho efectivo)
- plastificación de la cara del cordón
- punzonamiento en el cordón
- falla de la pared lateral del cordón
- falla del cordón por tensión cortante

El proceso de comprobación para las conexiones entre perfiles tubulares rectangulares es más complicado, pues se deben tener en cuenta varios modos de falla ya que éstos pueden ser unidos con varias orientaciones y combinaciones.

Para las uniones entre perfiles tubulares cuadrados, dentro de un campo de validez mas reducido los modos de falla a comprobar pueden limitarse de uno a dos.

En las conexiones, la falla del miembro secundario ocurre normalmente cuando estos tienen paredes relativamente delgadas y es un modo de falla general para las conexiones con solape.

La plastificación de las paredes del cordón es el tipo de falla más común para las conexiones tipo **T**, **Y**, **X** y **K**, y para las conexiones tipo **N** con abertura que tengan relaciones de ancho $\beta < 0.85$.

Se puede dar punzonamiento en el cordón en conexiones con relaciones β relativamente altas o bajas, sin embargo para poder existir la tensión cortante en la cara del cordón se debe cumplir que $b_i < b_0 - 2t$.

La falla de la pared lateral del cordón es un modo de falla habitual para los nudos en **T**, **Y** y **X** con una relación β cercana o igual a 1.0.

Puede darse tensión cortante en el cordón de conexiones tipo **K** con abertura que tengan una relación β alta, o en nudos en **K** con abertura cuyos cordones tienen una relación h_o/b_o baja.

3.6.2 Criterios de Diseño.

En ocasiones, el comportamiento de la unión resultará ser demasiado complicado para cubrir todos los parámetros que influyen; en combinación con los resultados de ensayos se han desarrollado fórmulas semi-empíricas para definir la resistencia de la conexión. Estos modelos se utilizarán para describir el comportamiento de las conexiones y para definir los parámetros que gobiernan la resistencia.

3.6.2a Estado límite de plastificación de las paredes del cordón

Para aquellas conexiones con relaciones β medias se alcanza una buena aproximación de la capacidad de plastificación de la cara del cordón. Para relaciones β muy pequeñas puede que la deformación implícita en el patrón de plastificación sea demasiado elevada. Para relaciones β altas se predice resistencias infinitas y serán otros los criterios que gobiernan la unión, por ejemplo, punzonamiento o el estado límite de resistencia de la pared lateral.

En principio, se hace una aproximación del límite superior; por lo tanto, han de examinarse varias disposiciones de líneas de rotura para obtener la capacidad más baja. Sin embargo, la diferencia de capacidad resistente entre las diferentes disposiciones de líneas de rotura es relativamente pequeña. Además, los efectos locales de plastificación por deformación y los efectos de membrana se ignoran. Por lo tanto, la disposición simplificada de líneas de rotura mostrada en la [Figura 3.24 \(modelo a\)](#) se utiliza generalmente para nudos en **T**, **Y** y **X** en lugar de la otra disposición más complicada mostrada en la [Figura 3.24 \(modelo b\)](#).

El principio del estado límite de plastificación se basa en las ecuaciones que relacionan la energía externa obtenida con la fuerza externa N_p , y la consiguiente deformación δ , y la energía interna mediante el sistema de articulaciones plásticas.

También se pueden utilizar estos criterios para los conexiones tipo **K**. Sin embargo, la transferencia de tensiones se hace más complicada porque en la zona del espaciamiento la situación de tensión en la articulación elástica está muy influida por las tensiones para comportamiento de

membrana, las tensiones por corte y por el endurecimiento. Estos efectos complican los modelos de tal manera que para el cálculo se utilizan fórmulas semi-empíricas.

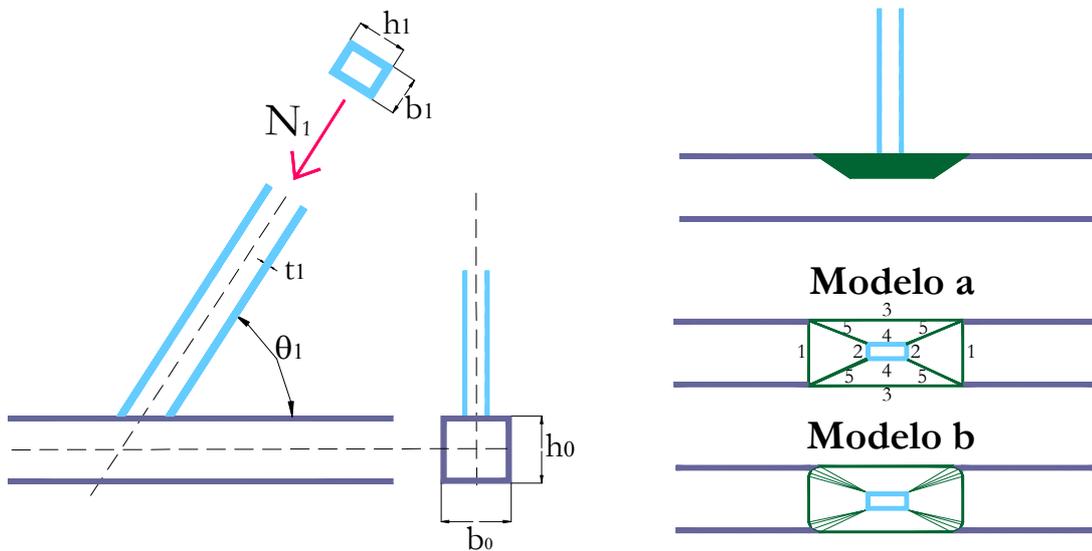


Figura 3.24 Modelo de estado límite de plastificación para conexiones Tipo T, Y y X

Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

3.6.2b Criterio para Punzonado por Tensión Cortante

Los miembros secundarios se pueden separar del cordón, resultando la fractura del cordón por tensión cortante alrededor del perímetro de la conexión del miembro secundario. Puesto que la rigidez no es uniforme a lo largo del perímetro, la capacidad de deformación de ciertos elementos puede no ser suficiente para obtener un perímetro totalmente efectivo ante el punzonamiento por tensión cortante, es decir, sólo ciertas partes pueden suponerse eficaces para resistir el punzonamiento por tensión cortante. Por ejemplo, para una conexión tipo **T** o en **Y** (Fig. 3.25) los lados adyacentes a

las paredes del cordón son la parte más rígida. Dependiendo de la relación b_o/t_o del cordón, una parte mayor o menor a lo largo de las paredes transversales, designada como β_{ep} , será efectiva.

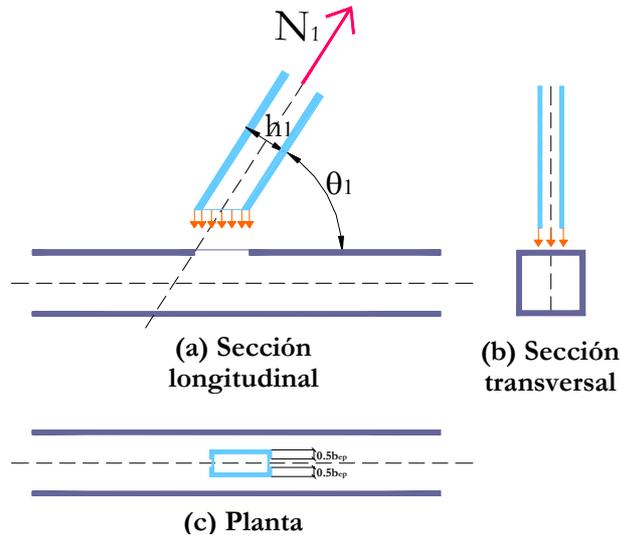


Figura 3.25 Modelo de punzonado para conexiones tipo T, Y y X. Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

El punzonamiento está causado por la componente perpendicular a la cara del cordón de la tensión del miembro secundario, por lo tanto el criterio de punzonamiento viene dado por:

$$P_n \cdot \text{sen} \theta = 0.6 \cdot b_o \cdot t \cdot F_y \cdot (2\eta + 2\beta_{pe}) \quad (3.17)$$

Es evidente que β_{ep} será una función de b_o/t_o . Cuanto menor sea b_o/t_o , mayor será β_{ep} . La determinación del valor de β_{ep} es experimental.

En conexiones tipo **K** con espaciamiento, el tamaño del espaciamiento es de vital importancia para la longitud efectiva a punzonamiento. Por ejemplo, si el tamaño del espaciamiento es cercano a cero y el valor β es entre bajo y medio (Fig. 3.26a), la parte del

espaciamiento es relativamente demasiado rígida comparada con las otras partes del perímetro.

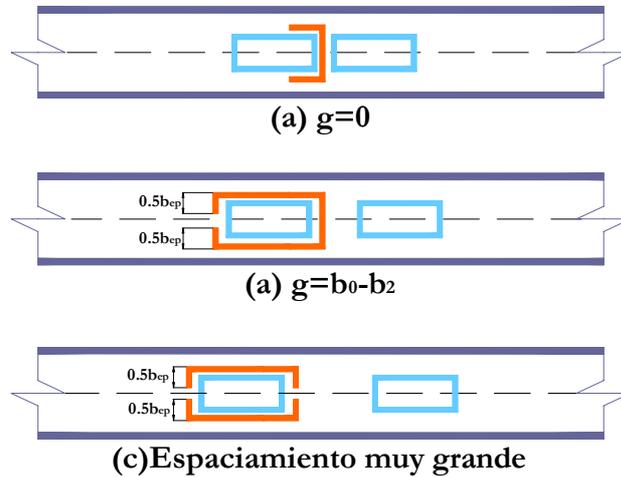


Figura 3.26 Modelo de punzonado para conexión tipo K con espaciamiento Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

Para un espaciamiento grande (Fig. 3.26c) se da una situación similar a la de los nudos en **T**, **Y** y **X**, por lo tanto resulta la Fórmula 3.17

Para un espaciamiento cuya rigidez es aproximadamente la misma que la de los lados de los miembros secundarios (Fig. 3.26b), el criterio de punzonamiento es:

$$Pn \cdot \text{sen}\theta = 0.6 \cdot b_0 \cdot t \cdot Fy(2\eta + \beta + 2\beta pe) \quad (3.18)$$

Despreciando el espesor y los tamaños de las soldaduras, el valor del espaciamiento debe cumplir:

$$\zeta = \frac{g}{b_0} = 1 - \beta$$

Debido a la capacidad de deformación del material, que se ha comprobado experimentalmente, el límite se puede ampliar a:

$$\zeta \geq 0.5(1 - \beta e) \quad (3.19)$$

Estos límites no resultan prácticos para valores β grandes y se necesita un espaciamiento mínimo $g = t_1 + t_2$ para permitir la soldadura.

3.6.2c Estado Límite de Distribución de Cargas Desiguales.

Este criterio tiene cierta relación con el de punzonado por esfuerzo cortante, pero en este caso la falla se da en el miembro secundario. Dado que la rigidez no es uniforme a lo largo del perímetro de la unión, en ambos modelos hay una parte efectiva, aunque debido a la diferente capacidad de deformación hasta llegar a la cedencia del miembro secundario y por punzonado del cordón, los valores para β_{ep} y β_e son diferentes.

Para este criterio se tomará la tensión sobre el miembro secundario. El efecto del ángulo θ no ha sido aún definido claramente y hasta ahora se ha excluido de forma conservadora.

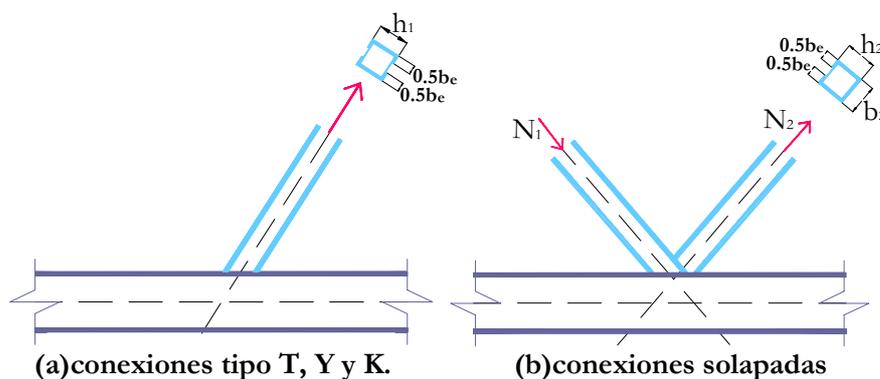


Figura 3.27 Criterio de ancho efectivo del miembro secundario.
Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

Para nudos en **T**, **Y** y **X** (Fig. 3.27a), el estado límite de distribuciones de cargas desiguales puede aplicarse mediante:

$$Pn \cdot \text{sen}\theta = t_1 \cdot Fy_1(2h_1 + 2b_{pe} - 4t_1) \quad (3.20)$$

El término $4t_1$ ha de incluirse para evitar que las esquinas se cuenten dos veces. De manera similar al criterio de punzonamiento, el ancho efectivo b_{pe} se determina experimentalmente y aumenta si b_o/t_o disminuye; este punto se tratará con mayor profundidad mas adelante.

Para nudos en **K** con espaciamiento es aplicable lo mismo que para el criterio de punzonamiento, es decir, el tamaño del espaciamiento debe satisfacer la Ecuación 3.19 para que la pared transversal del miembro secundario en el espaciamiento sea totalmente eficaz, es decir:

$$Pn \cdot \text{sen}\theta = t_1 \cdot Fy_1(2h_1 + 2b_{pe} + b_1 - 4t_1) \quad (3.21)$$

Este criterio puede también aplicarse directamente a las conexiones solapadas para el miembro secundario que se solapa, véase la Figura 3.27b.

3.6.2d Modelo de Aplastamiento de la Pared Lateral del Cordón o Modelo de Pandeo

Los nudos en **T**, **Y** y **X** con una relación β alta ceden generalmente por cedencia o pandeo de las paredes laterales del cordón, véase la Figura 3.28 Para conexiones con $\beta = 1.0$, la capacidad resistente puede determinarse fácilmente mediante:

$$Pn \cdot \text{sen}\theta = 2 \cdot t_o \cdot Fy_o(5r_o + N) \quad (3.22)$$

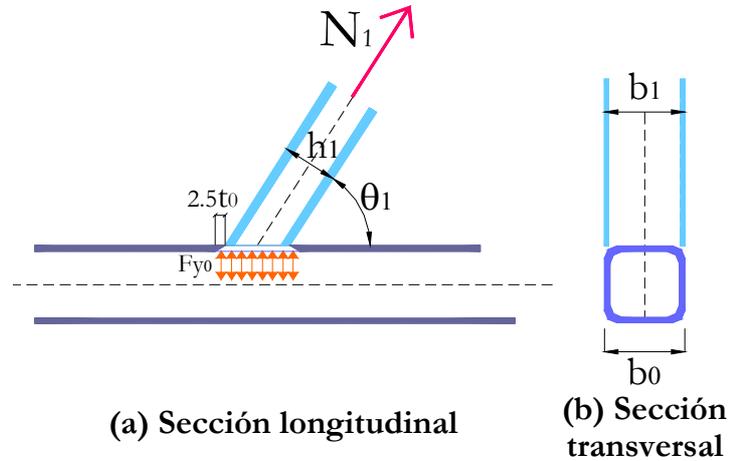


Figura 3.28 Estado límite de cedencia de la pared lateral del cordón.
Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

3.6.2e Modelo de Tensión Cortante del Cordón

De forma parecida a las conexiones entre perfiles tubulares circulares, este modelo, que muestra la [Figura 3.29](#), se fundamenta en las fórmulas básicas para el cálculo plástico. La capacidad plástica resistente a tensión cortante viene dada por:

$$V_n = F_n \cdot A_w \quad (3.23)$$

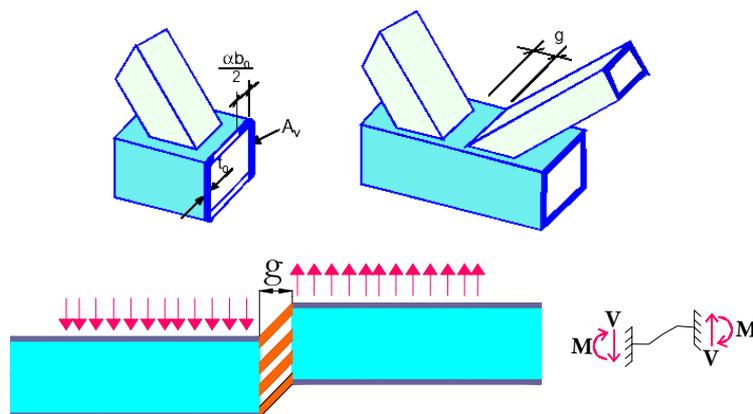


Figura 3.29 Modelo de fallo por tensión cortante en el cordón.
Tomado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

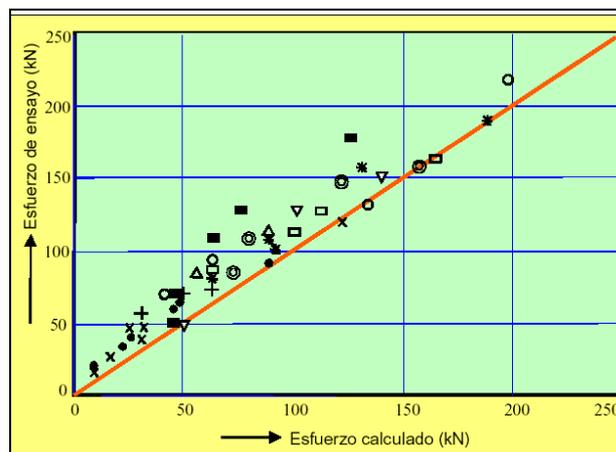
En principio, las almas son eficaces para la tensión cortante, pero, si el espaciamiento es pequeño, puede que una parte del ala superior sea también eficaz; por lo tanto:

$$A_w = 2 \cdot h_0 \cdot t \quad (3.24)$$

El factor F_n depende de la relación entre la abertura y el espesor del cordón g/t_0 y puede determinarse fácilmente en base al análisis plástico.

3.6.3 Verificación Experimental Y Numérica

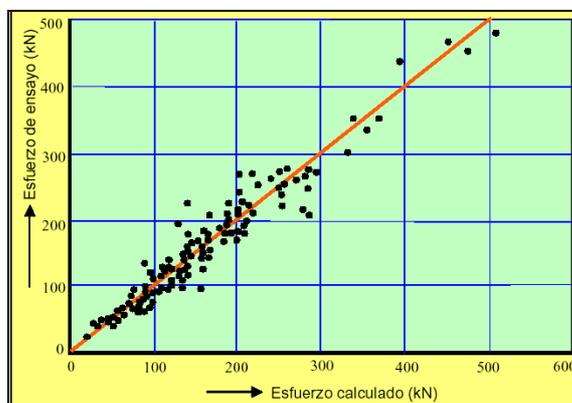
En un principio, se desarrollaron fórmulas analíticas o semi-empíricas basadas en los modelos y en los resultados de ensayos. Por ejemplo, para nudos en **T**, **Y** y **X**, el modelo de líneas de rotura (plastificación) se utiliza como límite inferior para los resultados de ensayos y también se incluye en las recomendaciones, mientras que para los nudos en **K** con espaciamiento se utiliza una fórmula semi-empírica.



Gráfica 3.4 Evaluación del criterio de plastificación del cordón para conexiones tipo T, Y y X basado en el modelo de estado límite de las paredes del cordón

Tomado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

La [Gráfica 3.4](#) muestra una comparación entre la fórmula para la resistencia de nudos en **K** con espaciamiento y los experimentos.



Gráfica 3.5 Comparación entre ensayos experimentales y la ecuación de resistencia media de conexiones tipo **K** con espaciamiento.

Tomado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

En los últimos 10 años se han hecho accesibles los resultados de muchas investigaciones numéricas, lo cual puede dar como resultado un nuevo análisis de todos los datos y en la presentación de una revisión de las recomendaciones.

3.6.4 Otros Tipos de Conexiones u otras Condiciones de Solicitación

3.6.4a Conexiones entre Miembros Secundarios de Perfiles Circulares y Cordón de Perfil Rectangular

Véase la [Figura 3.30](#), en lo que concierne a la plastificación de la cara del cordón la resistencia de la conexión de un miembro secundario de perfil tubular circular con diámetro aproximadamente $\pi/4$ veces el de una

conexión de un miembro secundario de perfil tubular cuadrado de ancho $b_i = d_i$. Esto significa que se pueden utilizar las mismas fórmulas que para los nudos de perfiles tubulares cuadrados, pero tienen que multiplicarse por $\pi/4$.

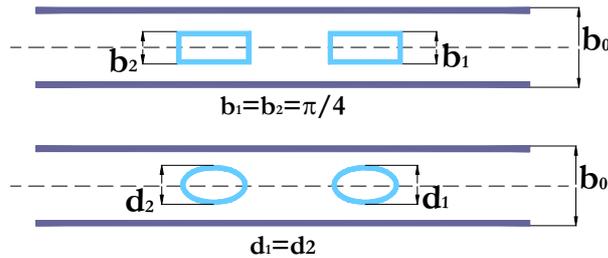


Figura 3.30 Comparación de conexiones tipo K con un miembro secundario circular y una conexión equivalente con un miembro secundario cuadrado.

Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

Esto significa también que las conexiones tienen la misma eficiencia, es decir, la resistencia de la conexión dividida por la carga de aplastamiento del miembro secundario.

3.6.4b Conexiones entre Placas o Perfiles en I y Cordones de HSS Rectangulares

Estas uniones se abordan de una forma similar a las conexiones con perfiles tubulares rectangulares y por lo cual se deben tener en consideración los mismos modos de falla. Dichas uniones salen del alcance

de este proyecto, por lo cual no se tratarán con mayor profundidad. Para mayor referencia véase los manuales de diseo recomendados¹.

3.6.4c Conexiones Multiplano

En las conexiones multiplano hay que tener en cuenta el efecto geométrico y el efecto de cargas, al igual que en las conexiones de HSS circulares. Un miembro secundario multiplanar tendrá una influencia geométrica solo si el valor β es alto, porque entonces la pared lateral del cordón se rigidiza.

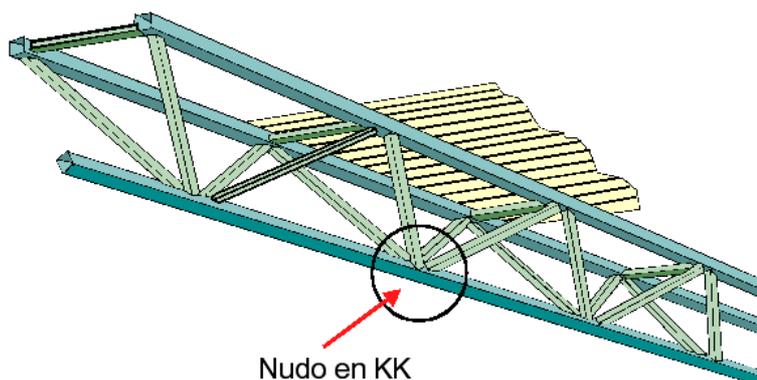


Figura 3.31 Conexión multiplano con HSS cuadrados

Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

Las primeras investigaciones sobre conexiones tipo **K** (Fig. 3.38), llevadas a cabo por Bauer y Redwood mostraron que la resistencia de las conexiones tipo **K** multiplano puede considerarse similar a la de los planos.

¹ - Packer, J.A., Wardenier, J., Kurobane Y., Dutta, D. and Yeomans, N.: Design guide for rectangular hollow section (RHS) joints under predominantly static loading (3). CIDECT (Ed.) and Verlag TÜV Rheinland, Cologne, Germany, 1992. ISBN 3-8249-0089-0.
- ENV 1993-1-1: 1992, Eurocode No. 3, Design of Steel Structures, part 1.1 - General Rules and Rules for Buildings, CEN, 1992.

Posteriores trabajos realizados en el Reino Unido y Holanda demostraron que, especialmente para nudos con relaciones b_o/t_o altas, podían obtenerse resultados inferiores en cierta medida. En la actualidad se están investigando con más detalle las uniones multiplano en K con espaciamiento.

