



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE CONEXIONES TÍPICAS PARA CERCHAS CON ELEMENTOS TUBULARES

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO CIVIL

Realizado por: González Hernández, María Daniela
Osteicoechea Camargo, Victoria Alejandra

Profesor Guía: Velásquez Flores, José Manuel

Octubre de 2010

AGRADECIMIENTOS

Ante todo a nuestros padres, por ser nuestro pilar primordial en los momentos importantes y no tan importantes durante el transcurso de nuestras vidas.

Por todos aquellos consejos y regaños que nos llevaron por el camino que nos condujo a lograr esta meta.

Por el orgullo que sentimos al despertar cada día y saber que están ahí para apoyarnos, guiarnos y comprendernos, mañana, tarde y noche, brindándonos el afecto, cariño y amor necesario, acompañados de un “Sí se puede”, que nos ha llenado de fuerza y voluntad para seguir nuestro camino.

A ellos debemos la vida y agradecemos a Dios, su presencia.

Agradecemos a Jonathan Torres por el apoyo brindado en todo momento, su infaltable compañía y por siempre buscar dibujar en nosotras una sonrisa, dándonos ánimos a cada instante.

Finalmente, damos gracias a nuestro Tutor, el Ing. José Manuel Velásquez, por todos los conocimientos transmitidos y ayuda ofrecida. Asimismo, agradecemos al Ing. José Gerardo Castillo, quien de una u otra forma, aportó sus conocimientos para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
RESUMEN.....	viii
NOTACIÓN Y UNIDADES.....	ix
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I.....	3
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
2.2 Objetivo General	4
2.3 Objetivos Específicos.....	4
3. JUSTIFICACIÓN	4
4. ALCANCE Y LIMITACIONES	5
5. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
CAPÍTULO II	7
MARCO DE REFERENCIA CONCEPTUAL	7
1. SECCIONES ESTRUCTURALES TUBULARES (SET).....	7
1.1. Generalidades sobre el uso de Secciones Estructurales Tubulares	7
1.2. Clasificación de las SET según su Forma Estructural	8
1.3. Ventajas de las SET	8
1.3.1. Facilidad de Detalle, Construcción y Ensamblaje.....	8
1.3.2. Apariencia Estética.....	8
1.3.3. Minimización del Área Superficial	9
2. MATERIALES	9
2.1 Dimensiones y Propiedades Estáticas de los Tubos Estructurales CONDUVEN ECO.....	10
3. CONEXIONES CON ELEMENTOS TUBULARES	17
3.1. Tipos de conexiones entre SET en cerchas	17
3.2. Elementos de Refuerzo	18
3.2.1. Cartelas.....	19
3.2.2. Camisas o Collares.....	21

4.	SOLDADURAS	22
4.1.	Tipos de Juntas.....	22
4.2.	Tipos de Soldaduras.....	23
4.2.2	Soldaduras en ranura	24
4.3.	Soldaduras entre SET	25
4.4.	Longitud Efectiva Le.....	25
5.	CERCHAS O CELOSÍAS	26
5.1.	Tipos de Cerchas	27
5.1.1	Cerchas Tipo Howe	27
5.1.1.1	Cercha Howe Triangular	27
5.1.1.2	Cercha Howe Horizontal	28
5.1.2	Cerchas Tipo Pratt	28
5.1.2.1	Cercha Pratt Triangular	28
5.1.2.2	Cercha Pratt Horizontal	28
5.1.3	Cerchas Tipo Warren	29
5.2.	Cerchas Tridimensionales	29
6.	DESARROLLO DE LOS PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO.....	31
6.1.	Consideraciones Generales	31
6.2.	Procedimientos de diseño.....	31
6.3.	Procedimiento Detallado de Diseño	32
6.3.1.	Conexiones Tipo T y Y	34
6.3.2.	Conexiones Tipo K.....	36
7.	PLANTILLAS PARA EL CORTE DE LAS SET	37
7.1.	Métodos para realizar una plantilla	38
8.	ORDEN DE ENSAMBLAJE	42
CAPÍTULO III		46
MARCO METODOLÓGICO.....		46
1.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	46
2.	OPERACIONALIZACIÓN DE LOS OBJETIVOS DEL TRABAJO ESPECIAL DE GRADO....	47
3.	FASES DE LA INVESTIGACIÓN	48
4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	49
CAPÍTULO IV		50
DISEÑOS DE CONEXIONES		50
1.	GENERALIDADES	50
2.	DISEÑO DE CONEXIONES TÍPICAS PARA CERCHAS CON ELEMENTOS TUBULARES ..	51

2.1.	Conexión Tipo K con Cordón Principal a Compresión	52
2.2.	Conexión Tipo Y con Cordón Principal a Tracción.....	59
2.3.	Conexión Tipo T con Cordón Principal a Compresión.....	66
2.4.	Conexión Tipo K con Cordón Principal a Tracción.....	72
2.5.	Conexión Típica Tipo Y con Cordón Principal a Compresión	79
CAPITULO V.....		98
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		98
1.	CONCLUSIONES	98
2.	RECOMENDACIONES.....	99
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		100
APÉNDICE.....		101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1.	Conexión tipo T entre SET.....	17
Figura 2-2.	Conexión tipo Y entre SET	17
Figura 2-3.	Conexión tipo K entre SET	18
Figura 2-4.	Cartela soldada para proporcionar longitud adicional de soldadura de filete a las SET	19
Figura 2-5.	Cartela que permite transmitir toda la carga al miembro principal	20
Figura 2-6.	Cartela soldada que proporciona fuerza a través del cordón principal cuando otros miembros están conectados a los lados del mismo.....	20
Figura 2-7.	Camisa o collar que aumenta el espesor del miembro principal cuando éste no es adecuado.	21
Figura 2-8.	Concentración y distribución de esfuerzos en conexiones en las SET...	22
Figura 2-9.	Tipos de Juntas Soldadas.....	23
Figura 2-10.	Tipos de Soldaduras	23
Figura 2-11.	Formas de Soldaduras de Preparación.....	24
Figura 2-12.	Cercha Tipo Howe Triangular.....	27
Figura 2-13.	Cercha Tipo Howe Horizontal	28
Figura 2-14.	Cercha Tipo Pratt Triangular.....	28
Figura 2-15.	Cercha Tipo Pratt Horizontal	29
Figura 2-16.	Cercha Tipo Warren	29
Figura 2-17.	Cercha Tridimensional	30
Figura 2-18.	Cercha que contiene tres planos	30
Figura 2-19.	Método gráfico	39
Figura 2-20.	Plantillas para Conexiones T y Y	40
Figura 2-21.	Orden de ensamblaje	43
Figura 2-22.	Unión de Miembros a Tracción y Compresión al cordón principal	44
Figura 2-23.	Casos de excentricidad en conexiones entre SET	45
Figura 4-1.	Cercha Tipo Warren 10 Paneles.	52
Figura 4-2.	Representación de la conexión más desfavorable.	53
Figura 4-3.	Detalle Conexión Tipo K	54
Figura 4-4.	Cercha Tipo Howe 10 Paneles.	59
Figura 4-5.	Representación de los miembros que conforman la conexión Y	60

Figura 4-6.	Detalle Conexión Tipo Y	61
Figura 4-7.	Cercha Tipo Pratt 10 Paneles.	66
Figura 4-8.	Cercha Tipo Pratt 10 Paneles.	67
Figura 4-9.	Detalle Conexión Tipo T.....	68
Figura 4-10.	Cercha Tipo Howe 10 Paneles.	72
Figura 4-11.	Representación de la conexión más desfavorable.	73
Figura 4-12.	Detalle Conexión Tipo K	74
Figura 4-13.	Cercha Tipo Pratt 10 Paneles.	79
Figura 4-14.	Representación de los miembros que conforman la conexión Y.	80
Figura4-15.	Detalle Conexión Tipo Y	81
Figura 4-16.	Cercha Tipo Pratt 10 Paneles.	86
Figura 4-17.	Representación de la conexión más desfavorable.	88
Figura 4-18.	Detalle Conexión Tipo K	89
Figura 4-19.	Cercha Tipo Pratt 10 Paneles.	94
Figura 4-20.	Representación de la conexión más desfavorable.	96
Figura 4-21.	Detalle Conexión Tipo T.....	96