3.6.4d Conexiones Solicitadas a Momentos Flectores

Para este caso, las conexiones se tratarán de forma similar a la de las conexiones sometidas a tensión axial. Igualmente se verifican los límites de aplicabilidad, lo cual simplifica los cálculos reduciendo los criterios a comprobar.

3.7 REQUISITOS NORMATIVOS PARA HSS DE SECCIÓN RECTANGULAR

Estos requisitos normativos son una adaptación al español de las Normas AISC (Noviembre, 2001) (Ref. 3)

La resistencia de diseño a carga axial del miembro secundario ΦP_n y la resistencia a flexión ΦM_n será el menor valor obtenido de acuerdo a los estados límites de plastificación de las paredes del cordón, la ruptura al corte por punzonado, la resistencia de las paredes laterales, y la distribución desigual de cargas como se aplica a continuación.

La interacción de tensiones debido a fuerzas en los cordones y las fuerzas locales en las conexiones locales de miembros secundarios serán consideradas con el parámetro de interacción Q_f , donde:

$$\begin{aligned} Q_f &= 1 \text{ cuando el cordón está en tensión} \\ &= 1.3 - U/\beta \leq 1 \end{aligned} \quad (3.25)$$

En conexiones **T**, **Y** y **X** cuando el cordón está a compresión

$$Q_f = 1.3 - U/\beta_{ef} \leq 1 \quad (3.26)$$

En conexiones **K** cuando el cordón está a compresión.

$$\text{Donde:} \quad U = \left| \frac{Pu}{Ag \cdot Fy} \right| + \left| \frac{Mu}{S \cdot Fy} \right| \quad (3.27)$$

Pu = resistencia axial requerida del cordón, (Kg)

Mu = resistencia a flexión requerida del cordón, (Kg-m)

3.7.1 Límites de Aplicabilidad

Los criterios aquí dados, son aplicables sólo cuando la configuración de la conexión está dentro de los siguientes límites

1. Excentricidad de la junta: $-0.55h_0 \leq e \leq 0.25h_0$, donde h_0 es la profundidad del cordón y e es el desplazamiento de los miembros secundarios
2. Ángulo del miembro secundario: $\Theta \geq 30^\circ$
3. Rigidez de la pared: relación del ancho de la pared a su espesor menor o igual 35 para miembros secundarios y cordones; a $1.25\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ para miembros secundarios en compresión.
4. Resistencia: F_y menor o igual a 3600 Kg/cm^2 para cordones y miembros secundarios.
5. Relación de aspecto de cordones y miembros secundarios: $0.5 \leq$ la relación de la profundidad con el ancho ≤ 2
6. Ductilidad $F_y/F_u \leq 0.8$
7. Otros límites aplican para criterios específicos

3.7.2 Miembros Secundarios con Cargas Axiales en Conexiones en T, Y y X

Para conexiones tipo **T**, **Y** y **X**, la resistencia de diseño del miembro secundario ΦP_n será el menor valor obtenido de acuerdo a los estados límites de plastificación de la pared del cordón, la ruptura al corte por

punzonado, la resistencia de la pared y la distribución desigual de carga. En adición a los límites de aplicabilidad, de la sección 3.7.1 el valor de β no será menor que 0.25.

3.7.2a Para al Estado Límite de Plastificación de las Paredes del Cordón

$$\Phi = 1$$

$$Pn \cdot \text{sen}\theta = t_0^2 \cdot Fy \cdot \left(\frac{2\eta}{1-\beta} + \frac{4}{\sqrt{1-\beta}} \right) Q_f \quad (3.28)$$

Este estado límite no necesita ser verificado cuando $\beta > 0.85$

3.7.2b Para el Estado Límite de Ruptura al Corte por Punzonado

$$\Phi = 0.95$$

$$Pn \cdot \text{sen}\theta = 0.6 \cdot b_0 \cdot t_0 \cdot Fy (2\eta + 2\beta_{\text{perfect}}) \quad (3.29)$$

En la formula anterior el parámetro efectivo por punzonado exterior $\beta_{\text{perfect}} = 5\beta/\gamma$, no excederá de β

Este estado límite no se verificará cuando $\beta > 1 - 1/\gamma$ o cuando $\beta < 0.85$

3.7.2c Para el Estado Límite de la Resistencia de las Paredes Laterales

Para el estado límite de la resistencia de las paredes laterales, la resistencia de diseño para miembros secundarios en tracción se tomará como correspondiente a la cedencia local de la pared lateral. Para el estado

límite de la resistencia de la pared lateral, la resistencia de diseño para miembros secundarios en compresión, se tomará como el menor valor entre las resistencias, de diseño para cedencia local del lado de las paredes laterales y el aplastamiento de las mismas.

Este estado límite no necesita verificarse a menos que los cordones y el miembro secundario tengan el mismo ancho ($\beta = 1$)

i) Para el estado límite de cedencia local

$$\begin{aligned}\Phi &= 1 \text{ para una bifurcación a tracción} \\ &= 0.8 \text{ para una bifurcación a compresión} \\ Pn \cdot \text{sen}\theta &= 2t_0 \cdot Fy \cdot (5k + N)\end{aligned}\tag{3.30}$$

Donde:

k = radio externo de la esquina del HSS, el cual puede ser tomado como 1.5t si no se conoce, (cm.)

N = longitud de soporte de la carga a lo largo de la longitud del HSS, $h_i/\text{sen}\Theta$, (cm.)

h_i = altura del empalme, (cm.)

ii) Para el estado límite de aplastamiento de las paredes laterales, en conexiones **T** y **Y** $\Phi = 0.75$

$$Pn \cdot \text{sen}\theta = 1.6 \cdot t_0^2 \cdot \left(1 + 3 \frac{N}{h_0}\right) \sqrt{E \cdot Fy \cdot Q_f}\tag{3.31}$$

iii) Para el estado límite de aplastamiento de las paredes laterales, en conexiones tipo **X** $\Phi = 0.80$

$$Pn \cdot \text{sen} \theta = \left(\frac{48 \cdot t^3}{h_0 - 4t_0} \right) \sqrt{E \cdot Fy \cdot Q_f} \quad (3.32)$$

iv) Para el estado límite de distribuciones de cargas desiguales,

$$\Phi = 0.95$$

$$Pn = t_1 \cdot Fy_1 \cdot (2h_1 + 2b_{\text{pfect}} - 4t_1) \quad (3.33)$$

Donde:
$$b_{\text{pfect}} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot \frac{Fy \cdot t_0 \cdot b_0}{Fy_1 \cdot t_1} \leq 1 \quad (3.34)$$

Fy_1 = resistencia cedente del miembro secundario, (Kg. /cm²)

t_1 = espesor del miembro secundario, (cm.)

Este estado límite no necesitará verificarse cuando $\beta < 0.85$

3.7.3 Miembros Secundarios con Cargas Axiales en Conexiones **K** con Espaciamiento

Para conexiones en **K** con espaciamiento, la resistencia de diseño para cada ΦP_n será el menor valor obtenido de acuerdo a los estados límites de plastificación de las paredes del cordón y ruptura al corte por punzonado, cedencia al corte y distribución de cargas desiguales. Además de los límites de aplicabilidad en la sección 3.7.1, los siguientes límites podrán ser aplicados:

1. $b_1/b_0 \geq 0.1 + \gamma/50$
2. $\beta_{\text{efec}} \geq 0.35$
3. $\zeta \geq 0.5 (1 - \beta_{\text{efec}})$
4. el más pequeño $b_1 > 0.63$ veces el mayor b_1

3.7.3a Estado Límite de Plastificación de las Paredes del Cordón

Para el estado límite de plastificación de la pared del cordón

$$\Phi = 0.90$$

$$P_n \cdot \text{sen} \theta = t_0^2 \cdot (9.8) \cdot \beta_{\text{perfect}} \sqrt{\lambda} \cdot F_y \cdot Q_f \quad (3.35)$$

3.7.3b Estado Límite de Ruptura al Corte por Punzonado

Para el estado límite de ruptura al corte por punzonado

$$\Phi = 0.95$$

$$P_n \cdot \text{sen} \theta = (0.6F_y) \cdot t_0 \cdot b_0 \cdot (2\eta + \beta + 2\beta_{\text{pefec}}) \quad (3.36)$$

Este estado límite solo necesita verificarse cuando $b_1 < b_0 - 2t_0$ el miembro secundarios no es cuadrado.

3.7.3c Estado Límite de Cedencia al Corte del Cordón en el espaciamento

Para en estado límite de cedencia al corte del cordón en el espaciamento, la resistencia de diseño será: $\varphi_v V_n$

Donde $\varphi_v = 0.9$ y $V_n = F_n A_w$

F_n deberá ser determinado como sigue:

- Para $h_0/t_0 \leq 2.45\sqrt{E/F_y}$ $F_n = 0.6 \cdot F_y$

$$\text{- Para } 2.45\sqrt{E/Fy} < h_0/t_0 \leq 3.07\sqrt{E/Fy} \quad Fn = \frac{0.6Fy(2.45\sqrt{E/Fy})}{h_0/t_0}$$

$$\text{-Para } 3.07\sqrt{E/Fy} < h_0/t_0 \leq 260 \quad Fn = \frac{0.458 \cdot \pi^2 E}{(h_0/t_0)^2}$$

3.7.3d Estado Límite de Distribución de Cargas Desiguales.

Para el estado límite de distribución de cargas desiguales.

$$\Phi = 0.95$$

$$Pn = Fy_1 \cdot t_1 \cdot (2h_1 + b_1 + 2b_{pefec} - 4t_1) \quad (3.37)$$

$$\text{Donde:} \quad b_{pefect} = \frac{10}{b_0/t_0} \cdot \frac{Fy \cdot t_0}{Fy_1 \cdot t_1} b_1 \leq b_1 \quad (3.38)$$

Este límite sólo será verificado si el miembro secundario no es cuadrado

3.7.4 Miembros Secundarios a Flexión

Se considerarán en el diseño como una carga adicional de tracción o compresión axial los momentos flectores primarios **Mu** debido a las cargas aplicadas, en vigas en voladizo, desplazamiento lateral de pórticos no arriostrados y otras fuentes,

$$Pua = \frac{Mu}{c \cdot \text{sen}\theta} \quad (3.39)$$

Donde:

$c = N/4$ para flexión en el plano

$= b_1$ para flexión fuera del plano

3.8 PASOS A SEGUIR PARA LA SOLUCIÓN DE UN PROBLEMA.

1. Luego de que se tiene la configuración de la estructura (longitudes, y disposición de elementos) y las cargas a las cuales debe ser sometida, se procederá al análisis estructural de la misma para determinar cual es el valor de las tensiones que debe resistir cada miembro.

2. Con los valores y tipo de sollicitación en cada elemento, se procede a elegir en las tablas del capítulo 2, los perfiles que sean más eficientes en cada caso:

‣ Tabla 2.1, para elementos soldados en todo el perímetro y sometidos a tracción axial

‣ Tabla 2.2 a la Tabla 2.4, para elementos sometidos a tracción axial, conectados mediante una cartela dispuesta concéntricamente dentro de una ranura hecha al tubular.

‣ Tabla 2.5 y Tabla 2.6, solo para elementos cuadrados o rectangulares sometidos a tracción axial. Y conectados mediante un par de cartelas dispuestas lateralmente.

‣ Tabla 2.7 a la Tabla 2.10, para elementos sometidos a compresión. Debe tenerse especial cuidado en las secciones rectangulares ya que debe verificarse la resistencia para las alas y para las almas.

‣ Tabla 2.11, para elementos sometidos a tracción.

Nota: Para elementos sometidos a flexocompresi3n no existen tablas en este trabajo pero su c3lculo puede ser guiado mediante el apartado 2.4.

3. Luego de elegidos los elementos (tamao y secci3n transversal) y forma de las conexiones, se procede a la verificaci3n de cada una de ellas:

a) Para Secciones Circulares

- Verificar si los l3mites de aplicabilidad, resumidos en la Tabla 3.5, cumplen para la combinaci3n elegida.

- Dependiendo del tipo de solicitaci3n a la cual est3n sometidos los miembros secundarios y a la configuraci3n de la conexi3n, verificar cuales son los estados l3mites a estudiar en cada caso. Esto puede verse m3s claramente en la Tabla 3.8.

- Proceder a calcular los estados l3mites para lo cual es necesario el c3lculo previo de los t3rminos definidos en la tabla 3.6, as3 como los par3metros definidos en la tabla 3.4.

b) Para secciones rectangulares y cuadradas

- Verificar si los l3mites de aplicabilidad, resumidos en la tabla 3.5, cumplen para la combinaci3n elegida.

- Dependiendo del tipo de solicitaci3n a la cual est3n sometidos los miembros secundarios y a la configuraci3n de la conexi3n, verificar cuales

son los estados límites a estudiar en cada caso. Esto puede verse más claramente en la Tabla 3.9

- Proceder a calcular los estados límites, para lo cual es necesario el cálculo previo de los términos definidos en la tabla 3.6, así como los parámetros definidos en la tabla 3.4. En este tipo de sección debe tenerse especial cuidado con los requisitos pedidos para la relación β , en cada cálculo de estado límite, para de esta manera no trabajar de más, ya que algunos estados límites no se deben verificar para algunas combinaciones.

4. Realizar los cambios que requieran las conexiones, de no cumplir con los requisitos normativos, entre estos se encuentran:

- Cambio del espaciamiento, para conexiones tipo **K**, bien sea por razones de excentricidades indeseadas o por razones de resistencia. En este caso puede requerirse pasar de una conexión con espaciamiento a una solapada, o viceversa.

- Cambio de perfiles, en el caso que una conexión sea de difícil configuración (que cumpla con los requisitos), con los perfiles elegidos inicialmente. Por ejemplo excentricidades excesivas o relaciones entre elementos fuera de los límites

5. De haberse realizado cambios en la configuración de la conexión, proceder con el recálculo de ésta. (Punto 3 de estos pasos).

Tabla 3.4 Definición de parámetros

	SECCIÓN CIRCULAR	SECCIÓN CUADRADA O RECTANGULAR
β	d_1/d_0	b_1/h_0
β_e	$(\text{Perímetro}_1 + \text{Perímetro}_2)/8d_0$	$(\text{Perímetro}_1 + \text{Perímetro}_2)/8h_0$
γ	$d_0/2t_0$	$h_0/2t_0$
η	-	$h_1/(\text{sen}\theta \cdot h_0)$
ζ	g/d_0	g/h_0

Tabla 3.5 Límites de aplicabilidad.

SECCIÓN CIRCULAR		SECCIÓN CUADRADA O RECTANGULAR	
T, Y y K	X	Todas las conexiones	
		Tracción	Compresión
		$\theta \geq 30^\circ$	
		$0,55d_0 \leq e \leq 0,25 d_0$	
$d_0/t_0 \leq 50$	$d_0/t_0 \leq 40$	$0,55h_0 \leq e \leq 0,25h_0$	
$d_1/t_1 \leq 50$		$d_0/t_0 \leq 50$	$d_1/t_1 \leq 50$
			$d_1/t_1 \leq 1,25(E/F_y)^{1/2}$
		$0,2 < d_1/d_0 \leq 1$	
		$g \geq t_0 + t_1$	
		$0,2 < d_1/d_0$ $0,5 \leq b_0/h_0 \leq 2$ $F_y \leq 3600 \text{ kg./cm}^2$ $F_y / F_u \leq 0,8$	
		K con espaciamento	
		$b_1 / b_0 \geq 0,1 + (\gamma/50)$	
		$\beta_{\text{efect}} \geq 0,35$	
		$\zeta \geq 0,5 * (1 - \beta_{\text{efect}})$	
		$b_1 \geq 0,63 * b_2 \quad (b_1 < b_2)$	

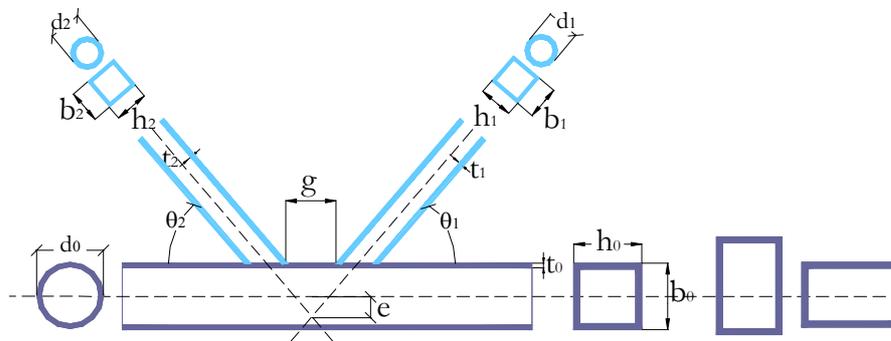


Figura 3.3 Símbolos utilizados para conexiones tipo K con espaciamento
Modificado de perfiles tubulares en aplicaciones estructurales (Ref. 2)

Tabla 3.6 Términos para el cálculo de la Resistencia de diseño

SECCIÓN CIRCULAR	$Q_f = 1 - \lambda \gamma U^2$	$U^2 = \left(\frac{Pu}{Ag \cdot Fy} \right)^2 + \left(\frac{Mu}{S \cdot Fy} \right)^2$	$\lambda=0,03$ Para cargas axiales en miembros secundarios $\lambda=0,0044$ Para flexión en el plano del miembro secundario $\lambda=0,018$ Para flexión fuera del plano del miembro secundario
	$Q_p = \left(\frac{1.7}{\alpha} + \frac{0.18}{\beta} \right) Q_\beta^{0.7-(\alpha-1)}$	$\alpha=1,7$ conexiones T $\alpha=1+0,7g/d1, 1 \leq \alpha < 1,7$ conexiones K $\alpha=2,4$ conexiones X	$\beta \leq 0.6 \rightarrow Q_\beta = 1$
	$Q_q = \left(\frac{2.1}{\alpha} + \frac{0.6}{\beta} \right) Q_\beta^{1.2-(\alpha-0.67)}$	$\alpha=0,67$ Para pandeo en el plano $\alpha=1,5$ Para pandeo fuera del plano	$\beta > 0.6 \rightarrow Q_\beta = \left(\frac{0.3}{\beta(1 - 0.833 \beta)} \right)$
SECCIÓN RECTANGULAR	$Q_f = 1$	Para cordón en tracción	
	$Q_f = 1.3 - U/\beta \leq 1$	Conexiones T, Y y X cordón comprimido	$U = \left \frac{P_u}{A_g F_y} \right + \left \frac{M_u}{S F_y} \right $
	$Q_f = 1.3 - U/\beta_{ef} \leq 1$	Conexiones K cordón comprimido	

Tabla 3.7 Factor de resistencia (ϕ)

Sección circular	0,80	<ul style="list-style-type: none"> ● Plast. Paredes cordon ● Estado lim. Colapso
	0,95	Rup. Corte punz.
Sección cuadrada o rectangular	0,75	Estado lim. Aplast. Pared lat. T y Y
	0,80	<ul style="list-style-type: none"> ● Estado lim. Aplast. Pared lat. X ● Estado lim. Cedencia (bifurcación a compresión)
	0,95	<ul style="list-style-type: none"> ● Est. Lim distrib cargas desiguales ● Rup. Corte punz.
	1,00	<ul style="list-style-type: none"> ● Plast. Paredes cordon ● Estado lim. Cedencia (bifurcación a tracción)

Tabla 3.8 Resistencias de diseño para perfiles de sección circular

		Estado límite de las paredes del cordón	Estado límite de ruptura al corte por punzonado	Estado límite de colapso general
Miembros secundarios con cargas axiales	T, Y y K	$P_n = \frac{t^2 \cdot F_y \cdot (6\pi \cdot \beta \cdot Q_p) Q_f}{\text{sen } \theta}$	$P_n = \frac{\pi \cdot d_i \cdot t_0 \cdot (0.6 \cdot F_y)}{\text{sen } \theta}$	
	Conexión X			$P_n = \frac{1.8t^2 \cdot F_y \cdot (1.9 + 2.7 \cdot \beta) Q_p \cdot Q_f}{\text{sen } \theta}$
Miembros secundarios a flexión	T, Y, X y K con espaciamiento	$M_n = \frac{t^2 \cdot F_y \cdot \left(\frac{d_i}{4}\right) \cdot (6\pi \cdot \beta \cdot Q_4) \cdot Q_f}{\text{sen } \theta}$	$M_n = \frac{d_i^2 \cdot t_0 \cdot (0.6 \cdot F_y)}{\text{sen } \theta}$	
Miembros secundarios con cargas axiales y flexión combinadas	Todas las conexiones	$\left(\frac{Pu}{\phi \cdot P_n}\right)^{1.75} + \frac{Mu}{\phi \cdot M_n} \leq 1$		

Tabla 3.9 Resistencias de diseño para perfiles de sección cuadrada o rectangular

MIEMBROS SECUNDARIOS SOMETIDOS A CARGAS AXIAL				
T, Y	Compresión	X		
		Tracción	Compresión	
Plastificación de las paredes del cordón	$P_{Tn} = \frac{2t_0 \cdot F_y \cdot \left(\frac{2t_1}{t_0} \sqrt{1-\beta} \right) \cdot \beta}{\text{sen} \theta}$			$P_{Tn} = \frac{(98) \cdot A_{\text{cordón}} \cdot F_y \cdot \beta}{\text{sen} \theta}$
	verificar solo si $\beta \leq 0,85$			
Ruptura al corte por punzonado	$P_{Tn} = \frac{0,6 F_y t_0 \cdot I_p \cdot \beta}{\text{sen} \theta}$			$P_{Tn} = \frac{(0,6 F_y) \cdot t_0 \cdot (2t_1 - 2t_0) \cdot \beta}{\text{sen} \theta}$
	verificar solo si $\beta \leq 1/(1/\gamma)$ ó $\beta \geq 0,85$ Donde $\beta_{\text{perfect}} = 5 \beta / \gamma \leq \beta$			
Resistencia de paredes laterales del cordón	Verificar solo si $\beta = 1$			
	Cedencia local			
	$P_{Tn} = \frac{2t_0 \cdot F_y (5k + N)}{\text{sen} \theta}$	$P_{Tn} = \frac{2t_0 \cdot F_y (5k + N)}{\text{sen} \theta}$		
Distribución de cargas desiguales	Aplastamiento de las paredes del cordón			$P_{Tn} = \frac{48t_0^3}{h_1 \cdot 4h_2} \sqrt{E \cdot F_y \cdot Q_f} \cdot \text{sen} \theta$
	$P_{Tn} = \frac{1,5 t_0^3 \cdot (1 - 1,3 \frac{N}{h_2}) \sqrt{E \cdot F_y \cdot Q_f}}{\text{sen} \theta}$			
Cedencia al corte del cordón en el espaciamiento	$P_{Tn} = \frac{F_y \cdot I_p \cdot (2t_1 - 2t_0) \cdot \beta}{\text{sen} \theta}$			*Ver sección 3.7.3c
	MIEMBROS SECUNDARIOS SOMETIDOS A FLEXIÓN			
$P_{ua} = \frac{M_u}{c \cdot \text{sen} \theta}$				

3.9 VERIFICACIÓN DE LOS LÍMITES DE APLICABILIDAD EN LOS PERFILES NACIONALES

3.9.1 Perfiles de Sección Circular

3.9.1a Límites de Aplicabilidad*

a) Rigidez de la pared y excentricidad

Diámetro		e _{mín}	e _{máx}	T, Y y K	
Externo	Espesor			X	
pulg.	mm.	mm.		≤50	≤40
3	2,25	-41,91	19,05	33,87	
3 1/2	2,25	-48,90	22,23	39,51	
4 1/2	2,50	-62,87	28,58	45,72	
5	3,00	-69,85	31,75	42,33	
5 1/2	3,40	-76,84	34,93	41,09	
6	4,00	-83,82	38,10	38,10	
6 5/8	4,30	-92,57	42,08	39,14	
7 5/8	4,50	-106,54	48,43	43,04	
8 5/8	5,50	-120,51	54,78	39,84	
9 5/8	5,50	-134,48	61,13	44,45	
9 5/8	7,00	-134,48	61,13	34,93	
10 3/4	7,00	-150,21	68,28	39,01	
10 3/4	9,00	-150,21	68,28	30,34	
12 3/4	9,00	-178,15	80,98	35,99	
12 3/4	11,00	-178,15	80,98	29,45	

b) Espaciamiento g

		MIEMBROS SECUNDARIOS															
D (pulg.)		3	3 1/2	4 1/2	5	5 1/2	6	6 5/8	7 5/8	8 5/8	9 5/8	9 5/8	10 3/4	10 3/4	12 3/4	12 3/4	
t (mm.)		2,25	2,25	2,50	3,00	3,40	4,00	4,30	4,50	5,50	5,50	7,00	7,00	9,00	9,00	11,00	
CORDONES	3	2,25	4,50														
	3 1/2	2,25	4,50	4,50													
	4 1/2	2,50	4,75	4,75	5,00												
	5	3,00	5,25	5,25	5,50	6,00											
	5 1/2	3,40	5,65	5,65	5,90	6,40	6,80										
	6	4,00	6,25	6,25	6,50	7,00	7,40	8,00									
	6 5/8	4,30	6,55	6,55	6,80	7,30	7,70	8,30	8,60								
	7 5/8	4,50	6,75	6,75	7,00	7,50	7,90	8,50	8,80	9,00							
	8 5/8	5,50	7,75	7,75	8,00	8,50	8,90	9,50	9,80	10,00	11,00						
	9 5/8	5,50	7,75	7,75	8,00	8,50	8,90	9,50	9,80	10,00	11,00	11,00					
	9 5/8	7,00	9,25	9,25	9,50	10,00	10,40	11,00	11,30	11,50	12,50	12,50	14,00				
	10 3/4	7,00	9,25	9,25	9,50	10,00	10,40	11,00	11,30	11,50	12,50	12,50	14,00	14,00			
	10 3/4	9,00	11,25	11,25	11,50	12,00	12,40	13,00	13,30	13,50	14,50	14,50	16,00	16,00	18,00		
	12 3/4	9,00	11,25	11,25	11,50	12,00	12,40	13,00	13,30	13,50	14,50	14,50	16,00	16,00	18,00	18,00	
	12 3/4	11,00	13,25	13,25	13,50	14,00	14,40	15,00	15,30	15,50	16,50	16,50	18,00	18,00	20,00	20,00	22,00

* Los perfiles que no cumplen con los límites establecidos se encuentran resaltados con color gris

c) Para el límite de relación de anchos (β) todas las combinaciones cumplen. Como se muestra en la tabla que se encuentra a continuación

3.9.1b Parámetros

a) Relación de anchos β

		MIEMBROS SECUNDARIOS															
CORDONES	D (pulg.)	3	3 1/2	4 1/2	5	5 1/2	6	6 5/8	7 5/8	8 5/8	9 5/8	9 5/8	10 3/4	10 3/4	12 3/4	12 3/4	
	t (mm.)	2,25	2,25	2,50	3,00	3,40	4,00	4,30	4,50	5,50	5,50	7,00	7,00	9,00	9,00	11,00	
	3	2,25	1,00														
	3 1/2	2,25	0,86	1,00													
	4 1/2	2,50	0,67	0,78	1,00												
	5	3,00	0,60	0,70	0,90	1,00											
	5 1/2	3,40	0,55	0,64	0,82	0,91	1,00										
	6	4,00	0,50	0,58	0,75	0,83	0,92	1,00									
	6 5/8	4,30	0,45	0,53	0,68	0,75	0,83	0,91	1,00								
	7 5/8	4,50	0,39	0,46	0,59	0,66	0,72	0,79	0,87	1,00							
	8 5/8	5,50	0,35	0,41	0,52	0,58	0,64	0,70	0,77	0,88	1,00						
	9 5/8	5,50	0,31	0,36	0,47	0,52	0,57	0,62	0,69	0,79	0,90	1,00					
	9 5/8	7,00	0,31	0,36	0,47	0,52	0,57	0,62	0,69	0,79	0,90	1,00	1,00				
	10 3/4	7,00	0,28	0,33	0,42	0,47	0,51	0,56	0,62	0,71	0,80	0,90	0,90	1,00			
	10 3/4	9,00	0,28	0,33	0,42	0,47	0,51	0,56	0,62	0,71	0,80	0,90	0,90	1,00	1,00		
	12 3/4	9,00	0,24	0,27	0,35	0,39	0,43	0,47	0,52	0,60	0,68	0,75	0,75	0,84	0,84	1,00	
	12 3/4	11,00	0,24	0,27	0,35	0,39	0,43	0,47	0,52	0,60	0,68	0,75	0,75	0,84	0,84	1,00	1,00

b) Relación de ancho efectivo (β_{efect})

		MIEMBROS SECUNDARIOS															
CORDONES	D (pulg.)	3	3 1/2	4 1/2	5	5 1/2	6	6 5/8	7 5/8	8 5/8	9 5/8	9 5/8	10 3/4	10 3/4	12 3/4	12 3/4	
	t (mm.)	2,25	2,25	2,50	3,00	3,40	4,00	4,30	4,50	5,50	5,50	7,00	7,00	9,00	9,00	11,00	
	3	2,25	0,79														
	3 1/2	2,25	0,67	0,79													
	4 1/2	2,50	0,52	0,61	0,79												
	5	3,00	0,47	0,55	0,71	0,79											
	5 1/2	3,40	0,43	0,50	0,64	0,71	0,79										
	6	4,00	0,39	0,46	0,59	0,65	0,72	0,79									
	6 5/8	4,30	0,36	0,41	0,53	0,59	0,65	0,71	0,79								
	7 5/8	4,50	0,31	0,36	0,46	0,51	0,57	0,62	0,68	0,79							
	8 5/8	5,50	0,27	0,32	0,41	0,46	0,50	0,55	0,60	0,69	0,79						
	9 5/8	5,50	0,24	0,29	0,37	0,41	0,45	0,49	0,54	0,62	0,70	0,79					
	9 5/8	7,00	0,24	0,29	0,37	0,41	0,45	0,49	0,54	0,62	0,70	0,79	0,79				
	10 3/4	7,00	0,22	0,26	0,33	0,37	0,40	0,44	0,48	0,56	0,63	0,70	0,70	0,79			
	10 3/4	9,00	0,22	0,26	0,33	0,37	0,40	0,44	0,48	0,56	0,63	0,70	0,70	0,79	0,79		
	12 3/4	9,00	0,18	0,22	0,28	0,31	0,34	0,37	0,41	0,47	0,53	0,59	0,59	0,66	0,66	0,79	
	12 3/4	11,00	0,18	0,22	0,28	0,31	0,34	0,37	0,41	0,47	0,53	0,59	0,59	0,66	0,66	0,79	0,79

c) Relación de esbeltez del cordón

Diámetro(Pulg)	3	3 1/2	4 1/2	5	5 1/2	6	6 5/8	7 5/8	8 5/8	9 5/8	9 5/8	10 3/4	10 3/4	12 3/4	12 3/4
γ	16,93	19,76	22,86	21,17	20,54	19,05	19,57	21,52	19,92	22,23	17,46	19,51	15,17	17,99	14,72

3.9.1c Resistencia de Diseño

- Miembros Secundarios con Cargas Axiales

a) Términos para el cálculo del Estado Límite de las Paredes del Cordón y de Colapso

β	Q_{β}	Q_p	
		T y Y	X
1,00	1,80	1,57	1,26
0,96	1,56	1,48	1,21
0,92	1,40	1,41	1,17
0,88	1,28	1,36	1,15
0,84	1,19	1,32	1,13
0,80	1,12	1,30	1,12
0,76	1,08	1,28	1,12
0,72	1,04	1,27	1,12
0,68	1,02	1,28	1,12
0,64	1,00	1,28	1,13
0,60	1,00	1,30	1,15
0,56	1,00	1,32	1,17
0,52	1,00	1,35	1,19
0,48	1,00	1,38	1,21
0,44	1,00	1,41	1,24
0,40	1,00	1,45	1,28
0,36	1,00	1,50	1,32
0,32	1,00	1,56	1,38
0,28	1,00	1,64	1,44
0,24	1,00	1,75	1,54

b) Estado Límite de Ruptura al Corte por Punzonado

Diámetro Externo	Espesor	$P_n S E N \Theta$
3	2,25	10342
3 1/2	2,25	12065
4 1/2	2,50	17236
5	3,00	22981
5 1/2	3,40	28650
6	4,00	36770
6 5/8	4,30	43652
7 5/8	4,50	52577
8 5/8	5,50	72687
9 5/8	5,50	81113
9 5/8	7,00	103235
10 3/4	7,00	115311
10 3/4	9,00	148257
12 3/4	9,00	175835
12 3/4	11,00	214909

- Miembros secundarios a flexión

c) Términos para el cálculo del Estado Límite de las Paredes del Cordón

β	Q_β	Q_q	
		dentro del plano	fuera del plano
1,00	1,80	7,54	3,66
0,96	1,56	6,41	3,55
0,92	1,40	5,65	3,47
0,88	1,28	5,12	3,42
0,84	1,19	4,74	3,39
0,80	1,12	4,47	3,37
0,76	1,08	4,28	3,35
0,72	1,04	4,16	3,35
0,68	1,02	4,10	3,35
0,64	1,00	4,09	3,36
0,60	1,00	4,13	3,38
0,56	1,00	4,21	3,40
0,52	1,00	4,29	3,43
0,48	1,00	4,38	3,46
0,44	1,00	4,50	3,49
0,40	1,00	4,63	3,53
0,36	1,00	4,80	3,57
0,32	1,00	5,01	3,63
0,28	1,00	5,28	3,70
0,24	1,00	5,63	3,79

d) Estado Límite de Ruptura al Corte por Punzonado

Diámetro	Espesor	$M_n S E N \theta$
3	2,25	741
3 1/2	2,25	864
4 1/2	2,50	1372
5	3,00	2195
5 1/2	3,40	3101
6	4,00	4682
6 5/8	4,30	5975
7 5/8	4,50	7531
8 5/8	5,50	12725
9 5/8	5,50	14201
9 5/8	7,00	23003
10 3/4	7,00	25693
10 3/4	9,00	42473
12 3/4	9,00	50373
12 3/4	11,00	75248

3.9.2 Perfiles de Sección Cuadrada y Rectangular

3.9.2a Límites de Aplicabilidad*

a) Rigidez de la pared y excentricidad

HxB	Espesor	emín	emáx	Rigidez de la pared	
				Para miembros secundarios y cordones	Para miembros secundarios en compresión
mm	mm	mm		≤ 35	$\leq 1.25 \sqrt{E/F_y} = 30.62$
60	60	2,25	-33,00	15,00	26,67
70	70	2,25	-38,50	17,50	31,11
90	90	2,50	-49,50	22,50	36,00
100	100	3,00	-55,00	25,00	33,33
110	110	3,40	-60,50	27,50	32,35
120	120	4,00	-66,00	30,00	30,00
135	135	4,30	-74,25	33,75	31,40
155	155	4,50	-85,25	38,75	34,44
175	175	5,50	-96,25	43,75	31,82
200	200	5,50	-110,00	50,00	36,36
200	200	7,00	-110,00	50,00	28,57
220	220	7,00	-121,00	55,00	31,43
220	220	9,00	-121,00	55,00	24,44
260	260	9,00	-143,00	65,00	28,89

a) Relación de Aspecto

HxB	80x40	100x40	120x60	140x60	160x65	180x65	200x70	220x90	260x90	300x100	300x100	320x120	320x120	350x170
mm														
Relación de aspecto	2,00	2,50	2,00	2,33	2,46	2,77	2,86	2,44	2,89	3,00	3,00	2,67	2,67	2,06

* Los perfiles que no cumplen con los límites establecidos se encuentran resaltados con color gris

Como se puede observar, muy pocos perfiles de sección cuadrada, cumplen con la restricción de la relación ancho/espesor de la pared (rigidez de la pared) y muy pocos de sección rectangular con la relación de aspecto que los criterios de diseño exigen, por lo tanto tabular valores referentes a estos perfiles no tendría ninguna utilidad.

Habitualmente, las normas que rigen las estructuras civiles van cambiando a lo largo de los años, y esto hace que los elementos que las constituyen deban también hacerlo, para así cumplir con sus exigencias. Los perfiles tubulares de acero construidos en el país, han mantenido las mismas características a través de los años, es por esta razón que no cumplen con los requisitos normativos para la aplicación de los criterios aquí estudiados; quedando así una gama de productos nacionales muy limitado para el diseño de las estructuras y sus conexiones según normas actuales.

CONCLUSIONES

Luego de realización de este trabajo especial de grado se verificó la versatilidad en el uso de los perfiles tubulares en las construcciones civiles, aparte de sus otras aplicaciones, pero también la complejidad en el diseño de las conexiones soldadas entre ellos para las estructuras convencionales.

Para el diseño de las conexiones, debe tenerse en cuenta que un proceso de cálculo meticuloso y ordenado es primordial para el éxito, ya que de lo contrario, podrían escaparse algunos de los numerosos detalles que se deben tener en cuenta.

Con el fin de facilitar el proceso de cálculo y la realización de un diseño óptimo, que cumpla con las exigencias normativas, se logró presentar de manera organizada y simplificada los criterios que deben ser comprobados en las conexiones estudiadas.

Tras someter a los perfiles tubulares construidos en el país, a las exigencias en cuanto a los límites de aplicabilidad de los criterios de diseño se refiere, se comprobó que éstos no los cumplen en su totalidad, por lo cual en el país no se dispone de una variedad suficiente de perfiles que puedan ser analizados mediante la utilización de este manual, ello sobretodo se observa en los perfiles rectangulares y cuadrados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

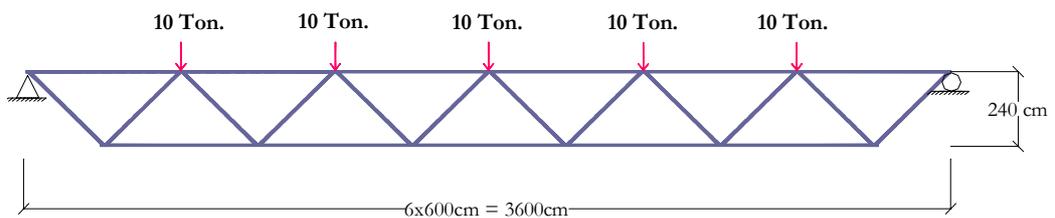
- 1) Velásquez, José M. (2001) **Criterios de diseño LRFD para estructuras de acero con miembros de sección tubular**. Curso dictado en el Colegio de Ingenieros de Venezuela para la Asociación Jóvenes Profesionales. Caracas.
- 2) Wardenier, J. (2002) **Perfiles tubulares en aplicaciones estructurales**. [Libro en línea]. Universidad Tecnológica de Delft. Versión española, Instituto para la Construcción Tubular. Disponible: <http://cidect.org/publicaciones.html> (Visitado: Mayo 2004)
- 3) American Institute of Steel Construction, AISC. **Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Sections**. Inc., (2001, Noviembre) New York.
- 4) Asociación Española de Normalización y Certificación. **Ejecución de Estructuras de Acero. Tomo 1. Eurocódigo 3**. AENOR. Madrid, 1999.
- 5) American Welding Society. **Structural Welding Code-Steel**. ANSI/AWS D1.1-96, 15th Edition. Miami.
- 6) Canadian Institute of Steel Construction. **Limit States Design Steel Manual**. Canada. 1997.
- 7) American Institute for Hollow Structural Sections. **Structural Steel Tubing HSS. Dimensions and Section Properties**. HSS. (s.f)
- 8) Packer, J.A., Wardenier, J., Kurobane Y., Dutta, D. and Yeomans, N.: **Design guide for rectangular hollowsection (RHS) joints under predominantly static loading (3)**. CIDECT (Ed.) and Verlag TÜV Rheinland, Cologne, Germany, 1992. ISBN 3-8249-0089-0.

ANEXOS

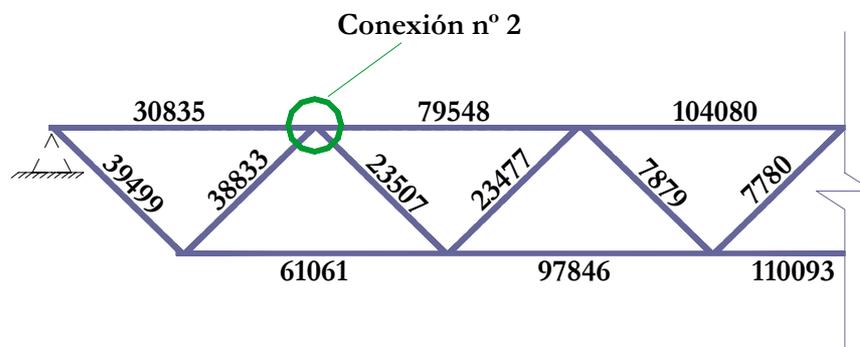
EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Para ilustrar la forma de utilizar el método de cálculo para conexiones simples en cerchas, se proponen unos modelos a continuación.

1. Se desea calcular la conexión n° 2 de la siguiente cercha para el caso de carga mostrado. Serán usados perfiles de sección circular



- Se procede al análisis estructural para determinar cual es el valor de las tensiones que debe resistir cada miembro.



- Se eligen en las tablas del capítulo 2, los perfiles que sean más eficientes en cada caso:

MIEMBRO	Fuerza requerida (Kg)		Perfiles escogidos	Resistencia última	
Cordón Superior	104080		9 5/8" x 7mm	107486	
Diagonales	Compresión 38833	Tracción 39499	6 5/8 x 4,3mm	Compresión 46762	Tracción 59171

- Verificación de junta.

En el apartado 3.9, se observa que los perfiles elegidos cumplen con los límites de aplicabilidad resumidos en la Tabla 3.5.

- Se calculan los términos para la resistencia de diseño como muestran en la Tabla 3.6. Seguidamente se calcula la resistencia de diseño según la Tabla 3.8

Términos para el cálculo de la Resistencia de diseño		
$Q_f = 0,9$	$U^2 = 0,19$	$\lambda = 0,03$ Para cargas axiales en miembros secundarios $\lambda = 0,0044$ Para flexión en el plano del miembro secundario $\lambda = 0,018$ Para flexión fuera del plano del miembro secundario
$Q_p = 1,76$	$\alpha = 1,7$ conexiones T $\alpha = 1,15$ $\alpha = 2,4$ conexiones X	$\beta \leq 0.6 \rightarrow Q_\beta = 1$
$Q_q = \left(\frac{2.1}{\alpha} + \frac{0.6}{\beta} \right) Q_\beta^{1.2-(\alpha-0.67)}$	$\alpha = 0,67$ Para pandeo en el plano $\alpha = 1,5$ Para pandeo fuera del plano	$Q_\beta = 1.02$

		Estado límite de las paredes del cordón	Estado límite de ruptura al corte por punzonado	Estado límite de colapso general
Miembros secundarios con cargas axiales	T, Y y K	$P_n = 56509 \text{ Kg}$	$P_n = 165112 \text{ Kg}$	
	Conexión X			$P_n = \frac{1.8t^2 \cdot F_y \cdot (1.9 + 2.7 \cdot \beta) Q_\beta \cdot Q_f}{\text{sen } \theta}$
Miembros secundarios a flexión	T, Y, X y K con espaciamiento	$M_n = \frac{t^2 \cdot F_y \cdot \left(\frac{d_1}{4} \right) \cdot (6\pi \cdot \beta \cdot Q_q) \cdot Q_f}{\text{sen } \theta}$	$M_n = \frac{d_1^2 \cdot t_0 \cdot (0.6 \cdot F_y)}{\text{sen } \theta}$	
Miembros secundarios con cargas axiales y flexión combinadas	Todas las conexiones	$\left(\frac{P_u}{\phi \cdot P_n} \right)^{1.75} + \frac{M_u}{\phi \cdot M_n} \leq 1$		

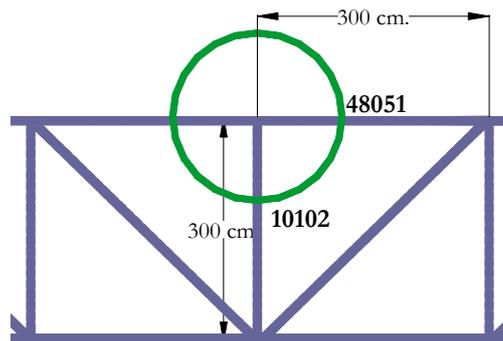
- Factor de resistencia a utilizar:

φ	0,80	● Plast. Paredes cordon ● Estado lim. Colapso
	0,95	Rup. Corte punzonado

- Al multiplicar el menor valor de P_n por el factor de resistencia correspondiente ($\varphi=0.80$) se obtiene la resistencia de diseño.

RESISTENCIA DE DISEÑO	45207 Kg.
------------------------------	------------------

2. Se desea calcular la conexión mostrada, usando perfiles cuadrados



En las tablas del capítulo 2, referentes a la resistencia a compresión de los perfiles nacionales, se observa que los que más eficientes para este caso son: 90 x 90 x 2.5 para el miembro secundario y 135 x 135 x 4.30 para

el cordón. Pero luego, al ver los resultados obtenidos en el apartado 3.9.2 se puede concluir que para utilizar los criterios de diseño de la conexión deben utilizarse perfiles sustancialmente mayores a los obtenidos originalmente en las tablas de resistencia. Lo cual quiere decir, que únicamente por la conexión el costo de la estructura se aumentaría considerablemente.

Es por esta razón que este ejemplo de cálculo se ha realizado en base a HSS extranjeros, los cuales si se encuentran dentro de los límites de aplicabilidad exigidos.

- Escogencia de perfiles

MIEMBRO	Fuerza requerida (Kg)	Perfiles escogidos	Resistencia última
Cordón Superior	48051	5 x 5 x 3/16 "	52124
Miembro secundario	10102	2 1/2 x 2 1/2 x 1/4 "	11975

- Se verifican los límites de aplicabilidad presentados en el apartado 3.7.1 y resumidos en la Tabla 3.5.

Tracción	Compresión
$\theta = 90^\circ$	
$e = 0$	
$d_0/t_0 = 26,7$ $d_1/t_1 = 10$	
	$d_1/t_1 \leq 1,25(E/F_y)^{1/2}$
$d_1/d_0 = 0,5$ $b_0/h_0 = 1$ $F_y \leq 3600 \text{ kg./cm}^2$ $F_y / F_u \leq 0,8$	

▪ Factor de resistencia (ϕ)

ϕ	0,75	Estado lim. Aplast. Pared lat. T y Y
	0,80	<ul style="list-style-type: none"> ● Estado lim. Aplast. Pared lat. X ● Estado lim. Cedencia (bifurcación a compresión)
	0,95	<ul style="list-style-type: none"> ● Est. Lim distrib cargas desiguales ● Ruptura al corte por punzonado
	1,00	<ul style="list-style-type: none"> ● Plast. Paredes cordon ● Estado lim. Cedencia (bifurcación a tracción)

- Se calculan los términos para la resistencia de diseño como muestran en la Tabla 3.6. Seguidamente se calcula la resistencia de diseño según la Tabla 3.9

Términos para el cálculo de la Resistencia de diseño		
$Q_f = 1$	Para cordón en tracción	
$Q_f = -0,65$	Conexiones T,Y y X cordón comprimido	$U = 0,98$
$Q_f = 1.3 - U/\beta_{ef} \leq 1$	Conexiones K cordón comprimido	

MIEMBROS SECUNDARIOS SOMETIDOS A CARGAS AXIAL			
	T,Y		X
	Tracción	Compresión	Compresión
$\beta \geq 0,25$			
Plastificación de las paredes del cordón	verificar solo si $\beta \leq 0,85$ $P_n = 394862 \text{ Kg.}$		
Ruptura al corte por punzonado	verificar solo si $\beta \leq 1 - (1/\gamma)$ ó $\beta \geq 0,85$ $P_n = 17519 \text{ Kg.}$		
Resistencia de paredes laterales del cordón	verificar solo si $\beta = 1$ Cedencia local $P_n = 48664 \text{ Kg.}$ $P_n = \frac{2t_0 \cdot F_y \cdot (5k+N)}{\text{sen } \theta}$		
Distribución de cargas desiguales	Aplastamiento de las paredes del cordón $P_n = 80807 \text{ Kg.}$ $P_n = \left(\frac{48 \cdot t^3}{h_0 - 4t_0} \right) \frac{\sqrt{E \cdot F_y \cdot Q_f}}{\text{sen } \theta}$ $P_n = 27026 \text{ Kg.}$		
Cedencia al corte del cordón en el espaciamiento	$P_n = \frac{t_0^2 \cdot (9.8) \cdot \beta_{\text{perfect}} \cdot \sqrt{\lambda} \cdot F_y \cdot Q_f}{\text{sen } \theta}$ Verificar solo si $b1 < b0 - (2 \cdot t0)$ ó $\beta \neq 1$ $P_n = \frac{(0.6 F_y) \cdot t_0 \cdot b_0 \cdot (2\eta + \beta + 2\beta_{\text{perfect}})}{\text{sen } \theta}$ *Ver sección 3.7.3c		
MIEMBROS SECUNDARIOS SOMETIDOS A FLEXIÓN			
$P_{ua} = \frac{M_u}{c \cdot \text{sen } \theta}$			

Al multiplicar el menor valor de P_n por el factor de resistencia correspondiente ($\phi=0.95$) se obtiene la resistencia de diseño.