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1.	Magnitudes Mínimas de Propiedades a Tracción de SET	9
Tabla 2-2.	Tubo estructural, sección circular	11
Tabla 2-3.	Propiedades geométricas y estáticas, sección circular	12
Tabla 2-4.	Tubo estructural, Sección cuadrada	13
Tabla 2-5.	Propiedades geométricas y estáticas, sección cuadrada.....	14
Tabla 2-6.	Tubo estructural, sección rectangular	15
Tabla 2-7.	Propiedades geométricas y estáticas, sección rectangular	16
Tabla 2-8.	Tamaño mínimo de soldadura de filete.....	24
Tabla 2-9.	Espesor mínimo de la garganta efectiva de soldaduras de ranura de penetración parcial.	25
Tabla 2-10.	Longitud Efectiva de las Soldaduras de Filete y en Ranura	26
Tabla 2-11.	Verificación de los Estados Límites	34
Tabla 2-12.	Verificación de los Estados Límites	36
Tabla 2-13.	Propiedades de los ángulos polares para 12 posiciones.....	41
Tabla 2-14.	Propiedades de los ángulos polares para 16 posiciones.....	42
Tabla 4-1.	Propiedades geométricas de las SET CONDUVEN ECO.	52
Tabla 4-2.	Fuerzas Axiales Totales	53
Tabla 4-3.	Límites de Aplicabilidad para SET Cuadradas	54
Tabla 4-4.	Límites de Aplicabilidad para SET Cuadradas	55
Tabla 4-5.	Verificación por Tracción	56
Tabla 4-6.	Verificación por Compresión.....	57
Tabla 4-7.	Estado Límite de Plastificación de pared del cordón.....	58
Tabla 4-8.	Propiedades geométricas de las SET CONDUVEN ECO	60
Tabla 4-9.	Fuerzas Axiales Totales	61
Tabla 4-10.	Límites de aplicabilidad para SET circular.....	62
Tabla 4-11.	Verificación por Tracción	63
Tabla 4-12.	Verificación por Compresión.....	64
Tabla 4-13.	Estado Límite de Plastificación de pared del cordón.....	65
Tabla 4-14.	Propiedades geométricas de las SET CONDUVEN ECO.	67
Tabla 4-15.	Fuerzas Axiales Totales	68

Tabla 4-16.	Límites de Aplicabilidad SET Cuadradas.....	69
Tabla 4-17.	Verificación por Compresión.....	70
Tabla 4-18.	Estado Límite de Plastificación de pared del cordón.....	71
Tabla 4-19.	Propiedades geométricas de las SET CONDUVEN ECO.....	72
Tabla 4-20.	Fuerzas Axiales Totales.....	73
Tabla 4-21.	Límites de Aplicabilidad para SET Cuadradas.....	75
Tabla 4-22.	Verificación por tracción para cordón principal.....	76
Tabla 4-23.	Verificación por tracción para miembro secundario.....	76
Tabla 4-24.	Verificación por Compresión.....	77
Tabla 4-25.	Estado Límite de Plastificación de pared del cordón.....	78
Tabla 4-26.	Propiedades geométricas de las SET CONDUVEN ECO.....	80
Tabla 4-27.	Fuerzas Axiales Totales.....	81
Tabla 4-28.	Límites de Aplicabilidad para SET Cuadradas.....	82
Tabla 4-29.	Verificación por tracción.....	83
Tabla 4-30.	Verificación por Compresión.....	84
Tabla 4-31.	Estado Límite de Plastificación de pared del cordón.....	85
Tabla 4-32.	Estado Límite de Resistencia de Paredes Laterales.....	86
Tabla 4-33.	Propiedades geométricas de las SET CONDUVEN ECO.....	87
Tabla 4-34.	Fuerzas Axiales Totales.....	88
Tabla 4-35.	Límites de Aplicabilidad con SET Cuadradas.....	90
Tabla 4-36.	Verificación por tracción para miembro secundario.....	91
Tabla 4-37.	Verificación por tracción para miembro secundario.....	91
Tabla 4-38.	Verificación por Compresión.....	92
Tabla 4-39.	Estado Límite de Plastificación de pared del cordón.....	93
Tabla 4-40.	Estado Límite de Resistencia de Paredes Laterales.....	94
Tabla 4-41.	Propiedades geométricas de las SET CONDUVEN ECO.....	95
Tabla 4-42.	Fuerzas Axiales Totales.....	96
Tabla 4-43.	Fuerzas Axiales Totales.....	97

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Diseño de Conexiones Típicas para Cerchas con Elementos Tubulares

Autores: Br. María Daniela González / Br. Victoria Osteicoechea

Tutor: Ing. José Manuel Velásquez

Fecha: octubre 2010

RESUMEN

El diseño de conexiones en estructuras de acero, resulta ser uno de los factores de mayor importancia al momento de diseñar las estructuras, debido que se han determinado, a través de criterios de diseño desarrollados en base a resultados experimentales durante muchos años, que el diseño mal ejecutado puede ser la causa de la posible falla parcial o total de la misma. Conjuntamente el uso de elementos tubulares para el diseño de conexiones típicas en cerchas es un proceso que demanda mayor cuidado y dedicación por parte del Ingeniero Estructural, ya que requiere gran cantidad de tiempo para realizar los cálculos y verificaciones necesarias, tomando en cuenta que el comportamiento de las conexiones para secciones tubulares en general es muy complejo y no es posible el análisis teórico.

Por tales motivos, se consideró como objetivo principal de este Trabajo Especial de Grado el *Diseñar Conexiones Típicas para Cerchas con Elementos Tubulares*. Para el cumplimiento de este objetivo, la investigación se definió como *Investigación Documental* basada en la obtención y revisión de los requisitos que establece las Especificaciones LRFD (*Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Sections*) correspondiente al año 2000 y la actualización de la Guía 24 de Diseño *Hollow Structural Section Connections*, en su primera Edición, correspondiente al año 2010, ambas del *American Institute of Steel Construction, (AISC)* así como también artículos técnicos y bibliografía especializada en el tema, con el fin de determinar los parámetros que deben ser tomados en cuenta para el diseño de conexiones típicas en estructuras de acero para cerchas con secciones tubulares, con esta información se realizaron los cálculos correspondiente al diseño de distintos tipos de conexiones con el fin de llevar a cabo de manera analítica, el cumplimiento de los objetivos planteados. Finalmente, el Ingeniero Estructural obtendrá una valiosa herramienta, que además de facilitar las Especificaciones LRFD (*Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Sections*) versión en español, proporciona ejemplos típicos para el uso de este tipo de conexiones adaptándolos a las propiedades de los materiales fabricados en el país, tomando en cuenta que las normas utilizadas en Venezuela no aplican y el uso de este tipo de cerchas se ha incrementado por razones de estética y limpieza.

Palabras Claves: Conexiones, Cerchas, Secciones Tubulares

NOTACIÓN Y UNIDADES

Para efectos de este Trabajo Especial de Grado, se utilizó la simbología establecida en la Norma Americana AISC, Especificaciones LRFD (*Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Sections*), utilizando el Sistema Técnico de Unidades MKS, Metro (m) – Kilogramo (kg) - Segundo (s).

A	Área usada para calcular A_e , (cm^2)
A_g	Área total de la sección transversal, (cm^2)
A_e	Área neta efectiva para miembros a tracción, (cm^2)
A_n	Área neta, (cm^2)
B	Ancho total de SET rectangulares, (cm)
B_b	Ancho total del miembro secundario de SET rectangular en conexiones en cerchas, (cm)
D	Diámetro externo de SET circulares, (cm)
D_b	Diámetro externo del miembro secundario de SET circulares en conexiones en cerchas, (cm)
E	Módulo de Elasticidad, (Kg/cm^2)
F_{cr}	Esfuerzo crítico para pandeo en columnas, (Kg/cm^2)
F_u	Resistencia de tensión de tracción de rotura mínima especificada de SET
F_y	Resistencia cedente mínima especificada de la SET, (Kg/cm^2)
F_{y1}	Resistencia cedente mínima especificada de la plancha o elemento de conexión que es soldado a una SET
F_u	Resistencia de tensión de tracción de rotura mínima especificada de SET, (Kg/cm^2)
F_{yb}	Resistencia cedente mínima especificada del miembro secundario en una SET en conexiones en cerchas, (Kg/cm^2)
H	Altura total de SET rectangulares, (cm)
H_b	Altura total de miembros secundarios de SET en conexiones en cerchas, (cm).
K	Factor de longitud efectiva de miembros en compresión

M_u	Resistencia flexional requerida, (Kg-m)
N	Longitud de apoyo de la carga concentrada a lo largo de la SET, (cm)
P_u	Resistencia axial requerida, (Kg)
Q	Factor de área efectiva
Q_f	Factor de reducción para compresión en SET, parámetro usado para conexiones en cerchas
Q_q	Parámetro usado para conexiones en cerchas
Q_β	Parámetro usado para conexiones en cerchas
S	Módulo de sección elástico, (cm ³)
U	Factor de retraso del cortante, parámetro usado para conexiones en cerchas
b	Anchura plana para SET rectangular ala o lado, que permite tomar el valor como $B - 3t$, (cm)
b_1	Ancho de la placa o elemento conectado que es soldado a una SET, (cm)
b_{eoi}	Ancho efectivo de la cara del miembro secundario soldada al cordón
g	Abertura entre miembros secundarios en una conexión tipo K, (cm)
h	Anchura plana para SET rectangular miembro o lado, que permite tomar el valor como $H - 3t$, (cm)
l	Longitud del miembro, (cm)
l_c	Longitud de cartela (cm)
r	Radio de giro, (cm)
t	Espesor de pared de diseño (cm)
t_1	Espesor de la placa o elemento de conexión que es soldado a la SET, (cm)
t_b	Espesor del miembro secundario en una SET para conexiones en cerchas, (cm)
\bar{x}	Excentricidad del retraso del cortante, (cm)
x	

α	Parámetro de ovalización del cordón
β	Relación de ancho, la relación del diámetro de miembros secundarios al diámetro del cordón = D_b/B para SET circulares, y la relación del ancho total del miembro secundario al ancho del cordón = B_b/B para SET rectangulares.
β_{eff}	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	Relación de esbeltez del cordón; la relación de una mitad del diámetro al espesor de la pared = $D/2t$ para SET circulares; la relación de una mitad del ancho al espesor de la pared = $B/2t$ para SET rectangulares.
ϕ	Factor de resistencia
η	Parámetro de la longitud de la carga, aplicable solamente para SET 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
λ	Esbeltez de pared
λ_c	Esbeltez de columna
λ_r	Máxima esbeltez de pared para sección no compacta
ζ	Relación de abertura, la relación de la abertura entre los miembros secundarios de una conexión K al ancho del cordón = g/D para SET circulares, = g/B para SET rectangulares.