RESISTENCIA DE DISEÑO	17519 Kg.
------------------------------	------------------

Diámetro		Espesor	Area de		Propiedades Estáticas			
Externo			sección	Peso	I	r	Z	S
pulg.		pulg.	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³
20,000	x	0,500	197,62	155,13	60645,87	0,62	3116,27	2387,63
		0,375	149,16	117,09	46364,72	0,54	2367,03	1825,38
		0,250	100,07	78,56	31504,22	0,44	1598,08	1240,32
18,000	x	0,500	177,35	139,22	43834,05	0,62	2509,95	1917,50
		0,375	133,96	105,16	33585,05	0,54	1909,22	1469,16
		0,250	89,94	70,60	22869,81	0,44	1290,82	1000,43
16,000	x	0,500	157,08	123,31	30457,38	0,62	1969,17	1498,89
		0,375	118,76	93,23	23400,16	0,54	1500,57	1151,58
		0,250	79,81	62,65	15977,51	0,44	1016,34	786,29
14,000	x	0,500	136,81	107,40	20123,28	0,62	1493,95	1131,79
		0,438	120,40	94,51	17871,98	0,58	1320,60	1005,17
		0,375	103,56	81,29	15515,59	0,54	1141,07	872,64
		0,250	69,67	54,69	10631,03	0,44	774,63	597,92
12,750	x	0,500	124,14	97,45	15035,08	0,62	1230,22	928,52
		0,365	91,62	71,92	11342,49	0,53	917,72	700,48
		0,375	94,06	73,84	11625,04	0,54	941,36	717,93
10,750	x	0,500	103,88	81,54	8807,83	0,62	861,51	645,14
		0,365	76,83	60,31	6687,13	0,53	645,33	489,81
		0,250	53,20	41,77	4734,08	0,44	451,75	346,76
10,000	x	0,625	118,76	93,23	8424,06	0,68	901,50	663,31
		0,500	96,27	75,58	7012,43	0,62	740,15	552,16
		0,375	73,16	57,43	5469,67	0,54	569,58	430,68
		0,312	61,26	48,09	4640,71	0,49	480,04	365,41
		0,250	49,40	38,78	3790,37	0,44	389,53	298,45
		0,188	37,39	29,35	2905,08	0,38	296,64	228,75
		0,125	25,02	19,64	1969,01	0,31	199,76	155,04
9,625	x	0,500	92,47	72,59	6214,35	0,62	682,92	508,38
		0,375	70,31	55,19	4854,94	0,54	526,08	397,17
		0,312	58,89	46,23	4122,41	0,49	443,60	337,25
		0,250	47,50	37,29	3369,62	0,44	360,15	275,66
		0,188	35,96	28,23	2584,56	0,38	274,40	211,44

ERW(Electric Resistance Welding) Soldado por Resistencia Eléctrica.
SAW(Submerged-Arc Welding)Soldado por Arco Sumergido.

Diámetro		Espesor	Area de		Propiedades Estáticas			
Externo			sección	Peso	I	r	Z	S
pulg.		pulg.	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³
8,625	x	0,500	82,34	64,64	4387,00	0,61	#¡REF!	400,50
		0,375	62,71	49,22	3444,46	0,54	#¡REF!	314,45
		0,322	54,19	42,54	3015,01	0,50	363,95	275,25
		0,250	42,44	33,31	2402,27	0,44	287,43	219,31
		0,188	32,15	25,24	1846,93	0,38	219,33	168,61
		0,125	21,54	16,91	1255,72	0,31	148,01	114,64
7,000	x	0,500	65,87	51,71	2246,14	0,61	346,86	252,66
		0,375	50,35	39,53	1783,68	0,53	270,00	200,64
		0,312	42,29	33,20	1526,76	0,49	228,86	171,74
		0,250	34,20	26,85	1257,70	0,44	186,74	141,47
		0,188	25,96	20,38	972,10	0,38	142,99	109,35
		0,125	17,42	13,67	664,44	0,31	96,83	74,74
6,625	x	0,500	62,07	48,73	1879,38	0,61	308,07	223,37
		0,432	54,23	42,57	1678,47	0,57	271,95	199,49
		0,375	47,50	37,29	1497,61	0,53	240,33	178,00
		0,312	39,92	31,34	1284,07	0,49	203,93	152,62
		0,280	36,01	28,27	1169,99	0,46	184,84	139,06
		0,250	32,30	25,36	1059,52	0,44	166,58	125,93
		0,188	24,53	19,25	820,23	0,38	127,69	97,49
		0,125	16,47	12,93	561,54	0,31	86,55	66,74
6,000	x	0,500	55,74	43,75	1360,77	0,60	248,54	178,58
		0,375	42,75	33,56	1091,76	0,53	194,72	143,28
		0,312	35,97	28,24	939,21	0,49	165,58	123,26
		0,250	29,14	22,87	777,45	0,44	135,53	102,03
		0,188	22,15	17,38	603,76	0,38	104,10	79,23
		0,125	14,88	11,68	414,63	0,31	70,71	54,41
5,563	x	0,375	39,43	30,95	856,56	0,53	165,69	121,24
		0,258	27,74	21,78	630,09	0,44	119,08	89,18
		0,134	14,74	11,57	350,75	0,32	64,73	49,65
5,500	x	0,500	50,67	39,78	1022,37	0,60	205,52	146,37
		0,375	38,95	30,58	825,73	0,53	161,69	118,22
		0,312	32,81	25,75	712,66	0,48	137,78	102,03
		0,250	26,60	20,88	591,76	0,44	113,00	84,72
		0,188	20,24	15,89	460,96	0,38	86,97	65,99
		0,125	13,62	10,69	317,52	0,31	59,19	45,46

ERW(Electric Resistance Welding) Soldado por Resistencia Eléctrica.
SAW(Submerged-Arc Welding)Soldado por Arco Sumergido.

Diámetro		Espesor	Area de		Propiedades Estáticas			
Externo			sección	Peso	I	r	Z	S
pulg.			cm ²	kg/m	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³
5,000	x	0,500	45,60	35,80	745,31	0,60	166,60	117,37
		0,375	35,15	27,59	606,87	0,53	131,74	95,57
		0,312	29,65	23,27	525,83	0,48	112,53	82,81
		0,250	24,07	18,89	438,28	0,44	92,52	69,02
		0,188	18,34	14,39	342,66	0,38	71,37	53,96
		0,125	12,35	9,70	236,90	0,31	#¡REF!	37,31
4,500	x	0,237	20,48	16,07	300,35	0,42	#¡REF!	52,55
		0,188	16,43	12,90	246,56	0,38	57,32	43,14
		0,125	11,08	8,70	171,23	0,31	39,22	29,96
4,000	x	0,250	19,00	14,92	215,66	0,43	57,70	42,45
		0,226	17,29	13,57	198,72	0,41	52,81	39,12
		0,188	14,53	11,40	170,35	0,38	44,80	33,53
		0,125	9,82	7,71	118,97	0,31	30,77	23,42
3,500	x	0,300	19,46	15,27	160,80	0,47	50,49	36,18
		0,250	16,47	12,93	140,38	0,43	43,36	31,58
		0,216	14,38	11,29	125,14	0,40	38,23	28,15
		0,188	12,62	9,91	111,73	0,38	33,83	25,14
		0,125	8,55	6,71	78,61	0,31	23,34	17,68
2,875	x	0,276	14,54	11,41	79,26	0,45	30,67	21,71
		0,250	13,30	10,44	73,97	0,43	28,31	20,26
		0,203	10,99	8,63	63,35	0,39	23,80	17,35
		0,188	10,24	8,04	59,66	0,37	22,28	16,34
		0,125	6,97	5,47	42,52	0,31	15,50	11,65
2,375	x	0,250	10,77	8,45	39,24	0,42	18,58	13,01
		0,218	9,53	7,48	35,79	0,40	16,68	11,86
		0,188	8,33	6,54	32,17	0,37	14,77	10,67
		0,154	6,93	5,44	27,60	0,34	12,47	9,15
		0,125	5,70	4,47	23,29	0,31	10,38	7,72
16,000	x	0,188	60,25	47,30	12157,54	0,39	770,29	598,30
		0,125	40,22	31,57	8180,48	0,31	516,23	402,58
14,000	x	0,188	52,63	41,31	8103,17	0,38	587,76	455,75
		0,125	35,15	27,59	5461,81	0,31	394,36	307,19
12,750	x	0,188	47,87	37,58	6096,23	0,38	486,19	376,49
		0,125	31,99	25,11	4114,64	0,31	326,50	254,11

ERW(Electric Resistance Welding) Soldado por Resistencia Eléctrica.
SAW(Submerged-Arc Welding)Soldado por Arco Sumergido.

Perfiles Tubulares fabricados en el exterior. Dimensiones y Propiedades. Sección Cuadrada.

Dimensiones					Propiedades Estáticas						
HxB		Espesor	Radio Externo	Area de sección	Peso	I	r	Z	S		
pulg.		pulg.	pulg.	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³		
16,00	x	16,00	x	1/2	0,40	196,40	154,17	50242,90	15,99	2867,06	2472,58
				3/8	0,30	149,18	117,11	38890,61	16,15	2203,98	1913,91
				5/16	0,25	125,11	98,21	32917,90	16,22	1858,75	1619,98
14,00	x	14,00	x	1/2	0,40	170,59	133,92	33053,16	13,92	2163,36	1859,01
				3/8	0,30	129,83	101,92	25707,56	14,07	1669,89	1445,87
				5/16	0,25	108,98	85,55	21810,19	14,15	1411,04	1226,67
12,00	x	12,00	x	5/8	0,50	177,84	139,61	24301,17	11,69	1877,60	1594,57
				1/2	0,40	144,79	113,66	20312,27	11,84	1557,99	1332,83
				3/8	0,30	110,47	86,72	15901,07	12,00	1209,54	1043,38
				5/16	0,25	92,85	72,89	13532,92	12,07	1024,77	887,99
				1/4	0,20	74,91	58,80	11054,16	12,15	833,13	725,34
10,00	x	10,00	x	5/8	0,50	145,58	114,28	13451,45	9,61	1254,32	1059,17
				1/2	0,40	118,98	93,40	11354,27	9,77	1050,94	894,04
				3/8	0,30	91,12	71,53	8971,68	9,92	822,93	706,43
				5/16	0,25	76,72	60,22	7669,85	10,00	699,96	603,93
				1/4	0,20	62,00	48,67	6292,48	10,07	571,18	495,47
				3/16	0,15	46,97	36,87	4838,19	10,15	436,67	380,96
8,00	x	8,00	x	5/8	0,50	113,33	88,96	6431,33	7,53	753,95	633,00
				1/2	0,40	93,17	73,14	5513,17	7,69	642,21	542,64
				3/8	0,30	71,77	56,34	4419,89	7,85	510,06	435,03
				5/16	0,25	60,59	47,56	3804,76	7,92	436,61	374,48
				1/4	0,20	49,10	38,54	3142,50	8,00	358,38	309,30
				3/16	0,15	37,30	29,28	2431,99	8,08	275,50	239,37
7,00	x	7,00	x	5/8	0,50	97,20	76,30	4097,22	6,49	549,86	460,88
				1/2	0,40	80,27	63,01	3553,35	6,65	474,72	399,70
				3/8	0,30	62,09	48,74	2879,51	6,81	381,28	323,90
				5/16	0,25	52,53	41,23	2491,39	6,89	327,97	280,25
				1/4	0,20	42,65	33,48	2067,83	6,96	270,42	232,60
				3/16	0,15	32,46	25,48	1607,88	7,04	208,74	180,86
6,00	x	6,00	x	5/8	0,50	81,07	63,64	2408,33	5,45	376,49	316,05
				1/2	0,40	67,37	52,88	2123,02	5,61	331,81	278,61
				3/8	0,30	52,41	41,14	1746,23	5,77	270,93	229,16
				5/16	0,25	44,46	34,90	1521,42	5,85	234,70	199,66
				1/4	0,20	36,20	28,41	1271,22	5,93	194,75	166,83
				3/16	0,15	27,62	21,68	994,80	6,00	151,19	130,55
				1/8	0,10	18,73	14,70	691,33	6,08	104,14	90,73

Perfiles Tubulares fabricados en el exterior. Dimensiones y Propiedades. Sección Cuadrada.

Dimensiones					Propiedades Estáticas			
HxB	Espesor	Radio Externo	Area de sección	Peso	I	r	Z	S
pulg.	pulg.	pulg.	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³
5,50 x 5,50	3/8	0,28	47,65	37,41	1316,88	5,26	223,65	188,53
	5/16	0,27	40,37	31,69	1145,74	5,33	193,09	164,03
	1/4	0,20	32,97	25,88	964,17	5,41	161,52	138,04
	3/16	0,15	25,20	19,78	757,64	5,48	125,88	108,47
	1/8	0,10	17,11	13,43	528,60	5,56	87,00	75,68
5,00 x 5,00	1/2	0,40	54,46	42,75	1138,93	4,57	213,48	179,36
	3/8	0,30	42,73	33,55	957,61	4,73	179,02	150,81
	5/16	0,25	36,40	28,57	842,83	4,81	156,79	132,73
	1/4	0,20	29,75	23,35	711,04	4,89	131,37	111,97
	3/16	0,15	22,78	17,88	561,54	4,96	102,87	88,43
4,50 x 4,50	1/8	0,10	15,50	12,17	393,65	5,04	71,40	61,99
	3/8	0,30	37,89	29,75	673,04	4,21	139,98	117,77
	5/16	0,25	32,36	25,41	596,54	4,29	123,60	104,38
	1/4	0,20	26,52	20,82	506,60	4,37	104,29	88,64
	3/16	0,15	20,36	15,98	402,58	4,45	82,16	70,44
4,00 x 4,00	1/8	0,10	13,89	10,90	283,88	4,52	57,33	49,67
	1/2	0,40	41,56	32,63	517,83	3,53	119,73	101,94
	3/8	0,30	33,06	25,95	451,23	3,69	105,55	88,82
	5/16	0,25	28,33	22,24	403,59	3,77	94,24	79,45
	1/4	0,20	23,29	18,29	345,66	3,85	80,28	68,04
3,50 x 3,50	3/16	0,15	17,94	14,08	276,88	3,93	63,76	54,50
	1/8	0,10	12,27	9,64	196,70	4,00	44,80	38,72
	5/16	0,25	24,30	19,08	257,47	3,26	68,73	57,92
	1/4	0,20	20,07	15,75	223,02	3,33	59,34	50,17
3,00 x 3,00	3/16	0,15	15,52	12,18	180,52	3,41	47,66	40,61
	1/8	0,10	10,66	8,37	129,49	3,48	33,80	29,13
	5/16	0,25	20,27	15,91	151,67	2,74	47,06	39,81
	1/4	0,20	16,84	13,22	133,47	2,82	41,48	35,03
2,50 x 2,50	3/16	0,15	13,10	10,29	109,60	2,89	33,87	28,77
	1/8	0,10	9,05	7,10	79,67	2,97	24,34	20,91
	5/16	0,25	16,23	12,74	79,70	2,22	29,23	25,10
	1/4	0,20	13,62	10,69	71,81	2,30	26,68	22,62
2,50 x 2,50	3/16	0,15	10,68	8,39	60,22	2,37	22,38	18,97
	1/8	0,10	7,44	5,84	44,62	2,45	16,42	14,05

Perfiles Tubulares fabricados en el exterior. Dimensiones y Propiedades. Sección Cuadrada.

Dimensiones					Propiedades Estáticas				
HxB	Espesor	Radio Externo	Area de sección	Peso	I	r	Z	S	
pulg.	pulg.	pulg.	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	
2,00 x 2,00	x x	5/16	0,25	12,20	9,58	35,05	1,69	15,24	13,80
		1/4	0,20	10,39	8,16	32,83	1,78	14,97	12,93
		3/16	0,15	8,26	6,49	28,49	1,86	13,19	11,22
		1/8	0,10	5,82	4,57	21,74	1,93	10,03	8,56
1,50 x 1,50	x x	3/16	0,15	5,84	4,59	10,49	1,34	6,31	5,51
30,00 x 30,00	x x	5/8	0,50	468,16	367,51	431636,76	30,36	13017,68	11329,05
28,00 x 28,00	x x	5/8	0,50	435,91	342,19	348859,86	28,29	11288,29	9810,46
26,00 x 26,00	x x	5/8	0,50	403,65	316,86	277404,73	26,22	9681,79	8401,11
24,00 x 24,00	x x	5/8	0,50	371,39	291,54	216438,89	24,14	8198,20	7101,01
		1/2	0,40	299,63	235,21	176809,76	24,29	6665,05	5800,85
		3/8	0,30	226,60	177,88	135378,00	24,44	5077,78	4441,54
22,00 x 22,00	x x	5/8	0,50	339,13	266,22	165129,89	22,07	6837,50	5910,16
		1/2	0,40	273,82	214,95	135164,92	22,22	5568,07	4837,68
		3/8	0,30	207,25	162,69	103693,92	22,37	4248,72	3711,31
20,00 x 20,00	x x	5/8	0,50	306,87	240,90	122645,25	19,99	5599,72	4828,55
		1/2	0,40	248,01	194,69	100632,80	20,14	4569,41	3961,92
		3/8	0,30	187,89	147,50	77384,31	20,29	3493,40	3046,63
18,00 x 18,00	x x	5/8	0,50	274,62	215,57	88152,53	17,92	4484,83	3856,19
		1/2	0,40	222,21	174,43	72547,45	18,07	3669,07	3173,55
		3/8	0,30	168,54	132,30	55949,70	18,22	2811,82	2447,49
16,00 x 16,00	x x	5/8	0,50	242,36	190,25	60819,25	15,84	3492,85	2993,07
		1/2	0,40	196,40	154,17	50242,90	15,99	2867,06	2472,58
		3/8	0,30	149,18	117,11	38890,61	16,15	2203,98	1913,91
		5/16	0,25	125,11	98,21	32917,90	16,22	1858,75	1619,98
14,00 x 14,00	x x	5/8	0,50	210,10	164,93	39812,95	13,77	2623,77	2239,20
		1/2	0,40	170,59	133,92	33053,16	13,92	2163,36	1859,01
		3/8	0,30	129,83	101,92	25707,56	14,07	1669,89	1445,87
12,00 x 12,00	x x	1/2	0,40	144,79	113,66	20312,27	11,84	1557,99	1332,83
		3/8	0,30	110,47	86,72	15901,07	12,00	1209,54	1043,38

Perfiles Tubulares fabricados en el exterior. Dimensiones y Propiedades. Sección Rectangular.

ERW	Dimensiones			Area de sección		Propiedades Estáticas						
	HxB	Espesor	Radio Externo			Ix	rx	Zx	Sx	Iy	ry	Zy
	pulg.	pulg.	pulg.	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm	cm ³
20,00 x 12,00	1/2	0,50	195,85	153,74	68587,55	18,71	3291,69	2700,30	31222,75	12,63	2317,89	
	3/8	0,38	148,87	116,87	53125,48	18,89	2526,83	2091,55	24275,00	12,77	1782,42	
	5/16	0,31	124,89	98,04	44978,14	18,98	2130,03	1770,79	20592,99	12,84	1503,84	
20,00 x 8,00	1/2	0,50	170,04	133,48	52756,88	17,61	2652,60	2077,04	12505,04	8,58	1388,54	
	3/8	0,38	129,52	101,67	41100,95	17,81	2044,44	1618,15	9840,96	8,72	1075,31	
	5/16	0,31	108,76	85,38	34894,15	17,91	1726,76	1373,79	8398,22	8,79	910,37	
20,00 x 4,00	1/2	0,50	144,23	113,22	36926,22	16,00	2013,50	1453,79	2563,56	4,22	590,29	
	3/8	0,38	110,16	86,48	29076,41	16,25	1562,04	1144,74	2091,72	4,36	466,52	
	5/16	0,31	92,63	72,72	24810,16	16,37	1323,48	976,78	1816,86	4,43	398,83	
18,00 x 6,00	1/2	0,50	144,23	113,22	33982,63	15,35	1950,31	1486,55	5889,24	6,39	882,90	
	3/8	0,38	110,16	86,48	26682,53	15,56	1511,13	1167,21	4698,57	6,53	689,49	
	5/16	0,31	92,63	72,72	22737,53	15,67	1279,59	994,64	4036,71	6,60	586,11	
	1/4	0,25	74,77	58,69	18593,76	15,77	1040,01	813,38	3328,45	6,67	478,19	
16,00 x 12,00	1/2	0,50	170,04	133,48	39989,93	15,34	2362,34	1968,01	25714,62	12,30	1940,99	
	3/8	0,38	129,52	101,67	31132,18	15,50	1819,72	1532,10	20054,81	12,44	1496,67	
	5/16	0,31	108,76	85,38	26422,57	15,59	1536,56	1300,32	17038,63	12,52	1264,43	
16,00 x 8,00	1/2	0,50	144,23	113,22	29986,50	14,42	1854,34	1475,71	10160,27	8,39	1142,74	
	3/8	0,38	110,16	86,48	23509,29	14,61	1435,64	1156,95	8024,50	8,53	887,88	
	5/16	0,31	92,63	72,72	20019,62	14,70	1215,22	985,22	6859,98	8,61	752,90	
16,00 x 4,00	1/2	0,50	118,43	92,97	19983,07	12,99	1346,34	983,42	2050,21	4,16	475,58	
	3/8	0,38	90,81	71,28	15886,40	13,23	1051,57	781,81	1680,04	4,30	377,41	
	5/16	0,31	76,50	60,05	13616,68	13,34	893,88	670,11	1462,28	4,37	323,30	
14,00 x 10,00	1/2	0,50	144,23	113,22	25270,80	13,24	1725,60	1421,31	15043,69	10,21	1369,80	
	3/8	0,38	110,16	86,48	19806,42	13,41	1335,57	1113,97	11819,76	10,36	1061,69	
	5/16	0,31	92,63	72,72	16864,55	13,49	1130,37	948,51	10078,53	10,43	899,20	
14,00 x 6,00	5/8	0,63	144,72	113,60	20871,95	12,01	1540,90	1173,90	5402,63	6,11	838,69	
	1/2	0,50	118,43	92,97	17681,52	12,22	1283,15	994,46	4626,67	6,25	702,64	
	3/8	0,38	90,81	71,28	14009,75	12,42	1000,66	787,95	3709,37	6,39	551,23	
	5/16	0,31	76,50	60,05	11989,95	12,52	849,99	674,35	3194,36	6,46	469,60	
	1/4	0,25	61,86	48,56	9845,79	12,62	692,96	553,76	2639,94	6,53	383,96	
14,00 x 4,00	5/8	0,63	128,59	100,94	16214,82	11,23	1266,93	911,97	2041,06	3,98	491,59	
	1/2	0,50	105,52	82,84	13886,87	11,47	1061,93	781,04	1793,53	4,12	418,23	
	3/8	0,38	81,13	63,69	11111,41	11,70	833,21	624,94	1474,20	4,26	332,86	
	5/16	0,31	68,44	53,72	9552,66	11,81	709,81	537,27	1284,99	4,33	285,53	
	1/4	0,25	55,41	43,50	7878,23	11,92	580,30	443,09	1074,66	4,40	235,02	
	3/16	0,19	42,06	33,01	6086,92	12,03	444,62	342,35	842,12	4,47	181,27	
12,00 x 10,00	1/2	0,50	131,33	103,09	17414,46	11,52	1375,64	1142,68	13163,71	10,01	1214,12	
	3/8	0,38	100,49	78,88	13713,57	11,68	1068,05	899,84	10373,03	10,16	943,40	
	5/16	0,31	84,57	66,38	11703,24	11,76	905,32	767,93	8857,41	10,23	799,99	
	1/4	0,25	68,32	53,63	9584,54	11,84	736,57	628,91	7259,08	10,31	651,12	

ERW(Electric Resistance Welding) Soldado por Resistencia Eléctrica.
SAW(Submerged-Arc Welding)Soldado por Arco Sumergido.

Perfiles Tubulares fabricados en el exterior. Dimensiones y Propiedades. Sección Rectangular.

Dimensiones			Radio Externo	Area de sección		Propiedades Estáticas						
HxB	Espesor				Peso	Ix	rx	Zx	Sx	Iy	ry	Zy
pulg.	pulg.	pulg.	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm	cm ³	
12,00 x 8,00	5/8	0,63	144,72	113,60	17328,83	10,94	1426,80	1137,06	9213,21	7,98	1075,69	
	1/2	0,50	118,43	92,97	14660,40	11,13	1187,19	961,97	7815,50	8,12	896,93	
	3/8	0,38	90,81	71,28	11603,47	11,30	925,18	761,38	6208,04	8,27	700,46	
	5/16	0,31	76,50	60,05	9926,06	11,39	785,62	651,32	5321,73	8,34	595,43	
	1/4	0,25	61,86	48,56	8147,67	11,48	640,29	534,62	4378,25	8,41	485,79	
	3/16	0,19	46,90	36,81	6267,06	11,56	489,12	411,22	3375,98	8,48	371,49	
12,00 x 6,00	5/8	0,63	128,59	100,94	13959,42	10,42	1193,79	915,97	4647,67	6,01	728,59	
	1/2	0,50	105,52	82,84	11906,33	10,62	998,73	781,26	3995,38	6,15	612,51	
	3/8	0,38	81,13	63,69	9493,37	10,82	782,30	622,92	3214,77	6,29	482,09	
	5/16	0,31	68,44	53,72	8148,88	10,91	665,92	534,70	2773,18	6,37	411,35	
	1/4	0,25	55,41	43,50	6710,81	11,00	544,02	440,34	2295,68	6,44	336,85	
	3/16	0,19	42,06	33,01	5177,99	11,10	416,53	339,76	1780,95	6,51	258,52	
12,00 x 4,00	5/8	0,63	112,46	88,28	10590,00	9,70	960,79	694,88	1741,35	3,93	422,45	
	1/2	0,50	92,62	72,71	9152,27	9,94	810,28	600,54	1536,86	4,07	360,87	
	3/8	0,38	71,45	56,09	7383,27	10,17	639,43	484,47	1268,36	4,21	288,31	
	5/16	0,31	60,37	47,39	6371,70	10,27	546,22	418,09	1107,70	4,28	247,76	
	1/4	0,25	48,96	38,43	5273,94	10,38	447,74	346,06	928,11	4,35	204,29	
	3/16	0,19	37,22	29,22	4088,92	10,48	343,94	268,30	728,59	4,42	157,84	
12,00 x 3,00	5/16	0,31	56,34	44,23	5483,11	9,87	486,37	359,78	573,59	3,19	173,65	
	1/4	0,25	45,74	35,90	4555,51	9,98	399,61	298,92	486,44	3,26	144,16	
	3/16	0,19	34,80	27,32	3544,38	10,09	307,65	232,57	386,40	3,33	112,11	
12,00 x 2,00	1/4	0,25	42,51	33,37	3837,07	9,50	351,47	251,78	192,31	2,13	88,12	
	3/16	0,19	32,38	25,42	2999,85	9,63	271,35	196,84	156,46	2,20	69,45	
10,00 x 8,00	1/2	0,50	105,52	82,84	9372,72	9,42	902,77	738,01	6643,12	7,93	774,03	
	3/8	0,38	81,13	63,69	7470,58	9,60	706,81	588,23	5299,81	8,08	606,74	
	5/16	0,31	68,44	53,72	6412,00	9,68	601,55	504,88	4552,61	8,16	516,69	
	1/4	0,25	55,41	43,50	5280,24	9,76	491,35	415,77	3753,04	8,23	422,29	
	3/16	0,19	42,06	33,01	4074,22	9,84	376,15	320,80	2899,55	8,30	323,48	
10,00 x 6,00	1/2	0,50	92,62	72,71	7492,74	8,99	747,09	589,98	3364,10	6,03	522,39	
	3/8	0,38	71,45	56,09	6023,85	9,18	588,52	474,32	2720,17	6,17	412,96	
	5/16	0,31	60,37	47,39	5190,88	9,27	502,33	408,73	2352,01	6,24	353,10	
	1/4	0,25	48,96	38,43	4290,83	9,36	411,46	337,86	1951,42	6,31	289,74	
	3/16	0,19	37,22	29,22	3322,69	9,45	315,85	261,63	1517,19	6,38	222,80	
10,00 x 5,00	3/8	0,38	66,62	52,29	5300,49	8,92	529,37	417,36	1783,90	5,17	325,29	
	5/16	0,31	56,34	44,23	4580,32	9,02	452,72	360,65	1550,33	5,25	278,99	
	1/4	0,25	45,74	35,90	3796,12	9,11	371,52	298,91	1292,73	5,32	229,60	
	3/16	0,19	34,80	27,32	2946,92	9,20	285,70	232,04	1010,00	5,39	177,07	

ERW(Electric Resistance Welding) Soldado por Resistencia Eléctrica.
SAW(Submerged-Arc Welding)Soldado por Arco Sumergido.

Perfiles Tubulares fabricados en el exterior. Dimensiones y Propiedades. Sección Rectangular.

ERW	Dimensiones			Area de sección		Propiedades Estáticas						
	HxB	Espesor	Radio Externo			Peso	Ix	rx	Zx	Sx	Iy	ry
	pulg.	pulg.	pulg.	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm	cm ³
	10,00 x 4,00	1/2	0,50	79,72	62,58	5612,76	8,39	591,41	441,95	1280,18	4,01	303,52
		3/8	0,38	61,78	48,49	4577,12	8,61	470,22	360,40	1062,52	4,15	243,76
		5/16	0,31	52,31	41,06	3969,76	8,71	403,11	312,58	930,41	4,22	210,00
		1/4	0,25	42,51	33,37	3301,41	8,81	331,57	259,95	781,57	4,29	173,57
		3/16	0,19	32,38	25,42	2571,15	8,91	255,55	202,45	615,06	4,36	134,41
	10,00 x 3,00	1/4	0,25	39,28	30,84	2806,70	8,45	291,63	221,00	407,53	3,22	121,63
		3/16	0,19	29,96	23,52	2195,39	8,56	225,40	172,87	324,57	3,29	94,83
	10,00 x 2,00	5/16	0,31	44,24	34,73	2748,63	7,88	303,89	216,43	183,76	2,04	87,37
		1/4	0,25	36,06	28,31	2311,99	8,01	251,69	182,05	160,22	2,11	73,79
		3/16	0,19	27,54	21,62	1819,62	8,13	195,26	143,28	130,73	2,18	58,31
	8,00 x 6,00	1/2	0,50	79,72	62,58	4274,25	7,32	528,22	420,69	2732,82	5,86	432,26
		3/8	0,38	61,78	48,49	3476,31	7,50	419,32	342,16	2225,57	6,00	343,83
5/16		0,31	52,31	41,06	3011,88	7,59	359,22	296,45	1930,83	6,08	294,85	
1/4		0,25	42,51	33,37	2502,61	7,67	295,29	246,32	1607,16	6,15	242,62	
3/16		0,19	32,38	25,42	1947,62	7,76	227,46	191,69	1253,43	6,22	187,08	
8,00 x 4,00	5/8	0,63	80,20	62,96	3485,60	6,59	471,42	343,07	1141,94	3,77	284,19	
	1/2	0,50	66,81	52,45	3101,86	6,81	405,32	305,30	1023,51	3,91	246,16	
	3/8	0,38	52,10	40,90	2568,08	7,02	325,60	252,76	856,68	4,06	199,20	
	5/16	0,31	44,24	34,73	2242,76	7,12	280,49	220,74	753,12	4,13	172,23	
	1/4	0,25	36,06	28,31	1877,39	7,22	231,79	184,78	635,02	4,20	142,84	
	3/16	0,19	27,54	21,62	1471,19	7,31	179,46	144,80	501,53	4,27	110,99	
	1/8	0,13	18,69	14,67	1023,37	7,40	123,42	100,73	351,79	4,34	76,60	
8,00 x 3,00	1/2	0,50	60,36	47,38	2515,67	6,46	343,87	247,61	502,55	2,89	165,40	
	3/8	0,38	47,26	37,10	2113,96	6,69	278,75	208,07	432,13	3,02	136,11	
	5/16	0,31	40,21	31,57	1858,20	6,80	241,12	182,89	384,85	3,09	118,60	
	1/4	0,25	32,83	25,77	1564,79	6,90	200,04	154,01	328,62	3,16	99,10	
	3/16	0,19	25,12	19,72	1232,97	7,01	155,45	121,36	262,75	3,23	77,54	
	1/8	0,13	17,08	13,41	862,03	7,10	107,29	84,85	186,51	3,30	53,88	
8,00 x 2,00	5/16	0,31	36,18	28,40	1473,64	6,38	201,75	145,04	146,30	2,01	70,09	
	1/4	0,25	29,61	23,24	1252,18	6,50	168,29	123,25	128,14	2,08	59,45	
	3/16	0,19	22,70	17,82	994,76	6,62	131,45	97,91	105,00	2,15	47,18	
	1/8	0,13	15,47	12,14	700,69	6,73	91,16	68,97	76,33	2,22	33,22	
7,00 x 5,00	1/2	0,50	66,81	52,45	2620,62	6,26	377,82	294,78	1548,41	4,81	298,24	
	3/8	0,38	52,10	40,90	2166,36	6,45	303,22	243,68	1281,99	4,96	240,02	
	5/16	0,31	44,24	34,73	1890,92	6,54	261,10	212,70	1120,99	5,03	206,98	
	1/4	0,25	36,06	28,31	1582,23	6,62	215,70	177,98	940,23	5,11	171,22	
	3/16	0,19	27,54	21,62	1239,51	6,71	166,95	139,43	738,74	5,18	132,71	
	1/8	0,13	18,69	14,67	862,04	6,79	114,79	96,97	515,53	5,25	91,38	
7,00 x 4,00	3/8	0,38	47,26	37,10	1823,45	6,21	262,51	205,11	753,76	3,99	176,93	
	5/16	0,31	40,21	31,57	1599,85	6,31	226,86	179,96	664,47	4,06	153,35	
	1/4	0,25	32,83	25,77	1345,07	6,40	188,05	151,30	561,74	4,14	127,48	
	3/16	0,19	25,12	19,72	1058,37	6,49	146,01	119,05	444,77	4,21	99,27	
	1/8	0,13	17,08	13,41	739,07	6,58	100,70	83,13	312,72	4,28	68,66	

ERW(Electric Resistance Welding) Soldado por Resistencia Eléctrica.
SAW(Submerged-Arc Welding)Soldado por Arco Sumergido.

Perfiles Tubulares fabricados en el exterior. Dimensiones y Propiedades. Sección Rectangular.

ERW	Dimensiones			Area de sección		Propiedades Estáticas						
	HxB	Espesor	Radio Externo			Ix	rx	Zx	Sx	Iy	ry	Zy
	pulg.	pulg.	pulg.	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm	cm ³
	7,00 x 3,00	3/8	0,38	42,42	33,30	1480,55	5,91	221,80	166,54	377,99	2,99	119,98
		5/16	0,31	36,18	28,40	1308,78	6,01	192,61	147,22	337,66	3,05	104,84
		1/4	0,25	29,61	23,24	1107,90	6,12	160,39	124,62	289,17	3,13	87,83
		3/16	0,19	22,70	17,82	877,22	6,22	125,08	98,68	231,84	3,20	68,90
		1/8	0,13	15,47	12,14	616,09	6,31	86,62	69,30	165,00	3,27	48,00
	6,00 x 4,00	1/2	0,50	53,91	42,32	1453,08	5,19	252,00	190,69	766,83	3,77	188,81
		3/8	0,38	42,42	33,30	1231,28	5,39	205,56	161,59	650,84	3,92	154,65
		5/16	0,31	36,18	28,40	1086,66	5,48	178,35	142,61	575,83	3,99	134,46
		1/4	0,25	29,61	23,24	918,65	5,57	148,40	120,56	488,47	4,06	112,12
		3/16	0,19	22,70	17,82	726,59	5,66	115,65	95,35	388,00	4,13	87,56
		1/8	0,13	15,47	12,14	509,85	5,74	80,04	66,91	273,64	4,21	60,72
	6,00 x 3,00	1/2	0,50	47,46	37,26	1137,44	4,90	206,93	149,27	370,74	2,79	124,44
		3/8	0,38	37,58	29,50	983,98	5,12	170,99	129,13	323,84	2,94	103,85
		5/16	0,31	32,15	25,24	876,07	5,22	149,22	114,97	290,48	3,01	91,07
		1/4	0,25	26,38	20,71	746,52	5,32	124,84	97,97	249,71	3,08	76,56
		3/16	0,19	20,28	15,92	594,71	5,41	97,79	78,05	200,92	3,15	60,26
		1/8	0,13	13,85	10,87	420,05	5,51	68,00	55,12	143,48	3,22	42,11
	6,00 x 2,00	5/16	0,31	28,12	22,07	665,48	4,87	120,10	87,33	108,83	1,97	52,81
		1/4	0,25	23,16	18,18	574,39	4,98	101,29	75,38	96,05	2,04	45,11
		3/16	0,19	17,86	14,02	462,82	5,09	79,93	60,74	79,27	2,11	36,04
1/8		0,13	12,24	9,61	330,25	5,19	55,97	43,34	58,01	2,18	25,54	
5,00 x 4,00	3/8	0,38	37,58	29,50	775,95	4,54	154,76	122,20	547,92	3,82	132,38	
	5/16	0,31	32,15	25,24	690,18	4,63	134,96	108,69	487,18	3,89	115,58	
	1/4	0,25	26,38	20,71	587,73	4,72	112,85	92,56	415,19	3,97	96,75	
	3/16	0,19	20,28	15,92	468,04	4,80	88,35	73,71	331,24	4,04	75,84	
5,00 x 3,00	1/2	0,50	41,01	32,19	688,37	4,10	150,76	108,40	304,84	2,73	103,95	
	3/8	0,38	32,74	25,70	608,65	4,31	126,34	95,85	269,70	2,87	87,72	
	5/16	0,31	28,12	22,07	547,07	4,41	110,96	86,15	243,29	2,94	77,31	
	1/4	0,25	23,16	18,18	470,24	4,51	93,39	74,05	210,26	3,01	65,30	
	3/16	0,19	17,86	14,02	377,62	4,60	73,56	59,47	170,01	3,09	51,62	
	1/8	0,13	12,24	9,61	268,69	4,69	51,43	42,31	121,96	3,16	36,22	
5,00 x 2,00	5/16	0,31	24,08	18,91	403,95	4,10	86,95	63,61	90,10	1,93	44,17	
	1/4	0,25	19,93	15,64	352,74	4,21	73,93	55,55	80,01	2,00	37,94	
	3/16	0,19	15,44	12,12	287,20	4,31	58,78	45,23	66,41	2,07	30,47	
	1/8	0,13	10,63	8,34	206,85	4,41	41,45	32,58	48,85	2,14	21,70	

Perfiles Tubulares fabricados en el exterior. Dimensiones y Propiedades. Sección Rectangular.

	Dimensiones			Area de sección		Propiedades Estáticas						
	HxB	Espesor	Radio Externo			Peso	Ix	rx	Zx	Sx	Iy	ry
	pulg.	pulg.	pulg.	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm	cm ³
SAW	4,00 x 3,00	5/16	0,31	24,08	18,91	308,75	3,58	77,81	60,78	196,11	2,85	63,55
		1/4	0,25	19,93	15,64	268,65	3,67	66,03	52,88	170,80	2,93	54,03
		3/16	0,19	15,44	12,12	218,15	3,76	52,41	42,94	139,10	3,00	42,98
		1/8	0,13	10,63	8,34	156,82	3,84	36,91	30,87	100,45	3,07	30,33
	4,00 x 2,00	5/16	0,31	20,05	15,74	220,11	3,31	58,93	43,33	71,37	1,89	35,52
		1/4	0,25	16,70	13,11	195,37	3,42	50,66	38,46	63,97	1,96	30,77
		3/16	0,19	13,02	10,22	161,39	3,52	40,70	31,77	53,54	2,03	24,90
		1/8	0,13	9,01	7,08	117,74	3,61	28,97	23,18	39,69	2,10	17,86
	3,00 x 2,00	5/16	0,31	16,02	12,57	100,94	2,51	36,02	26,49	52,64	1,81	26,88
		1/4	0,25	13,48	10,58	91,89	2,61	31,50	24,12	47,93	1,89	23,60
		3/16	0,19	10,61	8,33	77,59	2,70	25,70	20,37	40,68	1,96	19,33
		1/8	0,13	7,40	5,81	57,71	2,79	18,55	15,15	30,53	2,03	14,01
SAW	30,00 x 24,00	1/2	0,50	337,78	265,16	295896,47	29,60	9089,12	7766,31	210827,23	24,98	7818,00
		3/8	0,38	255,32	200,43	226107,63	29,76	6909,37	5934,58	161238,31	25,13	5945,49
		5/16	0,31	213,60	167,68	190174,75	29,84	5796,52	4991,46	135676,28	25,20	4988,89
	28,00 x 24,00	1/2	0,50	324,88	255,03	251882,14	27,84	8247,54	7083,30	199332,31	24,77	7432,90
		3/8	0,38	245,65	192,83	192636,39	28,00	6273,14	5417,22	152525,75	24,92	5655,13
		5/16	0,31	205,53	161,34	162089,84	28,08	5264,22	4558,21	128377,53	24,99	4746,28
	26,00 x 24,00	1/2	0,50	311,97	244,90	212059,78	26,07	7438,74	6422,16	187837,38	24,54	7047,81
		3/8	0,38	235,97	185,24	162334,79	26,23	5661,49	4916,26	143813,18	24,69	5364,77
		5/16	0,31	197,47	155,01	136656,97	26,31	4752,40	4138,61	121078,77	24,76	4503,68
	24,00 x 22,00	1/2	0,50	286,17	224,64	164767,96	24,00	6277,62	5405,77	144397,61	22,46	5919,46
		3/8	0,38	216,61	170,04	126365,39	24,15	4784,06	4145,85	110761,71	22,61	4511,92
		5/16	0,31	181,34	142,35	106473,36	24,23	4018,46	3493,22	93338,41	22,69	3790,22
	22,00 x 20,00	1/2	0,50	260,36	204,38	125081,21	21,92	5214,81	4476,78	108229,93	20,39	4889,43
		3/8	0,38	197,26	154,85	96141,04	22,08	3980,37	3440,98	83205,57	20,54	3732,81
		5/16	0,31	165,21	129,69	81094,48	22,16	3345,98	2902,45	70194,68	20,61	3138,22
	20,00 x 18,00	1/2	0,50	234,56	184,13	92333,56	19,84	4250,33	3635,18	78668,35	18,31	3957,72
		3/8	0,38	177,91	139,66	71162,29	20,00	3250,42	2801,66	60645,28	18,46	3027,45
		5/16	0,31	149,08	117,03	60104,13	20,08	2734,95	2366,30	51231,35	18,54	2547,67
	18,00 x 12,00	1/2	0,50	182,94	143,61	53108,47	17,04	2810,63	2323,21	28468,68	12,47	2129,44
		3/8	0,38	139,20	109,27	41230,80	17,21	2160,98	1803,62	22164,91	12,62	1639,55
		5/16	0,31	116,82	91,71	34946,65	17,30	1823,06	1528,72	18815,81	12,69	1384,13
	16,00 x 12,00	1/2	0,50	170,04	133,48	39989,93	15,34	2362,34	1968,01	25714,62	12,30	1940,99
		3/8	0,38	129,52	101,67	31132,18	15,50	1819,72	1532,10	20054,81	12,44	1496,67
		5/16	0,31	108,76	85,38	26422,57	15,59	1536,56	1300,32	17038,63	12,52	1264,43
	14,00 x 12,00	1/2	0,50	157,14	123,35	29065,45	13,60	1946,83	1634,73	22960,56	12,09	1752,54
		3/8	0,38	119,84	94,08	22704,76	13,76	1503,03	1276,98	17944,71	12,24	1353,80

ERW(Electric Resistance Welding) Soldado por Resistencia Eléctrica.
SAW(Submerged-Arc Welding)Soldado por Arco Sumergido.

Perfiles Tubulares fabricados en el exterior. Dimensiones y Propiedades. Sección Rectangular.

Sy
cm ³
2048,74
1592,85
1351,25
1230,81
968,60
826,60
504,64
411,76
357,65
772,87
616,61
529,75
436,81
1687,31
1315,93
1118,02
1000,03
789,81
675,19
403,58
330,72
287,85
1184,54
930,69
793,59
709,01
607,17
486,79
419,21
346,45
401,78
353,06
290,20
252,95
211,55
165,77
1036,51
816,77
697,43
571,58

Perfiles Tubulares fabricados en el exterior. Dimensiones y Propiedades. Sección Rectangular.

Sy
cm ³
906,81
769,24
611,03
523,79
430,93
332,28
609,93
524,33
421,89
363,93
301,27
233,72
342,79
302,53
249,68
218,05
182,70
143,42
150,55
127,68
101,42
75,71
61,60
653,85
521,63
448,09
369,39
285,39
441,48
356,98
308,66
256,09
199,11
280,93
244,15
203,58
159,05

Perfiles Tubulares fabricados en el exterior. Dimensiones y Propiedades. Sección Rectangular.

Sy
cm ³
252,00
209,16
183,15
153,85
121,07
106,96
85,19
72,35
63,08
51,47
358,64
292,07
253,39
210,91
164,49
224,79
201,48
168,64
148,25
125,00
98,73
69,25
131,90
113,42
101,01
86,25
68,96
48,95
57,60
50,45
41,34
30,05
243,84
201,89
176,53
148,07
116,34
81,19
148,38
130,80
110,58
87,55
61,56

Perfiles Tubulares fabricados en el exterior. Dimensiones y Propiedades. Sección Rectangular.

Sy
cm ³
99,21
88,63
75,90
60,85
43,31
150,95
128,12
113,35
96,16
76,38
53,87
97,31
85,00
76,24
65,54
52,74
37,66
42,85
37,82
31,21
22,84
107,86
95,90
81,73
65,20
80,01
70,79
63,86
55,19
44,62
32,01
35,47
31,50
26,14
19,23

Perfiles Tubulares fabricados en el exterior. Dimensiones y Propiedades. Sección Rectangular.

Sy
cm ³
51,47
44,83
36,51
26,36
28,10
25,18
21,08
15,63
20,72
18,87
16,01
12,02
6916,90
5289,97
4451,32
6539,77
5004,13
4211,86
6162,64
4718,28
3972,40
5168,13
3964,27
3340,67
4261,02
3275,81
2763,57
3441,31
2652,90
2241,09
1868,02
1454,39
1234,63
1687,31
1315,93
1118,02
1506,60
1177,47

Relación Ancho/Espesor.Tubos Estructurales fabricados en el exterior. Sección Circular.