INTRODUCCIÓN

El diseño de las conexiones en estructuras de acero, resulta ser uno de los factores de mayor importancia al momento de diseñar las estructuras, debido a que se ha determinado a través de criterios desarrollados en base a resultados experimentales durante mucho años, que el diseño mal ejecutado puede ser la causa de la posible falla parcial o total de la estructura.

Conjuntamente, el uso de elementos tubulares para el diseño de conexiones típicas en cerchas, es un proceso que demanda mayor cuidado y dedicación por parte del Ingeniero Estructural, ya que requiere gran cantidad de tiempo para realizar los cálculos y verificaciones necesarias, tomando en cuenta que el comportamiento en las conexiones para secciones tubulares, en general, es una actividad compleja, por tanto, es necesario su estudio analítico comprobando el cumplimiento de las especificaciones y normas correspondientes.

Por tales motivos, se consideró como objetivo principal de este Trabajo Especial de Grado *Diseñar Conexiones Típicas para Cerchas con Elementos Tubulares*, enfocando la investigación en cerchas planas cuya apariencia estética es relevante, y no se insistió en el uso de planchas de unión, pernos, entre otros, para la realización de los ejemplos de diseño, pues éstos disminuyen su perfección, limpieza y atractivo visual en los acabados.

Con el propósito de facilitar la claridad y entendimiento del contenido, este trabajo se encuentra estructurado en cinco capítulos más apéndice, donde se contempla una explicación detallada que enriquece el desarrollo y cumplimiento de los objetivos planteados al inicio de la investigación.

En el *Capítulo I*, se presenta el planteamiento del problema, objetivo general y objetivos específicos, la justificación para el avance de este trabajo, alcances, limitaciones y una breve reseña de los antecedentes donde se hace referencia a estudios previos relacionados con el objetivo planteado enmarcados dentro de la misma línea de investigación.

El *Capítulo II*, lo conforma el marco teórico de la investigación, el cual puede ser definido como el compendio de una serie de elementos conceptuales que conciernen a la base de la investigación a realizar. En éste, se señalan las consideraciones que se deben tomar en cuenta para el diseño de conexiones típicas en cerchas.

En el *Capítulo III*, se define el marco metodológico para el desarrollo de esta investigación, contemplando las distintas fases que se siguieron para la ejecución de la misma. Además, se indica el enfoque y metodología utilizada para la consecución de los objetivos planteados al inicio de la investigación. Asimismo, se detallan los procedimientos de diseño en conexiones típicas para cerchas comprendidas dentro del alcance de este trabajo.

El Capítulo IV cumple con el fin de presentar distintos ejemplos de diseños de conexiones típicas para cerchas con elementos tubulares, ilustrando cada modelo y explicando detalladamente las consideraciones que se deben tener en cuenta para el uso adecuado de las herramientas proporcionadas por las Normas Americanas, adaptándolas correctamente a las propiedades y características de los materiales fabricados en Venezuela.

El Capítulo V presenta las conclusiones alcanzadas a medida que se fue desarrollando este trabajo de investigación, partiendo desde los objetivos planteados al inicio. Conjuntamente, se presentan recomendaciones pertinentes para la realización de trabajos futuros y a su vez mejorarlos.

La sección destinada a los *Apéndices*, presenta la Especificación *Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Sections, AISC Noviembre 2000* en su versión al español, con la finalidad de proporcionar una norma que era encontrada únicamente en inglés, ahora versionada al lenguaje castellano; facilitando así al Ingeniero Estructural la aplicación de la misma.

Finalmente, se incluyen las referencias bibliográficas consultadas para el desarrollo del presente trabajo, de forma de ceder al lector interesado, ahondar más en el tema planteado.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En el siguiente capítulo se describe de manera amplia el planteamiento del problema, objetivos generales y específicos, alcance y limitaciones, culminando con los antecedentes de la investigación que justifican el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado.

1. Planteamiento del problema

El diseño de conexiones en estructuras de acero, resulta ser uno de los factores de mayor importancia al momento de diseñar las estructuras, debido que se han determinado, a través de criterios de diseño desarrollados en base a resultados experimentales durante muchos años, que el diseño mal ejecutado puede ser la causa de la posible falla parcial o total de la misma.

Conjuntamente el uso de SET¹ para el diseño de conexiones típicas² en cerchas es un proceso que demanda mayor cuidado y dedicación por parte del Ingeniero Estructural, ya que requiere gran cantidad de tiempo para realizar los cálculos y verificaciones necesarias, tomando en cuenta que el comportamiento de las conexiones para secciones tubulares en cerchas en general es muy complejo y no es posible el análisis teórico.

El Ingeniero Estructural debe analizar de forma cuidadosa las posibles fallas que puedan producirse en los miembros, soldaduras y elementos de conexión³, es por esto que debe diseñar dichas conexiones de tal forma que sean capaces de resistir las solicitaciones a las cuales estarán sometidas y evitando así que se produzcan estas fallas; lo cual es un proceso largo y laborioso cuyo diseño no está especificado en la norma Venezolana⁴ y las Especificaciones de las normas existentes tienen el inconveniente de ser poco claras.

Las Especificaciones *Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Sections for Steel Hollow Structural Sections*⁵ están destinadas hacia el diseño de secciones con estructuras tubulares circulares y rectangulares, donde la mayor complejidad en cuanto a corte, soldadura y ensamblaje se encuentra en el caso de

¹ SET: Sección Estructural Tubular

² Conexiones Tipo Y, T y K

³ Planchas de unión, Camisas o collares

⁴ COVENIN MINDUR 1618:1998 “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites”

⁵ *Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Sections*: de ahora en adelante se referirá como la especificación LRFD-HSS

SET circulares, por lo cual, se necesita mano de obra calificada que domine todas los requerimientos que el diseño de estas juntas exigen, cabe destacar que este personal calificado se caracteriza por ser escaso y además, costoso.

2. Objetivos de la investigación

2.2 Objetivo General

Diseñar conexiones típicas para cerchas con elementos tubulares.

2.3 Objetivos Específicos

- Revisión de la bibliografía existente acerca del diseño de conexiones típicas para cerchas con elementos tubulares (SET).
- Desarrollo de procedimientos de diseño de conexiones con elementos tubulares en cerchas, de acuerdo a las Especificaciones LRFD-HSS, apoyados en la Guía 24 de Diseño *Hollow Structural Section Connections*, en su primera Edición, ambas del AISC⁶, en sus actualizaciones de los años 2000 y 2010 respectivamente.
- Desarrollo de ejemplos de diseños de conexiones típicas para cerchas con secciones tubulares, aplicando las Especificaciones LRFD-HSS, la Guía 24 de Diseño *Hollow Structural Section Connections*, en su primera Edición, ambas del AISC y bibliografía especializada en el tema.
- Verificar que los materiales disponibles en Venezuela, cumplan con los requisitos establecidos en las Especificaciones LRFD-HSS del AISC.
- Plantear la introducción de las Especificaciones LRFD-HSS del AISC a la Norma Venezolana COVENIN.

3. Justificación

Para todo Ingeniero Estructural, el diseño y cálculo de las juntas o conexiones en estructuras de acero debe ser considerado como aspecto indispensable y de suma importancia, es fundamental que su desarrollo se realice detalladamente, tomando en cuenta, por separado, cada parte de la estructura a diseñar.

Es preciso acotar que el diseño de gran parte de las conexiones en estructuras de acero para cerchas, podría llegar a ser una actividad compleja, exigiendo un estudio y

⁶ AISC: *American Institute of Steel Construction*

análisis riguroso, principalmente en el caso de SET circulares, pues las juntas que representan las intersecciones de superficies curvas requieren de un cuidado extra, empleando mayor tiempo en el corte del tubo para así ensamblar los miembros de la conexión. El uso de cartelas y pernos podría facilitar la unión, sin embargo, para el alcance de este trabajo, éstos son evadidos, pues minimiza la apariencia estética y belleza en las conexiones.

A nivel internacional, la información sobre el diseño de conexiones típicas para cerchas con elementos tubulares se ha hecho cada vez más abundante, aumenta el número de publicaciones, actualizaciones, Especificaciones de distintas Normas, entre otros. Este tipo de secciones se han incrementado por razones de estética y limpieza; debido a sus caras lisas permite hacer uniones directas tubo a tubo añadiendo versatilidad al diseño y belleza en los acabados. Sin embargo, las normas Venezolanas vigentes no contienen en ninguno de sus capítulos referencia alguna hacia el diseño de estas uniones.

Por todo lo explicado anteriormente, se considera sería de gran utilidad para el Ingeniero Estructural el contar con estudios que podrían resultar innovadores para el país, teniendo ciertas facilidades tal como versión al español de las Especificaciones LRFD-HSS, AISC 2010, e información de las distintas fuentes enriquecidas y especializadas en el tema, así como también ejemplos para el diseño de conexiones típicas para cerchas planas con elementos tubulares, adaptándolos a las propiedades de los materiales disponibles en Venezuela.

4. Alcance y Limitaciones

Con el fin de llevar a cabo y cumplir los objetivos planteados, se requiere limitar el alcance del Trabajo Especial de Grado, desarrollando en él únicamente los siguientes aspectos en cuanto al diseño:

- Conexiones con elementos tubulares
- Conexiones soldadas
 - Soldadura de filete y soldadura de ranura
- Diseño de conexiones para cerchas planas rectas, aplicando los ejemplos de diseño a las cerchas más utilizadas:
 - Cercha tipo Warren.
 - Cercha tipo Howe.
 - Cercha tipo Pratt
- Diseños utilizando los materiales disponibles en Venezuela.

5. Antecedentes de la Investigación

Como antecedente principal se encuentra el trabajo de Renate Aiquel y Samantha Fernández (2003) quienes en su Trabajo Especial de Grado titulado, *Criterios de Diseño para Elementos de Acero con Sección Tubular*, realizaron un estudio preliminar acerca del uso Secciones Estructurales Tubulares en diferentes estructuras y edificaciones, tomando en cuenta el Método de los Estados Límites referido en la norma *Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Sections for Steel Hollow Structural Sections*, incluyendo además el capítulo 23 sobre Soldaduras de la Norma *COVENIN MINDUR 1618:1998 “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites”*.

No obstante, cabe destacar que se han desarrollado otros Trabajos Especiales de Grado relacionadas al diseño de conexiones con perfiles no tubulares, en los cuales se han empleado el Método de los Estados Límites y capítulos de conexiones contenidos tanto en la Norma *COVENIN MINDUR* como en las distintas Especificaciones LRFD. Sin embargo, en dicha norma estas especificaciones no aplican para el caso de conexiones con Secciones Estructurales Tubulares.

CAPÍTULO II

MARCO DE REFERENCIA CONCEPTUAL

En este capítulo, se plantea el marco de referencia conceptual con el cual, a través de una Investigación Documental, se realizó la base para desarrollar el presente Trabajo Especial de Grado.

Contiene detalles que cubren las diferentes ramas que demanda la realización y ejecución del diseño de conexiones en cerchas con el uso de elementos tubulares, tal como una breve reseña sobre el tipo de secciones a emplear, su unión y tipos de conexiones, referencia a diversos estilos de cerchas planas, soldaduras aplicadas y finalmente el orden de ensamblaje requerido para la culminación de la unión o conexión entre los múltiples miembros. Asimismo, se detallan los procedimientos de diseño en conexiones típicas para cerchas comprendidas dentro del alcance de este trabajo.

1. Secciones Estructurales Tubulares (SET)

1.1. Generalidades sobre el uso de Secciones Estructurales Tubulares

El uso de Secciones Tubulares para la construcción de estructuras metálicas se ha ido generalizando cada vez más en algunos países, desde el simple uso como correas en techos de machihembrado con tejas, hasta la construcción de grandes cerchas. Estas secciones presentan muchas ventajas, principalmente desde el punto de vista estructural, ya que la sección hueca concentra material en el contorno aprovechando al máximo su resistencia. Su gran rigidez a torsión, también le permite soportar grandes luces sin que se presenten los problemas de pandeo torsional ante cargas axiales o pandeo flexotorsional ante cargas transversales.

Las SET representan secciones eficaces, teniendo buenas propiedades en todas las direcciones. A fines de mantenimiento, no presentan entrantes que permitan acumulación de polvo y humedad, poseen también un área superficial menor al momento de considerar anticorrosivos y pinturas en general, y/o la aplicación de frizados.

Su desventaja principal, se presenta cuando los criterios de diseño que controlan los elementos, corresponden a los criterios de rigidez o relaciones de esbeltez en general, en cuyo caso la calidad del acero no influye y por lo tanto, se convierte en un sobre costo innecesario.

Adicionalmente, es importante acotar que los espesores de la serie de tubos estructurales disponibles en Venezuela, son muy delgados, y puede que se ocasione incompatibilidad ciertas veces con algunos límites propuestos en las Especificaciones LRFD-HSS.

1.2. Clasificación de las SET según su Forma Estructural

Las Secciones Estructurales Tubulares según sus propiedades geométricas dividen en tres tipos:

- a. SET de forma Circular
- b. SET de forma Cuadrada
- c. SET de forma Rectangular

En las estructuras de acero, el uso de elementos de sección tubular circular, cuadrada y rectangular se ha convertido en componentes principales en la práctica común, proporcionando una variedad estructural y estética.

Las SET circulares, fueron las primeras en ser introducidas al mercado, éstas, por su forma geométrica, presentan mayor complejidad en todos los aspectos, específicamente en cuanto al corte, ensamblaje y soldadura se refiere. Sin embargo, tiene sus ventajas, pues las SET circulares permiten que las acciones por viento sean reducidas.

Posteriormente, el acero fabricado ha introducido tubos cuadrados y rectangulares, cuya conexión se caracteriza por requerir menos dedicación por parte del Ingeniero Estructural y de talleres debido a su superficie plana.

1.3. Ventajas de las SET

El Ingeniero Estructural, ha incrementado el uso de este tipo de secciones por razones de apariencia estética, mantenimiento y limpieza; por tal motivo su aplicación se ha extendido cada vez más en distintos países.

1.3.1. Facilidad de Detalle, Construcción y Ensamblaje

A diferencia de las SET circulares, la simplicidad que proporcionan las SET cuadradas y rectangulares minimizan las complicaciones de los detalles. Las instrucciones sobre materiales aislantes y soldadura, son simplificadas también en gran medida. En resumen, lo mencionado anteriormente se refiere a una menor manipulación de material, sopleteado y soldadura.

1.3.2. Apariencia Estética

Desde el punto de vista arquitectónico presentan un aspecto estético muy apropiado. El acabado impecable de las SET es visualmente atractivo, por lo cual pueden ser exhibidas en su totalidad. La resistencia de pandeo de este tipo de formas estructurales permite el uso de miembros largos sin la necesidad de realizar grandes arriostramientos. En muchos casos, antiestéticas líneas de

servicios públicos⁷, se pueden colocar dentro del marco estructural para mejorar la apariencia de las estructuras.

1.3.3. Minimización del Área Superficial

Las secciones cerradas, debido a su forma regular de caras lisas y esquinas redondeadas, permiten aplicar fácilmente pinturas de fondo y acabados reduciendo los desperdicios.

El hecho de que las secciones tubulares estén cerradas y puedan ser selladas en los extremos, es una ventaja al momento de su limpieza, aplicación de pintura y uso de productos contra incendios. De igual manera, la conexión soldada sella al tubo contra la humedad, evitando así la entrada de cualquier circulación de aire, por lo que la oxidación se detiene muy pronto alcanzando el equilibrio.

2. Materiales

Con el fin de promover el uso adecuado de cada material y la elección correcta del mismo, las propiedades que lo conforman deben ser plenamente conocidas. En el diseño de miembros estructurales, dichas propiedades son de interés primordial, pues indican el comportamiento de los mismos bajo ciertos tipos de cargas

Tabla 2-1. *Magnitudes Mínimas de Propiedades a Tracción de SET*

ESPECIFICACIÓN	GRADO	F_y (Kg/cm ²)	F_u (Kg/cm ²)
ASTM A53	B	2500	4200
ASTM A500 circular	A	2300	3200
	B	2900	4100
	C	3200	4300
ASTM A500 Cuadrada y Rectangular	A	2700	3200
	B	3200	4100
	C	3500	4300
ASTM A501		2500	4100
ASTM A618	I Y II	3500	4900
	III	3500	4600
ASTM A847		3500	4900

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

Según las Especificaciones LRFD-HSS del AISC, el material *ASTM*⁸ A53 Grado B, se incluye como una especificación del material mayormente aprobado por las SET. Los perfiles tubulares de acero, además, deben fabricarse tomando en cuenta otras

⁷ Transferencia y transporte de electricidad, gas y agua

⁸ ASTM: American Society for Testing and Materials

especificaciones que deben cumplir con resistencia, ductilidad, soldabilidad y todos aquellos requisitos señalados en la Tabla 2-1.