ERW	Diámetro			Relación		
	Externo	Espesor	Ancho/Espesor	(1)	(2)	
	pulg.	pulg.	(λ)			
	20,000	0,500	40,00	*	*	
		0,375	53,33	**	*	
		0,250	80,00	**	*	
	18,000	0,500	36,00	*	*	
		0,375	48,00	**	*	
		0,250	72,00	**	*	
	16,000	0,500	32,00	*	*	
		0,375	42,67	*	*	
		0,250	64,00	**	*	
		0,500	28,00	*	*	
		0,438	31,96	*	*	
	14,000	0,375	37,33	*	*	
		0,250	56,00	**	*	
		0,500	25,50	*	*	
		0,365	34,93	*	*	
		0,375	34,00	*	*	
		0,500	21,50	*	*	
	10,750	0,365	29,45	*	*	
		0,250	43,00	*	*	
		0,625	16,00	*	*	
		0,500	20,00	*	*	
		0,375	26,67	*	*	
		0,312	32,05	*	*	
	10,000	0,250	40,00	*	*	
0,188		53,19	**	*		
0,125		80,00	**	*		
0,500		19,25	*	*		
	6,000	0,500	12,00	*	*	
		0,375	16,00	*	*	
		0,312	19,23	*	*	
			0,250	24,00	*	*
			0,188	31,91	*	*
			0,125	48,00	**	*
	5,563	0,375	14,83	*	*	
		0,258	21,56	*	*	
		0,134	41,51	*	*	
	5,500	0,500	11,00	*	*	
		0,375	14,67	*	*	
		0,312	17,63	*	*	
0,250		22,00	*	*		
		0,188	29,26	*	*	
		0,125	44,00	*	*	
		5,000	0,500	10,00	*	*
		0,375	13,33	*	*	
		0,312	16,03	*	*	
		0,250	20,00	*	*	
		0,188	26,60	*	*	
		0,125	40,00	*	*	
4,500	0,237	18,99	*	*		
	0,188	23,94	*	*		
	0,125	36,00	*	*		
4,000	0,250	16,00	*	*		
	0,226	17,70	*	*		
	0,188	21,28	*	*		

* Sección compacta ** Sección no compacta *** Sección esbelta
 (1) Perfil sometido a Flexión. (2) Perfil sometido a Compresión Axial.

Relación Ancho/Espesor.Tubos Estructurales fabricados en el exterior. Sección Circular.

ERW		0,375	25,67	*	*			0,125	32,00	*	*
		0,312	30,85	*	*						
	9,625	0,250	38,50	*	*	3,500	0,300	11,67	*	*	
		0,188	51,20	**	*		0,250	14,00	*	*	
		0,500	17,25	*	*		0,216	16,20	*	*	
		0,375	23,00	*	*		0,188	18,62	*	*	
		0,322	26,79	*	*		0,125	28,00	*	*	
		0,250	34,50	*	*	2,875	0,276	10,42	*	*	
		0,188	45,88	*	*		0,250	11,50	*	*	
		0,125	69,00	**	*		0,203	14,16	*	*	
	7,000	0,500	14,00	*	*		0,188	15,29	*	*	
		0,375	18,67	*	*		0,125	23,00	*	*	
		0,312	22,44	*	*	2,375	0,250	9,50	*	*	
		0,250	28,00	*	*		0,218	10,89	*	*	
		0,188	37,23	*	*		0,188	12,63	*	*	
		0,125	56,00	**	*		0,154	15,42	*	*	
	6,625	0,500	13,25	*	*		0,125	19,00	*	*	
		0,432	15,34	*	*						
		0,375	17,67	*	*	16,000	0,188	85,11	**	*	
		0,312	21,23	*	*	16,000	0,125	128,00	**	**	
		0,280	23,66	*	*	14,000	0,188	74,47	**	*	
		0,250	26,50	*	*	14,000	0,125	112,00	**	**	
		0,188	35,24	*	*	12,750	0,188	67,82	**	*	
		0,125	53,00	**	*	12,750	0,125	102,00	**	**	

* Sección compacta ** Sección no compacta *** Sección esbelta
 (1) Perfil sometido a Flexión. (2) Perfil sometido a Compresión Axial.

Relación Ancho/Espesor.Tubos Estructurales fabricados en el exterior. Sección Cuadrada.

ERW	HxB		Espesor	Relación				
	Ancho/Espesor			(1)	(3)			
	pulg	pulg	(λ)					
ERW	16,00	16,00	0,500	30,40	**	*		
			0,375	41,07	***	*		
			0,313	49,60	***	*		
	14,00	14,00	0,500	26,40	*	*		
			0,375	35,73	***	*		
			0,313	43,20	***	*		
	12,00	12,00	0,625	17,60	*	*		
			0,500	22,40	*	*		
			0,375	30,40	**	*		
			0,313	36,80	***	*		
			0,250	46,40	***	*		
	10,00	10,00	0,625	14,40	*	*		
			0,500	18,40	*	*		
			0,375	25,07	*	*		
			0,313	30,40	**	*		
			0,250	38,40	***	*		
			0,188	51,73	***	*		
	8,00	8,00	0,625	11,20	*	*		
			0,500	14,40	*	*		
			0,375	19,73	*	*		
			0,313	24,00	*	*		
			0,250	30,40	**	*		
			0,188	41,07	***	*		
	7,00	7,00	0,625	9,60	*	*		
0,500			12,40	*	*			
0,375			17,07	*	*			
0,313			20,80	*	*			
0,250			26,40	*	*			
0,188			35,73	***	*			
6,00	6,00	0,625	8,00	*	*			
		0,500	10,40	*	*			
		0,375	14,40	*	*			
		0,313	17,60	*	*			
		0,250	22,40	*	*			
		0,188	30,40	**	*			
		0,125	46,40	***	*			
		ERW	4,50	4,50	0,188	22,40	*	*
					0,125	34,40	***	*
			4,00	4,00	0,500	6,40	*	*
0,375	9,07				*	*		
0,313	11,20				*	*		
0,250	14,40				*	*		
3,50	3,50		0,188	19,73	*	*		
			0,125	30,40	**	*		
			0,313	9,60	*	*		
3,00	3,00		0,250	12,40	*	*		
			0,188	17,07	*	*		
			0,125	26,40	*	*		
2,50	2,50	0,313	8,00	*	*			
		0,250	10,40	*	*			
		0,188	14,40	*	*			
		0,125	22,40	*	*			
2,00	2,00	0,313	6,40	*	*			
		0,250	8,40	*	*			
		0,188	11,73	*	*			
1,50	1,50	0,125	18,40	*	*			
		0,188	4,80	*	*			
		0,125	6,40	*	*			
30,00	30,00	0,188	9,07	*	*			
		0,125	14,40	*	*			
		0,625	46,40	***	*			
		0,625	43,20	***	*			
		0,625	40,00	***	*			
		0,625	36,80	***	*			
		0,500	46,40	***	*			
		0,375	62,40	***	*			
22,00	22,00	0,625	33,60	**	*			
		0,500	42,40	***	*			
		0,375	57,07	***	*			
20,00	20,00	0,625	30,40	**	*			
		0,500	38,40	***	*			

* Sección compacta ** Sección no compacta *** Sección esbelta
 (3) Perfil sometido a Compresión. (4) Perfil sometido a Compresion por Flexión.

Relación Ancho/Espesor.Tubos Estructurales fabricados en el exterior. Sección Cuadrada.

	HxB		Espesor	Relación Ancho/Espesor		(1)	(3)
	pulg			(λ)			
	ERW	5,50	5,50			0,375	13,17
0,313				15,89	*	*	
0,250				20,40	*	*	
0,188				27,73	**	*	
0,125				42,40	***	*	
5,00		5,00	0,500	8,40	*	*	
			0,375	11,73	*	*	
			0,313	14,40	*	*	
			0,250	18,40	*	*	
			0,188	25,07	*	*	
4,50		4,50	0,375	10,40	*	*	
			0,313	12,80	*	*	
			0,250	16,40	*	*	

	HxB		Espesor	Relación Ancho/Espesor		(1)	(3)
	pulg			(λ)			
	ERW	18,00	18,00			0,375	51,73
0,625				27,20	*	*	
0,500				34,40	***	*	
16,00		16,00	0,375	46,40	***	*	
			0,625	24,00	*	*	
			0,500	30,40	**	*	
14,00		14,00	0,375	41,07	***	*	
			0,313	49,60	***	*	
			0,625	20,80	*	*	
12,00		12,00	0,500	26,40	*	*	
			0,375	35,73	***	*	
			0,375	30,40	**	*	

* Sección compacta ** Sección no compacta *** Sección esbelta
 (3) Perfil sometido a Compresión. (4) Perfil sometido a Compresion por Flexión.

Relación Ancho/Espesor: Tubos Estructurales fabricados en el exterior. Sección Rectangular.

ERW	HxB		Relación				Relación			
	mm	Espesor mm	Ancho/Espesor (λ)	alma		Ancho/Espesor (λ)	alas			
				(1)	(3)		(1)	(3)		
	7,00	3,00	9,53	16,67	*	*	6,00	*	*	
			7,94	20,40	*	*		7,60	*	*
			6,35	26,00	*	*		10,00	*	*
			4,76	35,33	***	*		14,00	*	*
			3,18	54,00	***	*		22,00	*	*
	6,00	4,00	12,70	10,00	*	*	6,00	*	*	
			9,53	14,00	*	*		8,67	*	*
			7,94	17,20	*	*		10,80	*	*
			6,35	22,00	*	*		14,00	*	*
			4,76	30,00	**	*		19,33	*	*
	6,00	3,00	12,70	10,00	*	*	4,00	*	*	
			9,53	14,00	*	*		6,00	*	*
			7,94	17,20	*	*		7,60	*	*
			6,35	22,00	*	*		10,00	*	*
			4,76	30,00	**	*		14,00	*	*
	6,00	2,00	7,94	17,20	*	*	4,40	*	*	
			6,35	22,00	*	*		6,00	*	*
			4,76	30,00	**	*		8,67	*	*
			3,18	46,00	***	*		14,00	*	*
			5,00	4,00	9,53	11,33		*	*	8,67
7,94	14,00	*	*	10,80	*	*				
6,35	18,00	*	*	14,00	*	*				
4,76	24,67	*	*	19,33	*	*				
5,00	3,00	12,70	8,00	*	*	4,00	*	*		
		9,53	11,33	*	*		6,00	*	*	
		7,94	14,00	*	*		7,60	*	*	
		6,35	18,00	*	*		10,00	*	*	
		4,76	24,67	*	*		14,00	*	*	
5,00	2,00	7,94	14,00	*	*	4,40	*	*		
		6,35	18,00	*	*		6,00	*	*	
		4,76	24,67	*	*		8,67	*	*	
		3,18	38,00	***	*		14,00	*	*	
		4,00	3,00	7,94	10,80		*	*	7,60	*
6,35	14,00	*	*	10,00	*	*				
4,76	19,33	*	*	14,00	*	*				
3,18	30,00	**	*	22,00	*	*				

* Sección compacta ** Sección no compacta *** Sección esbelta

(3) Perfil sometido a Compresión. (4) Perfil sometido a Compresion por Flexión.

Relación Ancho/Espesor.Tubos Estructurales fabricados en el exterior. Sección Rectangular.

ERW	HxB		Relación				Relación				
	Espesor		Ancho/Espesor		alma		Ancho/Espesor		alas		
	mm	mm	(λ)		(1)	(3)	(λ)		(1)	(3)	
ERW	4,00	2,00	7,94	10,80	*	*	4,40	*	*		
			6,35	14,00	*	*		6,00	*	*	
			4,76	19,33	*	*		8,67	*	*	
			3,18	30,00	**	*		14,00	*	*	
	3,00	2,00	7,94	7,60	*	*	4,40	*	*		
			6,35	10,00	*	*		6,00	*	*	
			4,76	14,00	*	*		8,67	*	*	
			3,18	22,00	*	*		14,00	*	*	
	SAW	30,00	24,00	12,70	58,00	***	*	46,00	***	*	
				9,53	78,00	***	*		62,00	***	*
				7,94	94,00	***	*		74,80	***	*
		28,00	24,00	12,70	54,00	***	*	46,00	***	*	
9,53				72,67	***	*	62,00		***	*	
7,94				87,60	***	*	74,80		***	*	
26,00		24,00	12,70	50,00	***	*	46,00	***	*		
			9,53	67,33	***	*		62,00	***	*	
			7,94	81,20	***	*		74,80	***	*	
24,00		22,00	12,70	46,00	***	*	42,00	***	*		
			9,53	62,00	***	*		56,67	***	*	
			7,94	74,80	***	*		68,40	***	*	
22,00		20,00	12,70	42,00	***	*	38,00	***	*		
			9,53	56,67	***	*		51,33	***	*	
			7,94	68,40	***	*		62,00	***	*	
20,00		18,00	12,70	38,00	***	*	34,00	**	*		
			9,53	51,33	***	*		46,00	***	*	
			7,94	62,00	***	*		55,60	***	*	
18,00		12,00	12,70	34,00	**	*	22,00	*	*		
			9,53	46,00	***	*		30,00	**	*	
			7,94	55,60	***	*		36,40	***	*	
16,00		12,00	12,70	30,00	**	*	22,00	*	*		
			9,53	40,67	***	*		30,00	**	*	
			7,94	49,20	***	*		36,40	***	*	
14,00		12,00	12,70	26,00	*	*	22,00	*	*		
			9,53	35,33	***	*		30,00	**	*	

* Sección compacta ** Sección no compacta *** Sección esbelta

(3) Perfil sometido a Compresión. (4) Perfil sometido a Compresion por Flexión.

Resistencia a Tracción Axial. Tubos Estructurales fabricados en el exterior. SECCIÓN CIRCULAR. Para una conexión donde el tubular está soldado en todo el perímetro.

Diámetro			Diámetro			Diámetro				
Externo	Espesor	φPn	Externo	Espesor	φPn	Externo	Espesor	φPn		
pulg.	mm.	Kg f	pulg.	mm.	Kg f	pulg.	mm.	Kg f		
20,000	0,500	474278	8,625	0,250	101848	5,000	0,312	71149		
	0,375	357989		0,188	77157		0,250	57765		
	0,250	240179		0,125	51684		0,188	44006		
18,000	0,500	425634	7,000	0,500	158093	4,500	0,125	29642		
	0,375	321506		0,375	120850		0,237	49146		
	0,250	215857		0,312	101503		0,188	39433		
16,000	0,500	376990		0,250	82087	4,000	0,125	26602		
	0,375	285023		0,188	62296		0,250	45604		
	0,250	191535		0,125	41803		0,226	41490		
14,000	0,500	328346	6,625	0,500	148972		0,188	34861		
	0,438	288952		0,432	130141		0,125	23562		
	0,375	248540		0,375	114009		3,500	0,300	46698	
	0,250	167213		0,312	95812			0,250	39523	
12,750	0,500	297944		0,280	86421	4,000	0,216	34505		
	0,365	219896		0,250	77526		0,188	30288		
	0,375	225738		0,188	58867		0,125	20522		
10,750	0,500	249300		0,125	39523	2,875	0,276	34893		
	0,365	184386		6,000	0,500		133771	0,250	31923	
	0,250	127690			0,375		102608	0,203	26385	
10,000	0,625	285023		0,312	86326		0,188	24573		
	0,500	231059		0,250	69926		0,125	16721		
	0,375	175574		5,563	0,188		53151	2,375	0,250	25842
	0,312	147034			0,125		35723		0,218	22874
	0,250	118570		5,500	0,375		94637		0,188	20000
	0,188	89731			0,258		66578		0,154	16638
	0,125	60045		0,134	35388		0,125	13681		
9,625	0,500	221938	5,500	0,500	121610	SAW				
	0,375	168734		0,375	93488	16,000	0,188	144602		
	0,312	141342		0,312	78738	16,000	0,125	96528		
	0,250	114009		0,250	63845	14,000	0,188	126312		
	0,188	86302		0,188	48579	14,000	0,125	84367		
8,625	0,500	197616		0,125	32683	12,750	0,188	114880		
	0,375	150492		5,000	0,500	109449	12,750	0,125	76766	
	0,322	130053			0,375	84367				

Resistencia a Tracción Axial. Tubos Estructurales fabricados en el exterior. SECCIÓN CUADRADA.
Para una conexión donde el tubular está soldado en todo el perímetro.

HxB		Espesor		ϕP_n
pulg.		pulg.		Kg f
16	16	1/2	515550	
		3/8	391609	
		5/16	328402	
14	14	1/2	447808	
		3/8	340803	
		5/16	286064	
12	12	5/8	466837	
		1/2	380066	
		3/8	289997	
		5/16	243725	
		1/4	196629	
10	10	5/8	382160	
		1/2	312324	
		3/8	239190	
		5/16	201387	
		1/4	162758	
		3/16	123306	
8	8	5/8	297483	
		1/2	244582	
		3/8	188384	
		5/16	159048	
		1/4	128887	
7	7	3/16	97902	
		5/8	255144	
		1/2	210712	
		3/8	162981	
		5/16	137879	
		1/4	111952	
6	6	3/16	85201	
		5/8	212806	
		1/2	176841	
		3/8	137578	
		5/16	116709	
6	6	1/4	95017	
		3/16	72499	
		1/8	49157	
5 1/2	5 1/2	3/8	125080	
		5/16	105962	
		1/4	86549	
		3/16	66148	
5	5	1/8	44923	
		1/2	142970	
		3/8	112174	
		5/16	95540	
		1/4	78081	
4 1/2	4 1/2	3/16	59798	
		1/8	40690	
		3/8	99473	
		5/16	84955	
		1/4	69613	
		3/16	53447	
		1/8	36456	

HxB		Espesor		ϕP_n
pulg.		pulg.		Kg f
4	4	1/2	109099	
		3/8	86771	
		5/16	74371	
		1/4	61146	
		3/16	47096	
3 1/2	3 1/2	1/8	32222	
		5/16	63786	
		1/4	52678	
		3/16	40745	
3	3	1/8	27988	
		5/16	53201	
		1/4	44210	
		3/16	34394	
2 1/2	2 1/2	1/8	23754	
		5/16	42617	
		1/4	35742	
2	2	3/16	28044	
		1/8	19520	
		5/16	32032	
		1/4	27275	
1 1/2	1 1/2	3/16	21693	
		1/8	15286	
		3/16	15342	
30	30	5/8	1228933	
28	28	5/8	1144255	
26	26	5/8	1059578	
24	24	5/8	974901	
		1/2	786517	
		3/8	594835	
22	22	5/8	890224	
		1/2	718775	
		3/8	544028	
20	20	5/8	805546	
		1/2	651033	
		3/8	493222	
18	18	5/8	720869	
		1/2	583291	
		3/8	442416	
16	16	5/8	636192	
		1/2	515550	
		3/8	391609	
		5/16	328402	
14	14	5/8	551515	
		1/2	447808	
		3/8	340803	
12	12	1/2	380066	
		3/8	289997	

Resistencia a Tracción Axial. Tubos Estructurales fabricados en el exterior. SECCIÓN RECTANGULAR. Para una conexión donde el tubular está soldado en todo el perímetro.

HxB	Espesor	φPn													
mm.	pulg.	Kg f													
ERW				ERW				ERW				ERW			
20	12	1/2	514096	14,00	6,00	5/8	379889	8,00	6,00	1/4	111589	7,00	4,00	5/16	105557
		3/8	390792			1/2	310871			3/16	84996			1/4	86185
		5/16	327835			3/8	238373	8,00	4,00	5/8	210534			3/16	65944
20,00	8,00	1/2	446354			5/16	200819			1/2	175387			1/8	44833
		3/8	339985			1/4	162395			3/8	136760	7,00	3,00	3/8	111357
		5/16	285496	14,00	4,00	5/8	337550			5/16	116141			5/16	94972
20,00	4,00	1/2	378612			1/2	277000			1/4	94653			1/4	77718
		3/8	289179			3/8	212969			3/16	72295			3/16	59593
		5/16	243157			5/16	179649			1/8	49066			1/8	40599
18,00	6,00	1/2	378612			1/4	145459	8,00	3,00	1/2	158451	6,00	4,00	1/2	141516
		3/8	289179			3/16	110399			3/8	124058			3/8	111357
		5/16	243157	12,00	10,00	1/2	344741			5/16	105557			5/16	94972
		1/4	196266			3/8	263776			1/4	86185			1/4	77718
16,00	12,00	1/2	446354			5/16	221988			3/16	65944			3/16	59593
		3/8	339985	10,00	4,00	3/8	162163			1/8	44833			1/8	40599
		5/16	285496			5/16	137311	8,00	2,00	5/16	94972	6,00	3,00	1/2	124581
16,00	8,00	1/2	378612			1/4	111589			1/4	77718			3/8	98655
		3/8	289179			3/16	84996			3/16	59593			5/16	84387
		5/16	243157	10,00	3,00	1/4	103121			1/8	40599			1/4	69250
16,00	4,00	1/2	310871			3/16	78646	7,00	5,00	1/2	175387			3/16	53242
		3/8	238373	10,00	2,00	5/16	116141			3/8	136760	12,00	10,00	1/4	179330
		5/16	200819			1/4	94653			5/16	116141	12,00	8,00	5/8	379889
14,00	10,00	1/2	378612			3/16	72295			1/4	94653			1/2	310871
		3/8	289179	8,00	6,00	1/2	209258			3/16	72295			3/8	238373
		5/16	243157			3/8	162163			1/8	49066			5/16	200819
						5/16	137311	7,00	4,00	3/8	124058			1/4	162395

Resistencia a Tracción Axial. Tubos Estructurales fabricados en el exterior. SECCIÓN RECTANGULAR. Para una conexión donde el tubular está soldado en todo el perímetro.

HxB	Espesor	φPn		HxB	Espesor	φPn		HxB	Espesor	φPn		HxB	Espesor	φPn	
mm.	pulg.	Kg f		mm.	pulg.	Kg f		mm.	pulg.	Kg f		mm.	pulg.	Kg f	
ERW				ERW				ERW				SAW			
12,00	8,00	3/16	123101	10,00	6,00	5/16	158480	5,00	2,00	3/16	40541	30,00	24,00	1/2	886676
12,00	6,00	5/8	337550			1/4	128524			1/8	27897			3/8	670227
		1/2	277000			3/16	97698	4,00	3,00	5/16	63218			5/16	560697
		3/8	212969	10,00	5,00	3/8	174865			1/4	52314	28,00	24,00	1/2	852805
		5/16	179649			5/16	147895			3/16	40541			3/8	644823
		1/4	145459			1/4	120056	4,00	2,00	5/16	52634			5/16	539528
		3/16	110399			3/16	91347			1/8	27897			1/2	818934
12,00	4,00	5/8	295211	10,00	4,00	1/2	209258			1/4	43847			3/8	619420
		1/2	243129	6,00	3,00	1/8	36365			3/16	34190			5/16	518358
		3/8	187566	6,00	2,00	5/16	73803			1/8	23663	24,00	22,00	1/2	751192
		5/16	158480			1/4	60782	3,00	2,00	5/16	42049			3/8	568614
		1/4	128524			3/16	46892			1/4	35379			5/16	476020
		3/16	97698			1/8	32131			3/16	27839	22,00	20,00	1/2	683450
12,00	3,00	5/16	147895	5,00	4,00	3/8	98655			1/8	19429			3/8	517808
		1/4	120056			5/16	84387							5/16	433681
		3/16	91347			1/4	69250					20,00	18,00	1/2	615709
12,00	2,00	1/4	111589			3/16	53242							3/8	467001
		3/16	84996	5,00	3,00	1/2	107645							5/16	391343
10,00	8,00	1/2	277000			3/8	85954					18,00	12,00	1/2	480225
		3/8	212969			5/16	73803							3/8	365388
		5/16	179649			1/4	60782							5/16	306665
		1/4	145459			3/16	46892					16,00	12,00	1/2	446354
		3/16	110399			1/8	32131							3/8	339985
10,00	6,00	1/2	243129	5,00	2,00	5/16	63218							5/16	285496
		3/8	187566			1/4	52314					14,00	12,00	1/2	412483
														3/8	314582

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN CIRCULAR Para una conexión con una cartela dispuesta concéntricamente dentro de una ranura hecha al tubular.