En Venezuela, se dispone de una variedad de tubos estructurales, los cuales son perfiles de sección cerrada, conformados en frío y soldados eléctricamente por alta frecuencia, formando elementos tubulares de sección transversal circular, cuadrada y rectangular. Éstos, son suministrados con longitudes máximas de 12,00 m. Asimismo, esta serie de tubos es producida según la norma ASTM A500 Grado C, con láminas de alta resistencia, presentando un esfuerzo de fluencia $F_y = 3.500 \text{ Kg / cm}^2$.

La eficiencia de los Tubos Estructurales disponibles en el país, se debe a la forma de su sección transversal permitiéndole manejar solicitaciones de flexo-compresión y alta compresión axial.

2.1 Dimensiones y Propiedades Estáticas de los Tubos Estructurales disponibles en Venezuela.

a. Sección Circular:

Con un esfuerzo de fluencia $F_y=3.500 \text{ Kgf/cm}^2$ y una tensión a la flexión $F_b = 0.72F_y$, 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.

b. Sección Cuadrada:

Al igual que la sección circular la compresión axial es muy eficiente, teniendo un $F_y=3.500 \text{ Kgf/cm}^2$ y un $F_b = 0.72F_y$. Es recomendado su uso común como columna, para cargas axiales grandes, momentos moderados y (KL) grandes

c. Sección Rectangular.

Los tubos de sección rectangular son muy resistentes a la flexión, permitiendo un mejor uso del material, con un esfuerzo de fluencia de $F_y=3.500 \text{ Kgf/cm}^2$ y un $F_b = 0.72F_y$. Igualmente, son muy eficientes a la compresión axial y son recomendados como vigas, para momentos grandes, cargas axiales moderadas y valores (KL) pequeños

A continuación se muestran las tablas de productos encontradas en los Catálogos disponibles, para Carga Axial de Diseño; Teoría de Agotamiento Resistente LRFD para secciones circulares, cuadradas y rectangulares respectivamente.

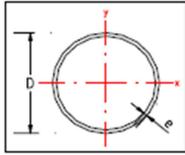
Fy		Fu		E
psi	Kg/cm2	psi	Kg/cm2	Kg/cm2
50.000,00	3.515,00	62.000,00	4.358,60	2.040.000

Tubo Estructural disponible en Venezuela
Sección Circular

Tabla 2-2. *Tubo estructural, sección circular*

Designación Comercial NPS ⁽¹⁾	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 (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	
L o n g i t u d	0,0	15,62	18,30	26,24	34,92	43,50	55,72	66,19	79,91	110,27	123,38	156,05	174,84	223,10	266,02	323,07
	1,00	14,02	16,96	25,06	33,62	42,14	54,23	64,77	78,62	108,88	122,14	154,44	173,40	221,23	264,44	321,16
	1,25	13,19	16,25	24,43	32,92	41,40	53,41	63,98	77,91	108,11	121,45	153,54	172,59	220,18	263,56	320,09
	1,50	12,25	15,42	23,67	32,07	40,50	52,43	63,04	77,04	107,18	120,61	152,45	171,62	218,90	262,49	318,79
	1,75	11,22	14,50	22,81	31,11	39,47	51,29	61,93	76,03	106,08	119,62	151,18	170,47	217,41	261,23	317,25
	2,00	10,14	13,50	21,86	30,02	38,32	50,01	60,68	74,88	104,83	118,49	149,72	169,15	215,69	259,78	315,49
	2,25	9,04	12,45	20,82	28,84	37,05	48,59	59,30	73,59	103,43	117,23	148,08	167,67	213,76	258,15	313,51
	2,50	7,95	11,38	19,72	27,58	35,68	47,06	57,79	72,19	101,89	115,83	146,27	166,03	211,63	256,34	311,31
	2,75	6,90	10,30	18,57	26,25	34,22	45,42	56,17	70,66	100,21	114,30	144,29	164,24	209,30	254,35	308,90
	3,00	5,89	9,23	17,39	24,86	32,70	43,69	54,44	69,03	98,41	112,65	142,16	162,30	206,77	252,19	306,28
	3,25	5,02	8,20	16,20	23,44	31,12	41,88	52,62	67,29	96,48	110,88	139,88	160,22	204,06	249,87	303,45
	3,50	4,33	7,21	15,00	21,99	29,50	40,02	50,73	65,47	94,44	109,01	137,46	158,00	201,17	247,38	300,43
f e c t i v a	3,75	3,77	6,28	13,80	20,54	27,85	38,10	48,77	63,57	92,30	107,03	134,90	155,65	198,12	244,74	297,22
	4,00	3,31	5,52	12,64	19,09	26,19	36,16	46,76	61,59	90,07	104,95	132,22	153,17	194,90	241,94	293,83
	4,25	2,94	4,89	11,50	17,66	24,53	34,20	44,71	59,56	87,75	102,79	129,43	150,58	191,53	239,00	290,25
	4,50	2,62	4,36	10,41	16,26	22,89	32,24	42,64	57,48	85,35	100,54	126,53	147,88	188,03	235,92	286,51
	4,75	2,35	3,92	9,35	14,90	21,27	30,29	40,55	55,35	82,89	98,21	123,54	145,08	184,39	232,71	282,61
	5,00	2,12	3,53	8,44	13,58	19,69	28,36	38,46	53,20	80,38	95,82	120,46	142,19	180,63	229,37	278,56
	5,25		3,21	7,65	12,32	18,15	26,46	36,38	51,03	77,81	93,37	117,31	139,21	176,76	225,91	274,36
	5,50		2,92	6,97	11,23	16,64	24,61	34,32	48,85	75,21	90,87	114,09	136,15	172,80	222,34	270,02
	5,75		2,67	6,38	10,27	15,23	22,81	32,28	46,66	72,58	88,32	110,81	133,02	168,74	218,66	265,55
	6,00		2,45	5,86	9,43	13,98	21,02	30,29	44,48	69,94	85,74	107,49	129,83	164,60	214,88	260,97
	6,50			4,99	8,04	11,92	17,91	26,44	40,18	64,62	80,49	100,76	123,29	156,14	207,07	251,47
	e n M e t r o s	7,00		4,30	6,93	10,27	15,45	22,83	36,00	59,33	75,18	93,96	116,60	147,49	198,94	241,61
7,50			3,75	6,04	8,95	13,45	19,89	31,99	54,13	69,86	87,16	109,81	138,73	190,57	231,44	
8,00			3,29	5,31	7,87	11,83	17,48	28,16	49,08	64,60	80,44	103,00	129,93	182,01	221,05	
8,50				4,70	6,97	10,48	15,48	24,94	44,22	59,43	73,85	96,21	121,19	173,32	210,49	
9,00					6,22	9,34	13,81	22,25	39,50	54,39	67,46	89,49	112,55	164,56	199,85	
9,50					5,58	8,39	12,39	19,97	35,45	49,54	61,30	82,90	104,09	155,78	189,19	
10,00						7,57	11,19	18,02	32,00	44,78	55,31	76,48	95,87	147,03	178,56	
10,50							10,15	16,35	29,02	40,62	50,17	70,27	87,91	138,36	168,03	
11,00							9,24	14,89	26,44	37,01	45,71	64,14	80,11	129,81	157,65	
11,50							8,46	13,63	24,19	33,86	41,82	58,68	73,30	121,44	147,48	
12,00								12,51	22,22	31,10	38,41	53,89	67,32	113,26	137,55	
Mx kgf-m		237,90	326,50	607,40	895,90	1.224,90	1.705,80	2.239,90	3.128,10	4.864,20	6.106,80	7.627,80	9.601,90	12.074,40	17.255,00	20.699,40
Vx kgf	3.674,7	4.305,80	6.172,9	8.215,8	10.234,8	13.109,90	15.574,60	18.803,50	25.945,90	29.031,30	36.717,00	41.138,50	52.494,80	62.592,20	76.015,70	
J cm4	71,60	115,00	274,60	449,60	676,60	1.027,40	1.490,00	2.394,00	4.211,00	5.898,40	7.369,20	10.360,40	13.028,60	22.080,00	26.486,60	

Fuente: Referencia Bibliográfica (8)



ASTM A 500-03a
Sección Circular (Sistema Métrico)

Tabla 2-3. *Propiedades geométricas y estáticas, sección circular*

Designación Comercial	Diámetro Externo	Espesor	Sección	Peso	Propiedades Estáticas				Grados	
					$I_x = I_y$ cm ⁴	$S_x = S_y$ cm ³	$Z_x = Z_y$ cm ³	$r_x = r_y$ cm	Serie Tubos Estructurales CONDUVEN ECO (2)	Serie Tubos Estructurales Estándar (*)
<i>NPS</i> (1)	D mm	e mm	A cm ²	P Kg./m						
3	76,20	2,25	5,23	4,10	35,77	9,39	12,31	2,62	C	A y B
3 1/2	88,90	2,25	6,12	4,81	57,52	12,94	16,90	3,06	C	A y B
4 1/2	114,30	2,50	8,78	6,89	137,26	24,02	31,25	3,95	C	A y B
5	127,00	3,00	11,69	9,17	224,75	35,39	46,14	4,39	C	A y B
5 1/2	139,70	3,40	14,56	11,43	338,30	48,43	63,18	4,82	C	A y B
6	152,40	4,00	18,65	14,64	513,73	67,42	88,11	5,25	C	A y B
6 5/8	168,30	4,30	22,15	17,39	745,00	88,50	115,68	5,80	C	A y B
7,5/8	193,70	4,50	26,75	20,99	1.197,00	123,65	161,12	6,69	C	A y B
8 5/8	219,10	5,50	36,91	28,97	2.105,50	192,20	250,99	7,55	C	A y B
9 5/8	244,50	5,50	41,30	32,41	2.949,20	241,32	314,22	8,45	C	A y B
9 5/8	244,50	7,00	52,23	41,00	3.684,60	301,40	394,96	8,40	C	A y B
10 3/4	273,10	7,00	58,52	45,93	5.180,20	379,40	495,78	9,41	C	A y B
10 3/4	273,10	9,00	74,67	58,61	6.514,30	477,10	627,98	9,34	C	A y B
12 3/4	323,85	9,00	89,02	69,88	11.039,98	681,80	892,42	11,14	C	A y B
12 3/4	273,10	11,00	108,11	84,87	13.243,34	817,87	1.077,07	11,07	C	A y B

Fuente: Referencia Bibliográfica (8)

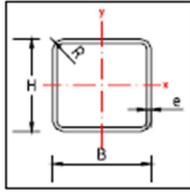
Fy		Fu		E
psi	Kg/cm2	psi	Kg/cm2	Kg/cm2
50000,00	3515,00	62000,00	4358,60	2040000

Tubo Estructural disponible en Venezuela
Sección Cuadrada

Tabla 2-4. *Tubo estructural, Sección cuadrada*

Designación Comercial DN (")	60 x 60	70 x 70	90 x 90	100 x 100	110 x 110	120 x 120	135 x 135	155 x 155	175 x 175	200 x 200	200 x 200	220 x 220	220 x 220	260 x 260	260 x 260	
Espesor (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	
L o n g i t u d e f e c t i v a	0,0	15,01	17,70	25,50	33,85	42,13	53,81	65,27	78,86	108,31	124,74	156,43	173,16	218,64	261,66	316,61
	1,00	13,13	16,06	24,06	32,29	40,51	52,06	63,59	77,33	106,64	123,29	154,57	171,47	216,45	259,82	314,38
	1,25	12,18	15,21	23,29	31,44	39,63	51,10	62,66	76,48	105,72	122,47	153,53	170,53	215,23	258,79	313,14
	1,50	11,10	14,23	22,38	30,44	48,58	49,95	61,55	75,45	104,60	121,49	152,27	169,38	213,75	257,53	311,61
	1,75	9,96	13,15	21,35	29,29	37,37	48,62	60,26	74,26	103,29	120,34	150,80	168,04	212,01	256,05	309,82
	2,00	8,78	12,01	20,22	28,02	36,02	47,13	58,81	72,91	101,80	119,02	149,11	166,50	210,02	254,36	307,78
	2,25	7,62	10,83	19,01	26,65	34,55	45,50	57,20	71,40	100,14	117,54	147,23	164,77	207,79	252,45	305,46
	2,50	6,50	9,65	17,74	25,19	32,98	43,75	55,46	69,76	98,31	115,92	145,15	162,86	205,32	250,34	302,91
	2,75	5,44	8,50	16,44	23,68	31,33	41,89	53,59	67,98	96,33	114,14	142,89	160,78	202,63	248,02	300,10
	3,00	4,57	7,39	15,13	22,12	29,61	39,94	51,62	66,09	94,21	112,23	140,45	158,52	199,72	245,51	297,07
	3,25	3,89	6,34	13,82	20,55	27,86	37,93	49,56	64,09	91,96	110,19	137,84	156,11	196,61	242,81	293,80
	3,50	3,36	5,46	12,53	18,97	26,08	35,87	47,43	62,01	89,58	108,03	135,09	153,55	193,30	239,93	290,32
	3,75	2,92	4,76	11,28	17,41	24,29	33,78	45,24	59,84	87,10	105,76	132,19	150,84	189,81	236,87	286,61
	4,00	2,57	4,18	10,08	15,89	22,51	31,68	43,01	57,61	84,53	103,38	129,15	148,00	186,15	233,64	282,70
	4,25	2,28	3,71	8,93	14,41	20,77	29,59	40,76	55,32	81,87	100,90	126,00	145,03	182,33	230,26	278,61
	4,50	2,03	3,31	7,96	12,98	19,06	27,52	38,50	53,00	79,14	98,34	122,75	141,95	178,36	226,72	274,33
4,75		2,97	7,15	11,65	17,41	25,49	36,25	50,64	76,36	95,71	119,39	138,77	174,26	223,04	269,88	
5,00		2,68	6,45	10,51	15,79	23,51	34,02	48,28	73,53	93,01	115,96	135,49	170,05	219,22	265,26	
5,25		2,43	5,50	9,54	14,32	21,60	31,82	45,91	70,66	90,25	112,45	132,12	165,72	215,28	260,49	
K	5,50		5,33	8,69	13,05	19,71	28,67	43,55	67,78	87,45	108,89	128,68	161,30	211,23	255,59	
L	5,75		4,88	7,95	11,94	18,04	27,57	41,21	64,89	84,61	105,29	125,18	156,80	207,06	250,54	
e n	6,00		4,48	7,30	10,97	16,56	25,54	38,90	62,00	81,74	101,65	121,62	152,24	202,80	245,39	
	6,50		3,82	6,22	9,34	14,11	21,75	34,41	56,28	75,96	94,32	114,39	142,97	194,02	234,76	
M e t r o s	7,00		3,29	5,36	8,06	12,17	18,75	30,09	50,69	70,17	86,99	107,05	133,59	184,97	223,81	
	7,50			4,67	7,02	10,60	16,34	26,21	45,30	64,44	79,76	99,70	124,20	175,72	212,62	
	8,00				6,17	9,32	14,36	23,04	40,08	58,84	72,69	92,40	114,89	166,34	201,27	
	8,50				5,46	8,25	12,72	20,41	35,51	53,40	65,85	85,21	105,74	156,90	189,85	
	9,00					7,36	11,35	18,20	31,67	48,13	59,19	78,20	96,84	147,48	178,45	
	9,50						10,18	16,34	28,42	43,20	53,12	71,41	88,24	138,13	167,14	
	10,00							9,19	14,75	25,65	38,99	47,94	64,75	79,81	128,92	155,99
	10,50							8,34	13,37	23,27	35,36	43,48	58,73	72,39	119,89	145,07
11,00								12,19	21,20	32,22	39,62	53,51	65,96	111,11	134,44	
11,50								11,15	19,40	29,48	36,25	48,96	60,34	102,60	124,15	
12,00								10,24	17,81	27,08	33,29	44,97	55,42	94,21	113,99	
Mx=My (kgf-m)	339,90	471,20	878,20	1.291,30	1.765,50	2.451,70	3.352,30	4.668,80	7.215,60	9.549,50	11.850,60	14.494,60	18.067,00	25.783,40	31.197,91	
Vx=Vy (kgf)	4.452,205	3.064,07	7.110,010	1.192,80	1.661,80	2.261,80	3.095,90	4.237,80	6.323,70	8.419,30	10.739,00	14.046,30	18.519,50	24.402,50	30.780,60	38.944,63
J (cm4)	44,45	71,58	170,91	279,76	421,04	639,12	981,97	1.566,53	2.738,89	4.129,03	6.155,79	8.918,82	13.086,32	19.578,17	29.639,59	

Fuente: Referencia Bibliográfica (8)



ASTM A 500-03a
Sección Cuadrada (Sistema Métrico)