Diámetro		ϕP_n				
Externo	Espesor	U				
pulg.	mm.	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
20,000	0,500	401506	430185	458864	487543	516222
	0,375	303060	324707	346354	368001	389648
	0,250	203327	217850	232374	246897	261420
18,000	0,500	360326	386064	411801	437539	463276
	0,375	272175	291616	311057	330498	349939
	0,250	182737	195789	208842	221895	234947
16,000	0,500	319146	341942	364738	387534	410330
	0,375	241290	258525	275760	292995	310230
	0,250	162147	173729	185311	196892	208474
14,000	0,500	277966	297820	317675	337530	357385
	0,438	244616	262089	279562	297034	314507
	0,375	210405	225434	240462	255491	270520
12,750	0,250	141557	151668	161779	171890	182001
	0,500	252228	270245	288261	306277	324293
	0,365	186156	199453	212749	226046	239343
10,750	0,375	191101	204752	218402	232052	245702
	0,500	211048	226123	241198	256273	271348
	0,365	156094	167244	178393	189543	200693
10,000	0,250	108098	115819	123540	131262	138983
	0,625	241290	258525	275760	292995	310230
	0,500	195606	209577	223549	237521	251493
	0,375	148634	159251	169868	180485	191101
	0,312	124473	133364	142255	151146	160037
	0,250	100377	107546	114716	121886	129056
9,625	0,188	75963	81389	86815	92241	97667
	0,125	50832	54463	58093	61724	65355
	0,500	187884	201305	214725	228145	241566
	0,375	142844	153047	163250	173453	183656
	0,312	119655	128202	136749	145296	153842
	0,250	96516	103410	110304	117198	124092
	0,188	73060	78279	83497	88716	93934

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN CIRCULAR Para una conexión con una cartela dispuesta concéntricamente dentro de una ranura hecha al tubular.

Diámetro		ϕP_n				
Externo	Espesor	U				
pulg.	mm.	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
8,625	0,500	167294	179244	191193	203143	215093
	0,375	127401	136501	145601	154701	163801
	0,322	110098	117962	125826	133690	141554
	0,250	86221	92380	98538	104697	110855
	0,188	65318	69984	74649	79315	83980
7,000	0,125	43754	46879	50004	53130	56255
	0,500	133835	143395	152955	162514	172074
	0,375	102307	109614	116922	124230	131537
	0,312	85929	92067	98204	104342	110480
	0,250	69491	74455	79419	84382	89346
6,625	0,188	52738	56505	60272	64038	67805
	0,125	35389	37917	40445	42973	45500
	0,500	126114	135122	144130	153139	162147
	0,432	110172	118042	125911	133781	141650
	0,375	96516	103410	110304	117198	124092
6,000	0,312	81111	86904	92698	98492	104285
	0,280	73161	78386	83612	88838	94064
	0,250	65631	70319	75007	79695	84382
	0,188	49834	53394	56954	60513	64073
	0,125	33459	35849	38239	40629	43019
5,563	0,500	113245	121334	129423	137512	145601
	0,375	86864	93069	99273	105478	111683
	0,312	73081	78301	83521	88741	93961
	0,250	59196	63425	67653	71881	76110
	0,188	44996	48210	51424	54638	57852
5,500	0,125	30242	32402	34562	36722	38882
	0,375	80116	85838	91561	97284	103006
	0,258	56363	60389	64415	68441	72466
5,500	0,134	29958	32098	34238	36378	38517
	0,500	102950	110304	117657	125011	132365
	0,375	79143	84796	90449	96102	101755
	0,312	66656	71418	76179	80940	85701
	0,250	54049	57910	61770	65631	69491
5,500	0,188	41125	44062	47000	49937	52875
	0,125	27668	29644	31620	33597	35573

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN CIRCULAR Para una conexión con una cartela dispuesta concéntricamente dentro de una ranura hecha al tubular.

Diámetro		ϕP_n				
Externo	Espesor	U				
pulg.	mm.	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
5,000	0,500	92655	99273	105892	112510	119128
	0,375	71422	76523	81625	86726	91828
	0,312	60232	64535	68837	73139	77442
	0,250	48901	52394	55887	59380	62873
	0,188	37254	39915	42576	45237	47898
	0,125	25094	26887	28679	30471	32264
4,500	0,237	41606	44577	47549	50521	53493
	0,188	33383	35767	38152	40536	42921
	0,125	22520	24129	25738	27346	28955
4,000	0,250	38606	41364	44122	46879	49637
	0,226	35124	37632	40141	42650	45159
	0,188	29512	31620	33728	35836	37944
	0,125	19947	21371	22796	24221	25646
3,500	0,300	39533	42357	45180	48004	50828
	0,250	33459	35849	38239	40629	43019
	0,216	29211	31297	33384	35470	37557
	0,188	25641	27473	29304	31136	32967
2,875	0,125	17373	18614	19855	21096	22337
	0,276	29539	31649	33759	35869	37979
	0,250	27024	28955	30885	32815	34746
	0,203	22337	23932	25528	27123	28719
	0,188	20802	22288	23774	25260	26746
	0,125	14156	15167	16178	17189	18200
2,375	0,250	21877	23440	25002	26565	28127
	0,218	19364	20747	22130	23513	24897
	0,188	16931	18141	19350	20560	21769
	0,154	14085	15091	16097	17103	18109
	0,125	11582	12409	13236	14064	14891
16,000	0,188	122414	131158	139902	148646	157390
	0,125	81717	87554	93391	99228	105064
14,000	0,188	106931	114568	122206	129844	137482
	0,125	71422	76523	81625	86726	91828
12,750	0,188	97253	104200	111147	118093	125040
	0,125	64987	69629	74271	78913	83555

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN CUADRADA. Para una conexión con una cartela dispuesta concéntricamente dentro de una ranura hecha al tubular.

			ϕP_n				
HxB		Espesor	U				
pulg.	pulg.		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
16,00	16,00	1/2	399035	427538	456040	484543	513046
		3/8	303106	324756	346406	368057	389707
		5/16	254184	272339	290495	308651	326807
14,00	14,00	1/2	346603	371361	396118	420875	445633
		3/8	263782	282623	301465	320306	339148
		5/16	221413	237229	253044	268859	284674
12,00	12,00	5/8	361332	387142	412951	438760	464570
		1/2	294171	315183	336196	357208	378220
		3/8	224457	240490	256523	272555	288588
		5/16	188643	202118	215592	229067	242541
10,00	10,00	1/4	152191	163062	173933	184803	195674
		5/8	295792	316920	338048	359176	380304
		1/2	241739	259006	276273	293540	310807
		3/8	185133	198357	211581	224805	238029
		5/16	155873	167007	178141	189275	200408
8,00	8,00	1/4	125975	134973	143971	152970	161968
		3/16	95438	102256	109073	115890	122707
		5/8	230252	246698	263145	279591	296038
		1/2	189307	202829	216351	229873	243394
		3/8	145809	156224	166639	177054	187469
		5/16	123103	131896	140689	149482	158275
7,00	7,00	1/4	99759	106884	114010	121136	128261
		3/16	75776	81189	86602	92014	97427
		5/8	197482	211587	225693	239799	253905
		1/2	163091	174740	186389	198039	209688
		3/8	126147	135158	144168	153179	162189
		5/16	106718	114341	121964	129586	137209
		1/4	86651	92840	99030	105219	111408
		3/16	65945	70656	75366	80077	84787

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN CUADRADA. Para una conexión con una cartela dispuesta concéntricamente dentro de una ranura hecha al tubular.

			ϕP_n				
HxB	Espesor		U				
pulg.	pulg.		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
5,00	5,00	1/2	110659	118563	126467	134371	142275
		3/8	86823	93025	99226	105428	111630
		5/16	73948	79230	84512	89794	95076
		1/4	60435	64752	69068	73385	77702
		3/16	46283	49589	52895	56201	59507
4,50	4,50	1/8	31494	33743	35993	38242	40492
		3/8	76992	82491	87991	93490	98990
		5/16	65755	70452	75149	79846	84543
		1/4	53881	57729	61578	65427	69275
4,00	4,00	3/16	41368	44323	47278	50232	53187
		1/8	28217	30232	32248	34263	36279
		1/2	84443	90474	96506	102537	108569
		3/8	67161	71958	76755	81553	86350
3,50	3,50	5/16	57563	61675	65786	69898	74009
		1/4	47327	50707	54088	57468	60849
		3/16	36452	39056	41660	44264	46867
		1/8	24940	26721	28503	30284	32065
		5/16	49370	52897	56423	59950	63476
3,00	3,00	1/4	40773	43685	46597	49510	52422
		3/16	31537	33789	36042	38295	40547
		1/8	21663	23210	24757	26305	27852
		5/16	41178	44119	47060	50002	52943
2,50	2,50	1/4	34219	36663	39107	41551	43995
		3/16	26621	28523	30424	32326	34227
		1/8	18386	19699	21012	22325	23639
		5/16	32985	35341	37698	40054	42410
2,00	2,00	1/4	27665	29641	31617	33593	35569
		3/16	21706	23256	24807	26357	27907
		1/8	15109	16188	17267	18346	19425
		5/16	24793	26564	28335	30106	31876
1,50	1,50	1/4	21111	22619	24126	25634	27142
		3/16	16790	17990	19189	20388	21587
		1/8	11832	12677	13522	14367	15212
30,00	30,00	3/16	11875	12723	13571	14419	15268
28,00	28,00	5/8	951194	1019136	1087079	1155021	1222963
26,00	26,00	5/8	885654	948915	1012176	1075437	1138698
24,00	24,00	5/8	820113	878693	937272	995852	1054432
24,00	24,00	5/8	754573	808471	862369	916268	970166
		1/2	608764	652247	695730	739213	782697
		3/8	460402	493288	526174	559060	591946

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN CUADRADA. Para una conexión con una cartela dispuesta concéntricamente dentro de una ranura hecha al tubular.

			ϕP_n				
HxB		Espesor	U				
pulg.	pulg.		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
22,00	22,00	5/8	689033	738250	787466	836683	885900
		1/2	556332	596070	635808	675546	715284
		3/8	421078	451155	481232	511309	541386
20,00	20,00	5/8	623493	668028	712563	757098	801634
		1/2	503900	539893	575885	611878	647871
		3/8	381754	409022	436290	463558	490826
18,00	18,00	5/8	557953	597806	637660	677514	717368
		1/2	451468	483715	515963	548211	580458
		3/8	342430	366889	391348	415808	440267
16,00	16,00	5/8	492412	527585	562757	597929	633102
		1/2	399035	427538	456040	484543	513046
		3/8	303106	324756	346406	368057	389707
		5/16	254184	272339	290495	308651	326807
14,00	14,00	5/8	426872	457363	487854	518345	548836
		1/2	346603	371361	396118	420875	445633
		3/8	263782	282623	301465	320306	339148
12,00	12,00	1/2	294171	315183	336196	357208	378220
		3/8	224457	240490	256523	272555	288588

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN RECTANGULAR. Para una conexión con una cartela dispuesta concéntricamente dentro de una ranura hecha al tubular.

ERW	HxB		Espesor	ϕP_n				
				U				
	pulg.	pulg.		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
ERW	20,00	12,00	0,50	397910	426332	454755	483177	511599
			0,38	302473	324078	345683	367288	388894
			0,31	253744	271869	289993	308118	326242
	20,00	8,00	0,50	345478	370155	394832	419509	444186
			0,38	263149	281945	300741	319538	338334
			0,31	220974	236758	252542	268325	284109
	20,00	4,00	0,50	293046	313978	334910	355841	376773
			0,38	223825	239812	255799	271787	287774
			0,31	188204	201647	215090	228533	241976
	18,00	6,00	0,50	293046	313978	334910	355841	376773
			0,38	223825	239812	255799	271787	287774
			0,31	188204	201647	215090	228533	241976
			0,25	151910	162760	173611	184462	195312
	16,00	12,00	0,50	345478	370155	394832	419509	444186
			0,38	263149	281945	300741	319538	338334
			0,31	220974	236758	252542	268325	284109
	16,00	8,00	0,50	293046	313978	334910	355841	376773
			0,38	223825	239812	255799	271787	287774
			0,31	188204	201647	215090	228533	241976
	16,00	4,00	0,50	240614	257800	274987	292174	309361
			0,38	184500	197679	210858	224036	237215
			0,31	155434	166536	177638	188741	199843
	14,00	10,00	0,50	293046	313978	334910	355841	376773
			0,38	223825	239812	255799	271787	287774
0,31			188204	201647	215090	228533	241976	
14,00	6,00	0,63	294034	315036	336039	357041	378043	
		0,50	240614	257800	274987	292174	309361	
		0,38	184500	197679	210858	224036	237215	
		0,31	155434	166536	177638	188741	199843	
		0,25	125694	134672	143650	152628	161606	
14,00	4,00	0,63	261264	279925	298587	317249	335910	
		0,50	214398	229712	245026	260340	275654	

ERW	HxB		Espesor	ϕP_n		
				U		
	pulg.	pulg.		0,70	0,75	0,80
ERW	14,00	4,00	0,38	164838	176612	188387
			0,31	139049	148981	158913
			0,25	112586	120627	128669
	12,00	10,00	0,19	85449	91553	97656
			0,50	266830	285889	304948
			0,38	204162	218745	233329
	12,00	8,00	0,31	171819	184091	196364
			0,25	138802	148716	158630
			0,63	294034	315036	336039
	12,00	6,00	0,50	240614	257800	274987
			0,38	184500	197679	210858
			0,31	155434	166536	177638
			0,25	125694	134672	143650
			0,19	95280	102086	108892
	12,00	4,00	0,63	261264	279925	298587
			0,50	214398	229712	245026
			0,38	164838	176612	188387
	12,00	3,00	0,31	139049	148981	158913
			0,25	112586	120627	128669
			0,19	85449	91553	97656
			0,63	228494	244815	261136
			0,50	188182	201623	215065
	12,00	2,00	0,38	145176	155546	165916
			0,31	122664	131425	140187
0,25			99478	106583	113689	
10,00	8,00	0,19	75618	81019	86421	
		0,31	114471	122648	130824	
		0,25	92924	99561	106198	
		0,19	70703	75753	80803	
		0,25	86370	92539	98708	
10,00	4,00	0,19	65787	70486	75185	
		0,50	214398	229712	245026	

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN RECTANGULAR. Para una conexión con una cartela dispuesta concéntricamente dentro de una ranura hecha al tubular.

ERW	HxB		Espesor	ϕP_n				
	U							
	pulg.	pulg.	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	
10,00	8,00	0,38	164838	176612	188387	200161	211935	
			0,31	139049	148981	158913	168845	178777
			0,25	112586	120627	128669	136711	144753
			0,19	85449	91553	97656	103760	109863
	6,00	0,50	188182	201623	215065	228506	241948	
			0,38	145176	155546	165916	176285	186655
			0,31	122664	131425	140187	148949	157710
			0,25	99478	106583	113689	120794	127900
	5,00	0,38	135345	145013	154680	164348	174015	
			0,31	114471	122648	130824	139001	147177
			0,25	92924	99561	106198	112836	119473
			0,19	70703	75753	80803	85853	90903
4,00	0,50	161966	173535	185103	196672	208241		
		0,38	125514	134480	143445	152410	161375	
		0,31	106279	113870	121461	129053	136644	
		0,25	86370	92539	98708	104877	111047	
3,00	0,19	65787	70486	75185	79884	84583		
		0,25	79816	85517	91218	96919	102620	
		0,19	60872	65220	69568	73916	78264	
		0,31	89893	96314	102735	109156	115577	
2,00	0,25	73261	78494	83727	88960	94193		
		0,19	55956	59953	63950	67947	71944	
		0,50	161966	173535	185103	196672	208241	
		0,38	125514	134480	143445	152410	161375	
8,00	6,00	0,31	106279	113870	121461	129053	136644	
		0,25	86370	92539	98708	104877	111047	
		0,19	65787	70486	75185	79884	84583	
		0,63	162953	174593	186232	197872	209512	
8,00	4,00	0,50	135749	145446	155142	164839	174535	
		0,38	105852	113413	120974	128535	136096	
		0,31	89893	96314	102735	109156	115577	

ERW	HxB		Espesor	ϕP_n		
	U					
	pulg.	pulg.	0,70	0,75	0,80	
8,00	4,00	0,25	73261	78494	83727	
			0,19	55956	59953	63950
			0,13	37977	40690	43403
			0,50	122641	131402	140162
	3,00	0,38	96021	102880	109738	
			0,31	81701	87537	93373
			0,25	66707	71472	76237
			0,19	51041	54686	58332
	2,00	0,13	34700	37179	39658	
			0,31	73508	78759	84010
			0,25	60153	64450	68747
			0,19	46125	49420	52714
7,00	5,00	0,13	31423	33668	35912	
		0,50	135749	145446	155142	
		0,38	105852	113413	120974	
		0,31	89893	96314	102735	
4,00	0,25	73261	78494	83727		
		0,19	55956	59953	63950	
		0,13	37977	40690	43403	
		0,38	96021	102880	109738	
7,00	3,00	0,31	81701	87537	93373	
		0,25	66707	71472	76237	
		0,19	51041	54686	58332	
		0,13	34700	37179	39658	
6,00	4,00	0,50	109533	117357	125181	
		0,38	86190	92347	98503	
		0,31	73508	78759	84010	
		0,25	60153	64450	68747	
6,00	4,00	0,19	46125	49420	52714	
		0,13	31423	33668	35912	
		0,50	109533	117357	125181	
		0,38	86190	92347	98503	
6,00	4,00	0,31	73508	78759	84010	

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN RECTANGULAR. Para una conexión con una cartela dispuesta concéntricamente dentro de una ranura hecha al tubular.

ERW	HxB		Espesor	ϕP_n				
	U							
	pulg.	pulg.		0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
ERW	6,00	4,00	0,25	60153	64450	68747	73043	77340
			0,19	46125	49420	52714	56009	59304
			0,13	31423	33668	35912	38157	40402
	6,00	3,00	0,50	96425	103313	110200	117088	123975
			0,38	76359	81813	87268	92722	98176
			0,31	65316	69981	74647	79312	83978
			0,25	53599	57428	61256	65085	68914
			0,19	41210	44153	47097	50040	52984
			0,13	28146	30157	32167	34178	36188
	6,00	2,00	0,31	57123	61204	65284	69364	73444
			0,25	47045	50406	53766	57127	60487
			0,19	36294	38887	41479	44071	46664
			0,13	24869	26646	28422	30199	31975
	5,00	4,00	0,38	76359	81813	87268	92722	98176
			0,31	65316	69981	74647	79312	83978
			0,25	53599	57428	61256	65085	68914
			0,19	41210	44153	47097	50040	52984
	5,00	3,00	0,50	83317	89269	95220	101171	107122
0,38			66528	71280	76032	80784	85536	
0,31			57123	61204	65284	69364	73444	
0,25			47045	50406	53766	57127	60487	
0,19			36294	38887	41479	44071	46664	
0,13			24869	26646	28422	30199	31975	
5,00	2,00	0,31	48931	52426	55921	59416	62911	
		0,25	40491	43384	46276	49168	52060	
		0,19	31379	33620	35861	38103	40344	
		0,13	21592	23135	24677	26219	27762	
		0,31	48931	52426	55921	59416	62911	
4,00	3,00	0,25	40491	43384	46276	49168	52060	
		0,19	31379	33620	35861	38103	40344	
		0,13	21592	23135	24677	26219	27762	
		0,31	40738	43648	46558	49468	52378	
		0,25	33937	36361	38786	41210	43634	

ERW	HxB		Espesor	ϕP_n		
	U					
	pulg.	pulg.		0,70	0,75	0,80
ERW	4,00	2,00	0,19	26463	28353	30243
			0,13	18315	19624	20932
			0,31	32546	34871	37195
	3,00	2,00	0,25	27383	29339	31295
			0,19	21548	23087	24626
			0,13	15038	16113	17187
SAW	30,00	24,00	0,50	686287	735308	784328
			0,38	518755	555809	592863
	28,00	24,00	0,31	433979	464978	495977
			0,50	660071	707219	754367
			0,38	499093	534743	570392
	26,00	24,00	0,31	417594	447423	477251
			0,50	633855	679130	724406
			0,38	479431	513676	547921
	24,00	22,00	0,31	401209	429867	458525
			0,50	581423	622953	664483
			0,38	440107	471543	502980
	22,00	20,00	0,31	368439	394756	421073
			0,50	528991	566776	604561
			0,38	400783	429410	458038
	20,00	18,00	0,31	335669	359646	383622
			0,50	476558	510598	544638
			0,38	361459	387277	413096
	18,00	12,00	0,31	302899	324535	346170
0,50			371694	398244	424793	
0,38			282811	303011	323212	
16,00	12,00	0,31	237359	254313	271267	
		0,50	345478	370155	394832	
		0,38	263149	281945	300741	
14,00	12,00	0,31	220974	236758	252542	
		0,50	319262	342066	364871	
		0,38	243487	260878	278270	

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN CUADRADA. Para una conexión con una cartela dispuesta lateralmente dentro de una ranura hecha al tubular.

			ϕP_n				
HxB		Espesor	U				
pulg.		pulg.	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
16,00	16,00	0,50	443373	475042	506712	538381	570051
		0,38	336784	360840	384896	408952	433008
		0,31	282426	302599	322773	342946	363119
14,00	14,00	0,50	385115	412623	440131	467639	495148
		0,38	293091	314026	334961	355896	376831
		0,31	246015	263587	281160	298732	316305
12,00	12,00	0,63	401480	430157	458834	487512	516189
		0,50	326857	350204	373551	396898	420244
		0,38	249397	267211	285025	302839	320653
		0,31	209604	224575	239547	254519	269490
10,00	10,00	0,25	169101	181180	193258	205337	217416
		0,63	328658	352133	375609	399084	422560
		0,50	268599	287784	306970	326156	345341
		0,38	205704	220397	235090	249783	264476
		0,31	173192	185563	197934	210305	222676
8,00	8,00	0,25	139972	149970	159968	169966	179964
		0,19	106043	113617	121192	128766	136341
		0,63	255835	274109	292383	310657	328931
		0,50	210341	225365	240390	255414	270438
		0,38	162010	173582	185155	196727	208299
7,00	7,00	0,31	136781	146551	156321	166092	175862
		0,25	110843	118761	126678	134595	142513
		0,19	84196	90210	96224	102238	108252
		0,63	219424	235097	250770	266443	282117
		0,50	181212	194156	207099	220043	232987
6,00	6,00	0,38	140163	150175	160187	170199	180210
		0,31	118576	127045	135515	143985	152454
		0,25	96279	103156	110033	116910	123787
		0,19	73273	78506	83740	88974	94208
		0,63	183013	196085	209157	222230	235302
		0,50	152083	162946	173809	184672	195535
		0,38	118317	126768	135219	143670	152122
		0,31	100370	107539	114709	121878	129047
		0,25	81714	87551	93388	99224	105061
		0,19	62349	66803	71256	75710	80163
		0,13	42275	45295	48315	51334	54354

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN CUADRADA. Para una conexión con una cartela dispuesta lateralmente dentro de una ranura hecha al tubular.

			ϕP_n				
HxB		Espesor	U				
pulg.		pulg.	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
5,50	5,50	0,38	107569	115253	122936	130620	138303
		0,31	91128	97637	104146	110655	117164
		0,25	74432	79749	85065	90382	95698
		0,19	56888	60951	65014	69078	73141
		0,13	38634	41394	44153	46913	49672
5,00	5,00	0,50	122954	131736	140519	149301	158084
		0,38	96470	103361	110251	117142	124033
		0,31	82164	88033	93902	99771	105640
		0,25	67150	71946	76743	81539	86335
		0,19	51426	55099	58772	62446	66119
4,50	4,50	0,13	34993	37493	39992	42492	44991
		0,38	85547	91657	97768	103878	109989
		0,31	73062	78280	83499	88718	93936
		0,25	59867	64144	68420	72696	76972
		0,19	45964	49247	52531	55814	59097
4,00	4,00	0,13	31352	33591	35831	38070	40310
		0,50	93825	100527	107229	113930	120632
		0,38	74623	79954	85284	90614	95944
		0,31	63959	68527	73096	77664	82233
		0,25	52585	56341	60097	63853	67610
3,50	3,50	0,19	40503	43396	46289	49182	52075
		0,13	27711	29690	31669	33649	35628
		0,31	54856	58774	62693	66611	70529
		0,25	45303	48539	51775	55011	58247
		0,19	35041	37544	40047	42550	45053
3,00	3,00	0,13	24070	25789	27508	29227	30947
		0,31	45753	49021	52289	55557	58826
		0,25	38021	40737	43452	46168	48884
		0,19	29579	31692	33805	35918	38030
		0,13	20429	21888	23347	24806	26265
2,50	2,50	0,31	36650	39268	41886	44504	47122
		0,25	30738	32934	35130	37325	39521
		0,19	24118	25840	27563	29286	31008
		0,13	16787	17987	19186	20385	21584
		0,31	27548	29515	31483	33451	35418
2,00	2,00	0,25	23456	25132	26807	28483	30158
		0,19	18656	19988	21321	22654	23986
		0,13	13146	14085	15024	15963	16902

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN CUADRADA. Para una conexión con una cartela dispuesta lateralmente dentro de una ranura hecha al tubular.