Tabla 2-5. *Propiedades geométricas y estáticas, sección cuadrada*

Designación Comercial	Espesor	Radio	Sección	Peso	Propiedades Estáticas				Grados	
					H x B DN (1)	e mm	R mm	A cm ²	P Kg./m	I _x = I _y cm ⁴
60 x 60	2,25	6,75	5,02	3,94	27,40	9,13	10,74	2,34	C	A y B
70 x 70	2,25	6,75	5,92	4,65	40,60	12,74	14,89	2,74	C	A y B
90 x 90	2,50	7,50	8,54	6,70	107,46	23,88	27,76	3,55	C	A y B
100 x 100	3,00	9,00	11,33	8,89	175,10	35,02	40,82	3,93	C	A y B
110 x 110	3,40	10,20	14,10	11,07	263,04	47,82	55,81	4,32	C	A y B
120 x 120	4,00	12,00	18,01	14,14	397,30	66,22	77,50	4,70	C	A y B
135 x 135	4,30	12,90	21,85	17,15	612,27	90,71	105,97	5,29	C	A y B
155 x 155	4,50	13,50	26,39	20,72	982,43	126,77	147,58	6,10	C	A y B
175 x 175	5,50	16,50	36,25	28,46	1.709,23	195,34	228,09	6,87	C	A y B
200 x 200	5,50	16,50	41,75	32,77	2.597,67	259,77	301,87	7,89	C	A y B
200 x 200	7,00	21,00	52,36	41,10	3.194,10	319,41	374,60	7,81	C	A y B
220 x 220	7,00	21,00	57,96	45,50	4.314,30	392,21	458,18	8,63	C	A y B
220 x 220	9,00	27,00	73,18	57,45	5.317,27	483,39	571,11	8,52	C	A y B
260 x 260	9,00	27,00	87,58	68,75	9.038,52	695,27	815,03	10,16	C	A y B
260 x 260	11,00	33,00	105,41	82,74	10.656,87	819,76	970,23	10,06	C	A y B

Fuente: Referencia Bibliográfica (8)

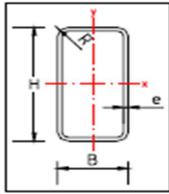
Fy		Fu		E
psi	Kg/cm2	psi	Kg/cm2	Kg/cm2
50000,00	3515,00	62000,00	4358,60	2040000

Tubo Estructural disponible en Venezuela
Sección Rectangular

Tabla 2-6. *Tubo estructural, sección rectangular*

Designación Comercial DN (")	80 x 40	100 x 40	120 x 60	140 x 60	160 x 65	180 x 65	200 x 70	220 x 90	260 x 90	300 x 100	300 x 100	320 x 120	320 x 120	350 x 170	350 x 170
Espesor (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
0,00	15,01	17,70	25,50	33,85	43,15	55,01	65,27	78,86	108,31	124,74	156,43	173,16	218,64	261,66	316,61
1,00	11,51	13,73	22,75	30,25	39,21	50,00	60,14	75,04	103,09	119,94	150,22	163,38	212,38	257,90	312,06
1,25	9,92	11,91	21,34	28,39	37,16	47,38	57,43	72,97	100,26	117,32	146,83	165,75	208,94	255,81	309,53
1,50	8,27	10,00	19,73	26,27	34,80	44,37	54,29	70,52	96,92	114,20	142,79	162,59	204,81	253,28	306,47
1,75	6,66	8,14	17,98	23,97	32,20	41,06	50,79	67,74	93,10	110,61	138,17	158,93	200,04	250,31	302,88
2,00	5,19	6,40	16,16	21,57	29,44	37,55	47,04	64,65	88,89	106,62	133,02	154,82	194,67	246,94	298,80
2,25	4,10	5,06	14,31	19,14	26,60	33,92	43,12	61,33	84,34	102,26	127,41	150,28	188,75	243,17	294,24
2,50	3,32	4,10	12,50	16,74	23,75	30,29	39,13	57,82	79,54	97,60	121,42	145,36	182,36	239,02	289,21
2,75	2,75	3,38	10,76	14,44	20,95	26,72	35,14	54,17	74,54	92,70	115,13	140,12	175,54	234,52	283,77
3,00	2,31	2,84	9,12	12,25	18,26	23,29	31,24	50,44	69,43	87,61	108,61	134,59	168,36	229,69	277,92
3,25	1,97	2,42	7,77	10,44	15,69	20,02	27,49	46,67	64,28	82,40	101,95	128,83	160,89	224,55	271,71
3,50			6,70	9,00	13,53	17,26	23,88	42,92	59,14	77,12	95,21	122,88	153,20	219,13	265,15
3,75			5,83	7,84	11,78	15,04	20,81	39,23	54,07	71,82	88,46	116,80	145,35	213,45	258,27
4,00			5,13	6,89	10,36	13,22	18,29	35,63	49,14	66,56	81,78	110,64	137,40	207,55	251,14
4,25			4,54	6,10	9,17	11,71	16,20	32,16	44,38	61,39	75,22	104,43	129,41	201,44	243,74
4,50			4,05	5,44	8,18	10,44	14,45	28,78	39,73	56,33	68,84	98,22	121,45	195,16	236,14
4,75			3,64	4,89	7,34	9,37	12,97	25,83	35,66	51,45	62,68	92,06	113,56	188,73	228,36
5,00			3,28	4,41	6,63	8,46	11,70	23,31	32,19	46,65	56,65	85,99	105,80	182,19	220,45
5,25					6,01	7,67	10,62	21,15	29,19	42,31	51,38	80,04	98,21	175,55	212,42
K 5,50					5,48	6,99	9,67	19,27	26,60	38,55	46,82	74,24	90,84	168,85	204,31
L 5,75							8,85	17,63	24,34	35,27	42,84	68,61	83,59	162,11	196,15
e 6,00								16,19	22,35	32,39	39,34	63,05	76,77	155,36	187,99
n 6,50								13,80	19,04	27,60	33,52	53,72	65,41	141,91	171,71
M 7,00								11,90	16,42	23,80	28,90	46,32	56,40	128,70	155,73
e 7,50								10,36	14,30	20,73	25,18	40,35	49,13	115,87	140,20
t 8,00										18,22	22,13	35,46	43,18	103,57	125,32
r 8,50										16,14		31,41	38,25	91,78	111,05
s 9,00												28,02	34,12	81,87	99,06
9,50												25,15	30,62	73,48	88,91
10,00												22,70	27,64	66,31	80,24
10,50														60,15	72,78
11,00														54,80	66,31
11,50														50,14	60,67
12,00														46,05	55,72
Mx (kgf-m)	402,40	575,50	1.040,00	1.564,10	2.257,10	3.163,80	4.155,40	5.689,20	8.954,20	11.899,40	14.751,10	17.838,00	22.211,00	30.666,00	37.105,86
Vx (kgf)	5.872,20	7.580,50	10.202,30	14.235,80	18.457,10	24.295,70	31.370,29	41.703,73	54.854,90	71.568,95	92.419,50	118.734,20	154.956,00	204.205,70	256.088,90
Mx (kgf-m)	249,00	302,70	645,20	866,70	1.202,00	1.539,30	1.974,60	3.047,00	4.219,90	5.459,70	6.735,60	8.936,70	11.075,90	18.549,50	22.444,90
Vy (kgf)	2.455,70	2.455,70	4.508,00	5.124,90	6.195,40	6.833,20	7.917,00	11.531,00	13.049,40	15.137,30	17.272,70	22.587,40	25.624,40	42.707,30	51.675,83
J (cm4)	34,40	46,21	133,03	192,55	296,08	397,57	555,52	1.035,76	1.532,44	2.232,14	2.753,91	4.199,81	5.211,35	11.061,77	13.384,74

Fuente: Referencia Bibliográfica (8)



ASTM A 500-03a
Sección Rectangular (Sistema Métrico)

Tabla 2-7. *Propiedades geométricas y estáticas, sección rectangular*

Designación Comercial	Espesor	Radio	Sección	Peso	Propiedades Estáticas								Grados	
					I_x	S_x	Z_x	r_x	I_y	S_y	Z_y	r_y	Serie Tubos Estructurales CONDUVEN ECO (7)	Serie Tubos Estructurales Estándar (*)
H x B DN (7)	e mm	R mm	A cm ²	P Kg./m	I_x cm ⁴	S_x cm ³	Z_x cm ³	r_x cm	I_y cm ⁴	S_y cm ³	Z_y cm ³	r_y cm		
80 x 40	2,25	6,75	5,02	3,94	40,61	10,15	12,72	2,84	13,84	6,92	7,87	1,66	C	A y B
100 x 40	2,25	6,75	5,92	4,65	71,37	14,27	18,19	3,47	17,05	8,53	9,57	1,70	C	A y B
120 x 60	2,50	7,50	8,54	6,70	159,29	26,55	32,88	4,32	54,67	18,22	20,39	2,53	C	A y B
140 x 60	3,00	9,00	11,33	8,89	274,27	39,18	43,44	4,92	73,46	24,49	27,40	2,55	C	A y B
160 x 65	3,40	10,20	14,44	11,34	449,65	56,21	71,35	5,58	110,41	33,97	38,00	2,77	C	A y B
180 x 65	4,00	12,00	18,41	14,45	697,99	77,55	100,01	6,16	140,88	43,35	48,66	2,77	C	A y B
200 x 70	4,30	12,90	21,85	17,15	1.016,19	101,62	131,35	6,82	194,94	55,70	62,42	2,99	C	A y B
220 x 90	4,50	13,50	26,39	20,72	1.561,83	141,98	179,84	7,69	388,34	86,30	96,32	3,84	C	A y B
260 x 90	5,50	16,50	36,25	28,46	2.844,82	218,83	283,05	8,86	536,10	119,13	133,39	3,85	C	A y B
300 x 100	5,50	16,50	41,75	32,77	4.366,42	291,09	376,15	10,23	777,00	155,40	172,58	4,31	C	A y B
300 x 100	7,00	21,00	52,36	41,10	5.360,46	357,36	466,29	10,12	943,61	188,72	212,92	4,25	C	A y B
320 x 120	7,00	21,00	57,96	45,50	7.032,23	439,51	563,87	11,02	1.512,24	252,04	282,49	5,11	C	A y B
320 x 120	9,00	27,00	73,18	57,45	8.654,16	540,89	702,10	10,87	1.841,31	306,88	350,11	5,02	C	A y B
350 x 170	9,00	27,00	87,58	68,75	13.546,10	774,06	969,37	12,44	4.418,30	519,80	587,78	7,10	C	A y B
350 x 170	11,00	33,00	105,41	82,74	15.966,43	912,37	1.153,49	12,31	5.179,04	609,30	697,86	7,01	C	A y B