			ϕP_n				
HxB		Espesor	U				
pulg.		pulg.	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
1,50	1,50	0,19	13194	14137	15079	16021	16964
30,00	30,00	0,63	1056882	1132374	1207865	1283357	1358848
28,00	28,00	0,63	984060	1054350	1124640	1194929	1265219
26,00	26,00	0,63	911237	976326	1041414	1106502	1171591
24,00	24,00	0,63	838415	898301	958188	1018075	1077962
24,00	24,00	0,50	676404	724719	773034	821348	869663
		0,38	511558	548098	584638	621177	657717
22,00	22,00	0,63	765592	820277	874963	929648	984333
		0,50	618147	662300	706453	750607	794760
		0,38	467864	501283	534702	568121	601540
20,00	20,00	0,63	692770	742253	791737	841221	890704
		0,50	559889	599881	639873	679865	719857
		0,38	424171	454469	484767	515065	545363
18,00	18,00	0,63	619947	664229	708511	752793	797075
		0,50	501631	537461	573292	609123	644954
		0,38	380478	407654	434831	462008	489185
16,00	16,00	0,63	547125	586205	625286	664366	703446
		0,50	443373	475042	506712	538381	570051
		0,38	336784	360840	384896	408952	433008
		0,31	282426	302599	322773	342946	363119
14,00	14,00	0,63	474303	508181	542060	575939	609818
		0,50	385115	412623	440131	467639	495148
		0,38	293091	314026	334961	355896	376831
12,00	12,00	0,50	326857	350204	373551	396898	420244
		0,38	249397	267211	285025	302839	320653

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN RECTANGULAR. Para una conexión con una cartela dispuesta lateralmente dentro de una ranura hecha al tubular.

	HxB		Espesor	ϕP_n				
	U			0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
	pulg.	pulg.	pulg.					
ERW	20,00	12,00	0,50	442122	473703	505283	536863	568443
			0,38	336081	360087	384092	408098	432104
			0,31	281938	302076	322215	342353	362491
	20,00	8,00	0,50	383865	411283	438702	466121	493540
			0,38	292387	313272	334157	355042	375927
			0,31	245527	263064	280602	298139	315677
	20,00	4,00	0,50	325607	348864	372122	395379	418637
			0,38	248694	266458	284222	301985	319749
			0,31	209115	224052	238989	253926	268863
	18,00	6,00	0,50	325607	348864	372122	395379	418637
			0,38	248694	266458	284222	301985	319749
			0,31	209115	224052	238989	253926	268863
			0,25	168789	180845	192901	204958	217014
	16,00	12,00	0,50	383865	411283	438702	466121	493540
			0,38	292387	313272	334157	355042	375927
			0,31	245527	263064	280602	298139	315677
	16,00	8,00	0,50	325607	348864	372122	395379	418637
			0,38	248694	266458	284222	301985	319749
			0,31	209115	224052	238989	253926	268863
	16,00	4,00	0,50	267349	286445	305541	324638	343734
			0,38	205000	219643	234286	248929	263572
			0,31	172704	185040	197376	209712	222048
	14,00	10,00	0,50	325607	348864	372122	395379	418637
			0,38	248694	266458	284222	301985	319749
			0,31	209115	224052	238989	253926	268863
	14,00	6,00	0,63	326704	350040	373376	396712	420048
			0,50	267349	286445	305541	324638	343734
			0,38	205000	219643	234286	248929	263572
			0,31	172704	185040	197376	209712	222048
			0,25	139660	149635	159611	169587	179562
14,00	4,00	0,63	290293	311028	331763	352499	373234	
		0,50	238220	255235	272251	289267	306282	
		0,38	183154	196236	209319	222401	235483	
		0,31	154498	165534	176570	187605	198641	
		0,25	125095	134030	142966	151901	160837	
		0,19	94944	101725	108507	115289	122070	

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN RECTANGULAR. Para una conexión con una cartela dispuesta lateralmente dentro de una ranura hecha al tubular.

	HxB		Espesor	ϕP_n				
				U				
	pulg.	pulg.	pulg.	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
ERW	12,00	10,00	0,50	296478	317655	338832	360009	381185
			0,38	226847	243051	259254	275457	291661
			0,31	190910	204546	218183	231819	245455
			0,25	154224	165240	176256	187272	198288
	12,00	8,00	0,63	326704	350040	373376	396712	420048
			0,50	267349	286445	305541	324638	343734
			0,38	205000	219643	234286	248929	263572
			0,31	172704	185040	197376	209712	222048
	12,00	6,00	0,25	139660	149635	159611	169587	179562
			0,19	105867	113429	120991	128553	136115
			0,63	290293	311028	331763	352499	373234
			0,50	238220	255235	272251	289267	306282
	12,00	4,00	0,38	183154	196236	209319	222401	235483
			0,31	154498	165534	176570	187605	198641
			0,25	125095	134030	142966	151901	160837
			0,19	94944	101725	108507	115289	122070
	12,00	3,00	0,63	253882	272016	290151	308285	326419
			0,50	209091	224026	238961	253896	268831
			0,38	161307	172829	184351	195873	207395
			0,31	136293	146028	155763	165498	175234
	12,00	2,00	0,25	110531	118426	126321	134216	142111
			0,19	84020	90022	96023	102025	108026
			0,31	127190	136275	145360	154445	163530
			0,25	103248	110623	117998	125373	132748
	10,00	8,00	0,19	78559	84170	89781	95392	101004
			0,25	95966	102821	109676	116530	123385
			0,19	73097	78318	83539	88760	93982
			0,50	238220	255235	272251	289267	306282
	10,00	6,00	0,38	183154	196236	209319	222401	235483
			0,31	154498	165534	176570	187605	198641
			0,25	125095	134030	142966	151901	160837
			0,19	94944	101725	108507	115289	122070
	10,00	3,00	0,50	209091	224026	238961	253896	268831
			0,38	161307	172829	184351	195873	207395
			0,31	136293	146028	155763	165498	175234
			0,25	110531	118426	126321	134216	142111
10,00	2,00	0,19	84020	90022	96023	102025	108026	

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN RECTANGULAR. Para una conexión con una cartela dispuesta lateralmente dentro de una ranura hecha al tubular.

	HxB		Espesor	ϕP_n				
				U				
	pulg.		pulg.	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
ERW	10,00	5,00	0,38	150384	161125	171867	182609	193350
			0,31	127190	136275	145360	154445	163530
			0,25	103248	110623	117998	125373	132748
			0,19	78559	84170	89781	95392	101004
	10,00	4,00	0,50	179962	192816	205671	218525	231379
			0,38	139460	149422	159383	169345	179306
			0,31	118087	126522	134957	143392	151826
			0,25	95966	102821	109676	116530	123385
	10,00	3,00	0,19	73097	78318	83539	88760	93982
			0,25	88684	95018	101353	107688	114022
	10,00	2,00	0,19	67635	72466	77297	82128	86959
			0,31	99882	107016	114150	121285	128419
	8,00	6,00	0,25	81402	87216	93030	98845	104659
			0,19	62173	66614	71055	75496	79937
			0,50	179962	192816	205671	218525	231379
			0,38	139460	149422	159383	169345	179306
	8,00	4,00	0,31	118087	126522	134957	143392	151826
			0,25	95966	102821	109676	116530	123385
			0,19	73097	78318	83539	88760	93982
			0,63	181059	193992	206925	219858	232791
	8,00	3,00	0,50	150833	161607	172380	183154	193928
			0,38	117614	126014	134415	142816	151217
			0,31	99882	107016	114150	121285	128419
			0,25	81402	87216	93030	98845	104659
			0,19	62173	66614	71055	75496	79937
			0,13	42197	45211	48225	51239	54253
			0,50	136268	146002	155735	165469	175202
	8,00	2,00	0,38	106690	114311	121932	129552	137173
			0,31	90779	97263	103747	110231	116716
			0,25	74119	79414	84708	90002	95296
			0,19	56712	60763	64813	68864	72915
			0,13	38556	41310	44064	46818	49572
	8,00	2,00	0,31	81676	87510	93344	99178	105012
			0,25	66837	71611	76385	81159	85933
			0,19	51250	54911	58572	62232	65893
			0,13	34915	37409	39903	42397	44891

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN RECTANGULAR. Para una conexión con una cartela dispuesta lateralmente dentro de una ranura hecha al tubular.

	HxB		Espesor	ϕP_n				
				U				
	pulg.	pulg.	pulg.	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
ERW	7,00	5,00	0,50	150833	161607	172380	183154	193928
			0,38	117614	126014	134415	142816	151217
			0,31	99882	107016	114150	121285	128419
			0,25	81402	87216	93030	98845	104659
			0,19	62173	66614	71055	75496	79937
			0,13	42197	45211	48225	51239	54253
	7,00	4,00	0,38	106690	114311	121932	129552	137173
			0,31	90779	97263	103747	110231	116716
			0,25	74119	79414	84708	90002	95296
			0,19	56712	60763	64813	68864	72915
			0,13	38556	41310	44064	46818	49572
			0,09	26370	27859	29145	30327	31509
	7,00	3,00	0,38	95767	102607	109448	116288	123129
			0,31	81676	87510	93344	99178	105012
			0,25	66837	71611	76385	81159	85933
			0,19	51250	54911	58572	62232	65893
			0,13	34915	37409	39903	42397	44891
			0,09	24226	25459	26692	27925	29158
	6,00	4,00	0,50	121704	130397	139090	147783	156476
			0,38	95767	102607	109448	116288	123129
			0,31	81676	87510	93344	99178	105012
			0,25	66837	71611	76385	81159	85933
			0,19	51250	54911	58572	62232	65893
			0,13	34915	37409	39903	42397	44891
	6,00	3,00	0,50	107139	114792	122445	130098	137751
			0,38	84843	90904	96964	103024	109084
			0,31	72573	77757	82941	88125	93308
			0,25	59555	63809	68063	72317	76571
			0,19	45788	49059	52330	55600	58871
			0,13	31274	33508	35741	37975	40209
6,00	2,00	0,31	63470	68004	72538	77071	81605	
		0,25	52273	56006	59740	63474	67208	
		0,19	40327	43207	46088	48968	51849	
		0,13	27633	29606	31580	33554	35528	
5,00	4,00	0,38	84843	90904	96964	103024	109084	
		0,31	72573	77757	82941	88125	93308	
		0,25	59555	63809	68063	72317	76571	
		0,19	45788	49059	52330	55600	58871	

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN RECTANGULAR. Para una conexión con una cartela dispuesta lateralmente dentro de una ranura hecha al tubular.

	HxB		Espesor	ϕP_n				
				U				
	pulg.		pulg.	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
ERW	5,00	3,00	0,50	92575	99187	105800	112412	119025
			0,38	73920	79200	84480	89760	95040
			0,31	63470	68004	72538	77071	81605
			0,25	52273	56006	59740	63474	67208
			0,19	40327	43207	46088	48968	51849
	5,00	2,00	0,13	27633	29606	31580	33554	35528
			0,31	54368	58251	62134	66018	69901
			0,25	44990	48204	51418	54631	57845
			0,19	34865	37355	39846	42336	44827
	4,00	3,00	0,13	23992	25705	27419	29133	30846
			0,31	54368	58251	62134	66018	69901
			0,25	44990	48204	51418	54631	57845
			0,19	34865	37355	39846	42336	44827
	4,00	2,00	0,13	23992	25705	27419	29133	30846
			0,31	45265	48498	51731	54964	58198
			0,25	37708	40402	43095	45789	48482
			0,19	29403	31504	33604	35704	37804
	3,00	2,00	0,13	20350	21804	23258	24711	26165
			0,31	36162	38745	41328	43911	46494
			0,25	30426	32599	34773	36946	39119
0,19			23942	25652	27362	29072	30782	
			0,13	16709	17903	19096	20290	21483

Resistencia a Tracción Axial. Perfiles fabricados en el exterior. SECCIÓN RECTANGULAR. Para una conexión con una cartela dispuesta lateralmente dentro de una ranura hecha al tubular.

				ϕP_n				
	HxB		Espesor	U				
	pulg.	pulg.	pulg.	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90
SAW	30,00	24,00	0,50	762541	817008	871476	925943	980410
			0,38	576395	617566	658737	699908	741079
			0,31	482199	516642	551085	585528	619971
	28,00	24,00	0,50	733412	785799	838185	890572	942959
			0,38	554548	594159	633769	673380	712990
			0,31	463994	497136	530279	563421	596564
	26,00	24,00	0,50	704283	754589	804895	855201	905507
			0,38	532701	570751	608802	646852	684902
			0,31	445788	477630	509472	541314	573156
	24,00	22,00	0,50	646025	692170	738315	784459	830604
			0,38	489008	523937	558866	593795	628724
			0,31	409377	438618	467859	497101	526342
	22,00	20,00	0,50	587767	629751	671734	713717	755701
			0,38	445314	477123	508931	540739	572547
			0,31	372966	399606	426247	452887	479527
	20,00	18,00	0,50	529509	567332	605154	642976	680798
			0,38	401621	430308	458995	487683	516370
			0,31	336555	360594	384634	408673	432713
	18,00	12,00	0,50	412994	442493	471993	501492	530992
			0,38	314234	336679	359125	381570	404015
			0,31	263732	282570	301408	320246	339084
	16,00	12,00	0,50	383865	411283	438702	466121	493540
			0,38	292387	313272	334157	355042	375927
			0,31	245527	263064	280602	298139	315677
14,00	12,00	0,50	354736	380074	405412	430750	456089	
		0,38	270541	289865	309189	328514	347838	

TABLA A.5 Resistencia a Flexión. Tubos Estructurales fabricados en el exterior. Sección Circular.

Diámetro			Diámetro			Diámetro		
Externo	Espesor	ϕ Mn	Externo	Espesor	ϕ Mn	Externo	Espesor	ϕ Mn
pulg.	mm.	Kg f	pulg.	mm.	Kg f	pulg.	mm.	Kg f
ERW			ERW			ERW		
20	0,500	8974846		0,250	827811		0,312	324088
20	0,375	6596124		0,188	631682		0,250	266453
	0,250	4178697		0,125	395160		0,188	205552
18	0,500	7228645	7	0,500	998953		0,125	140232
	0,375	5428647		0,375	777605	4,5	0,237	203479
	0,250	3424844		0,312	659105		0,188	165076
16	0,500	5671222		0,250	537822		0,125	112948
	0,375	4321627		0,188	411822	4	0,250	166164
	0,250	2745189		0,125	267467		0,226	152098
14	0,500	4302577	6,625	0,500	887235		0,188	129035
	0,438	3803340		0,432	783217		0,125	88613
	0,375	3286295		0,375	692157	3,5	0,300	145407
	0,250	2139735		0,312	587317		0,250	124869
12,75	0,500	3543039		0,280	532348		0,216	110098
	0,365	2643037		0,250	479751		0,188	97431
	0,375	2711110		0,188	367740		0,125	67228
10,75	0,500	2481160		0,125	241478	2,875	0,276	88317
	0,365	1858563	6	0,500	715785		0,250	81546
	0,250	1301048		0,375	560805		0,203	68532
10	0,625	2596319		0,312	476872		0,188	64164
	0,500	2131624		0,250	390339		0,125	44644
	0,375	1640382		0,188	299815	2,375	0,250	53524
	0,312	1382501		0,125	201061		0,218	48031
	0,250	1121856	5,563	0,375	477177		0,188	42542
	0,188	827035		0,258	342946		0,154	35909
	0,125	522337		0,134	186434		0,125	29896
9,625	0,500	1966812	5,5	0,500	591899	SAW		
	0,375	1515114		0,375	465678	16	0,188	1998153
	0,312	1277582		0,312	396799		0,125	1282486
	0,250	1037237		0,250	325446	14	0,188	1551983
	0,188	770515		0,188	250465		0,125	992007
8,625	0,500	1559758		0,125	170466	12,75	0,188	1301461
	0,375	1205399	5	0,500	479812		0,125	829295
	0,322	1048181		0,375	379401			

Resistencia a Flexión. Tubos Estructurales fabricados en el exterior. Sección Cuadrada.

HxB	Espesor	ϕMn	HxB	Espesor	ϕMn	HxB	Espesor	ϕMn			
pulg.	pulg.	Kg f	pulg.	pulg.	Kg f	pulg.	pulg.	Kg f			
ERW			ERW			ERW					
16	16	1/2	9031224	6	6	1/4	613459	2 1/2	2 1/2	5/16	92076
		3/8	6942551			3/16	476256			1/4	84057
		5/16	5855058			1/8	328046			3/16	70491
14	14	1/2	6814589	5 1/2	5 1/2	3/8	704508			1/8	51726
		3/8	5260156			5/16	608241	2	2	5/16	48008
		5/16	4444762			1/4	508794			1/4	47143
12	12	5/8	5914431			3/16	396513			3/16	41560
		1/2	4907668			1/8	274054			1/8	31609
		3/8	3810048	5	5	1/2	672457	1 1/2	1 1/2	3/16	19888
		5/16	3228039			3/8	563926	30	30	5/8	41005707
		1/4	2624365			5/16	493890	28	28	5/8	35558099
10	10	5/8	3951122			1/4	413808	26	26	5/8	30497635
		1/2	3310464			3/16	324028	24	24	5/8	25824316
		3/8	2592226			1/8	224901			1/2	20994922
		5/16	2204889	4 1/2	4 1/2	3/8	440944			3/8	15994998
		1/4	1799205			5/16	389331	22	22	5/8	21538141
		3/16	1375525			1/4	328501			1/2	17539424
8	8	5/8	2374958			3/16	258803			3/8	13383456
		1/2	2022974			1/8	180587	20	20	5/8	17639110
		3/8	1606691	4	4	1/2	377143			1/2	14393642
		5/16	1375310			3/8	332480			3/8	11004201
		1/4	1128903			5/16	296870	18	18	5/8	14127224
		3/16	867819			1/4	252872			1/2	11557575
7	7	5/8	1732054			3/16	200836			3/8	8857233
		1/2	1495373			1/8	141113	16	16	5/8	11002482
		3/8	1201031	3 1/2	3 1/2	5/16	216507			1/2	9031224
		5/16	1033110			1/4	186922			3/8	6942551
		1/4	851824			3/16	150129			5/16	5855058
		3/16	657520			1/8	106478	14	14	5/8	8264884
6	6	5/8	1185937	3	3	5/16	148242			1/2	6814589
		1/2	1045201			1/4	130650			3/8	5260156
		3/8	853442			3/16	106680	12	12	1/2	4907668
		5/16	739304			1/8	76682			3/8	3810048

Resistencia a Flexión. Tubos Estructurales fabricados en el exterior. Sección Rectangular.

HxB	Espesor	φMn	
mm.	pulg.	Kg f	
ERW			
20	12	1/2	10368825
		3/8	7959513
		5/16	6709601
20	8	1/2	8355674
		3/8	6439971
		5/16	5439283
20	4	1/2	6342524
		3/8	4920429
		5/16	4168966
18	6	1/2	6143470
		3/8	4760069
		5/16	4030719
		1/4	3276021
16	12	1/2	7441374
		3/8	5732105
		5/16	4840170
16	8	1/2	5841177
		3/8	4522279
		5/16	3827948
16	4	1/2	4240981
		3/8	3312453
		5/16	2815727
14	10	1/2	5435646
		3/8	4207060
		5/16	3560654

HxB	Espesor	φMn	
mm.	pulg.	Kg f	
ERW			
14	6	5/8	4853825
		1/2	4041927
		3/8	3152092
		5/16	2677480
		1/4	2182824
14	4	5/8	3990816
		1/2	3345067
		3/8	2624608
		5/16	2235894
		1/4	1827941
		3/16	1400563
12	10	1/2	4333256
		3/8	3364357
		5/16	2851772
10	4	3/8	2320180
		5/16	4494411
		1/4	3739634
		3/16	2914302
10	3	1/4	2474710
		3/16	2016917
10	2	5/16	1540737
		1/4	3760449
		3/16	3146013
8	6	1/2	2464247
		3/8	2097647
		5/16	1713654

HxB	Espesor	φMn	
mm.	pulg.	Kg f	
ERW			
8	6	1/4	930172
		3/16	716513
8	4	5/8	1484977
		1/2	1276756
		3/8	1025646
		5/16	883538
		1/4	730147
		3/16	565285
		1/8	388764
8	3	1/2	1083184
		3/8	878047
		5/16	759531
		1/4	630135
		3/16	489671
		1/8	337952
8	2	5/16	635524
		1/4	530123
		3/16	414057
		1/8	287139
7	5	1/2	1190134
		3/8	955144
		5/16	822481
		1/4	679456
		3/16	525883
		1/8	361574
7	4	3/8	826902

HxB	Espesor	φMn	
mm.	pulg.	Kg f	
ERW			
7	4	5/16	714604
		1/4	592348
		3/16	459947
		1/8	317213
7	3	3/8	698661
		5/16	606728
		1/4	505241
		3/16	394011
		1/8	272853
6	4	1/2	793797
		3/8	647516
		5/16	561801
		1/4	467454
		3/16	364288
		1/8	252115
6	3	1/2	651844
		3/8	538632
		5/16	470056
		1/4	393252
		3/16	308031
12	10	1/4	214207
12	8	5/8	378311
		1/2	319049
		3/8	251774
		5/16	176299
		1/4	487487

Resistencia a Flexión. Tubos Estructurales fabricados en el exterior. Sección Rectangular.

HxB	Espesor	φMn	
mm.	pulg.	Kg f	
ERW			
12	8	3/16	1540737
12	6	5/8	3760449
		1/2	3146013
		3/8	2464247
		5/16	2097647
		1/4	1713654
12	4	3/16	1312080
		5/8	3026488
		1/2	2552391
		3/8	2014191
		5/16	1720585
12	3	1/4	1410391
		3/16	1083422
		5/16	1532053
		1/4	1258759
		3/16	969094
12	2	1/4	1107128
		3/16	854765
		1/2	2843721
10	8	3/8	2226457
		5/16	1894876
		1/4	1547747
		3/16	1184882
		1/2	2353338
10	6	3/8	1853830

HxB	Espesor	φMn	
mm.	pulg.	Kg f	
ERW			
10	6	5/16	1582338
		1/4	1296103
10	5	3/16	994939
		3/8	1667517
		5/16	1426069
		1/4	1170281
		3/16	899968
10	4	1/2	1862955
		6	3
6	2	5/16	1269799
		1/4	1044459
		3/16	804996
		1/8	918637
		3/8	710025
5	4	5/16	957261
		1/4	792815
		3/16	615054
5	3	1/2	1663901
		3/8	1320843
		5/16	1131553
5	2	1/4	930172
		3/16	716513
		1/8	1484977
		5/16	1276756
		1/4	1025646

HxB	Espesor	φMn	
mm.	pulg.	Kg f	
ERW			
5	2	3/16	185151
		1/8	130557
4	3	5/16	245105
		1/4	207988
		3/16	165105
		1/8	116271
4	2	5/16	185622
		1/4	159595
		3/16	128206
		1/8	91268
3	2	5/16	113474
		1/4	99225
		3/16	80939
		1/8	58432

HxB	Espesor	φMn	
mm.	pulg.	Kg f	
SAW			
30	24	1/2	28630734
		3/8	21764529
		5/16	18259025
28	24	1/2	25979766
		3/8	19760393
		5/16	16582282
		1/2	23432036
		3/8	17833686
24	22	5/16	14970064
		1/2	19774492
		3/8	15069779
		5/16	12658163
		1/2	16426664
22	20	3/8	12538159
		5/16	10539834
		1/2	13388551
20	18	3/8	10238825
		5/16	8615077
		1/2	8853480
18	12	3/8	6807095
		5/16	5742623
		1/2	7441374
16	12	3/8	5732105
		5/16	4840170
		1/2	6132506
14	12	3/8	4734544