Fuente: Referencia Bibliográfica (8)

Es preciso acotar, que además de las especificaciones ya mencionadas, existen diversos materiales fabricados por otras empresas en otros países, por ejemplo, aquellos materiales referidos en el Manual de Diseño para Tubos Estructurales provenientes del *Committee of Steel Pipe Producers, AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE*. El cual fue preparado en conformidad a los principios de ingeniería reconocida y es sólo para información general.

3. Conexiones con Elementos Tubulares

Las conexiones con elementos tubulares, comenzaron a ser utilizadas, mayormente, en los Estados Unidos, aunque durante largo tiempo ha sido un método aceptado en Europa, donde se utiliza ampliamente. A pesar de las ventajas que aportaban las secciones huecas, fue la introducción de las soldaduras a las conexiones las que hicieron posible su uso extensivo.

Las juntas representan las intersecciones de las SET, lo que demanda un cuidado extra, por ende, el corte de ellas requiere mayor disponibilidad de tiempo para ensamblar las articulaciones. Usualmente, el corte realizado en las SET se ejecuta mediante el uso de soplete. Se han introducido máquinas de corte totalmente automáticas, las cuales pueden ser programadas para el corte de los miembros que conforman la conexión, incluyendo el ángulo de intersección. Dichas maquinarias garantizan mejores resultados en el ensamblaje de la junta.

3.1. Tipos de conexiones entre SET en cerchas

Las conexiones de SET a SET en armaduras, están definidas como conexiones que consisten de uno o más miembros secundarios, que están directamente soldados a un cordón continuo que pasa a lo largo de las conexiones y serán clasificadas como sigue:

- a. En el caso donde la carga tipo punzonado en un miembro secundario, es equilibrada por corte en el cordón principal, y a su vez es perpendicular a éste, la conexión será clasificada como conexión T.

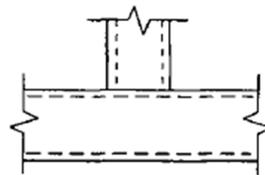


Figura 2-1. Conexión tipo T entre SET
Fuente: Referencia Bibliográfica (1)

- b. En el caso en el cual la carga tipo punzonado en un miembro secundario es equilibrada por corte en el cordón principal y cuyo ángulo es diferente de 90° grados, la conexión será clasificada como conexión Y.

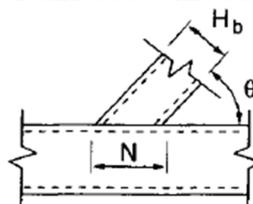


Figura 2-2. Conexión tipo Y entre SET
Fuente: Referencia Bibliográfica (1)

c. En el caso donde las cargas tipos punzonado en un miembro secundario estén esencialmente equilibradas por cargas en otros miembros secundarios, ubicados al mismo lado de la junta, la conexión deberá ser clasificada como una conexión K.



Figura 2-3. Conexión tipo K entre SET
Fuente: Referencia Bibliográfica (1)

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

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 abertura o desfase. Este caso, se presenta cuando los miembros secundarios no se intersectan en su unión con el cordón principal y la abertura (g), corresponde a la separación entre los miembros sobre la superficie del cordón.

Para otras configuraciones, fuera del alcance de este trabajo, tales como conexiones multiplanares, conexiones con miembros secundarios que están desfasadas (g) de tal manera que sus líneas centrales no se interceptan con la línea del cordón, o cuando una conexión K es superpuesta, se usarán las provisiones LRFD, tal como los parámetros en el AWS D 1.1.

Cuando los ejes de cada miembro de una conexión tipo K, no coinciden en el mismo punto, se produce excentricidad bien sea positiva o negativa, la cual debe ser analizada según las limitaciones que plantean las Especificaciones LRFD-HSS del AISC.

3.2. Elementos de Refuerzo

El uso de estos elementos, debe ser evitado en el diseño de las conexiones de aquellas cerchas destinadas a cuidar su apariencia estética y acabados impecables.

3.2.1. Cartelas

Las planchas de unión y/o cartelas son empleadas en las conexiones entre SET por las siguientes razones:

- a. Proporcionan longitud adicional de soldadura de filete a los miembros tubulares., lo que aporta mayor soporte y resistencia de la misma tal como muestra la *Figura 2-1*.

La soldadura (a) no requiere mayor cuidado, ya que la soldadura de filete (b) produce resistencia adicional

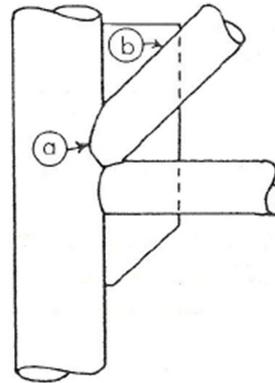


Figura 2-4. Cartela soldada para proporcionar longitud adicional de soldadura de filete a las SET

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (5)

- b. Permite la intersección entre los miembros de SET, cortados previamente. Además, permite que la cartela transmita toda la carga que proporcionan los miembros secundarios al cordón principal. En algunos casos, los miembros son fabricados y soldados en talleres, para facilitar la soldadura en campo debido a que únicamente habría soldadura vertical entre el miembro principal y la plancha.

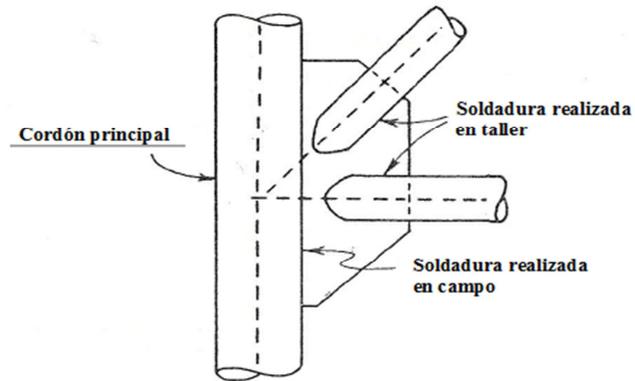


Figura 2-5 Cartela que permite transmitir toda la carga al miembro principal
 Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (5)

c. Cuando otros miembros están conectados a los lados del cordón principal, la cartela proporciona transferencia directa de la fuerza a través del mismo. Esto puede realizarse, si se considera que el miembro principal tiene relación grosor/espesor baja y sería necesario rigidez adicional

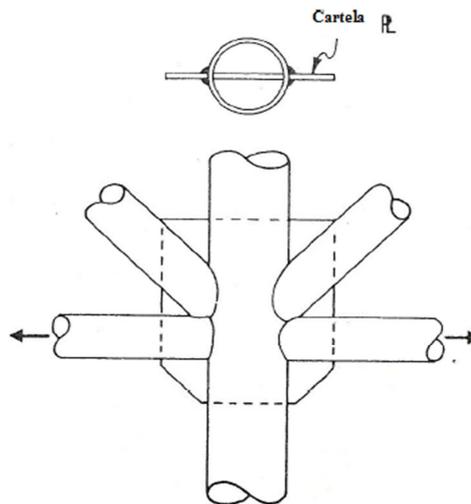


Figura 2-6. Cartela soldada que proporciona fuerza a través del cordón principal cuando otros miembros están conectados a los lados del mismo.
 Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (5)

3.2.2. Camisas o Collares

Las camisas de refuerzo, se colocan como otra solución en el caso donde al cordón principal se conectan distintos miembros secundarios, tal como el ejemplo anterior.

El procedimiento consiste en añadir una “camisa” o “collar” alrededor del miembro principal dentro de la zona de conexión, que cumpla con el espesor requerido en caso que el cordón principal no satisfaga el valor mínimo, y de esta manera, evitar posibles fallas debido al punzonamiento. Sería posible insertar mediante una soldadura, este pequeño tramo de tubo más grueso en la zona de conexión.

Por lo general, los miembros adjuntados al cordón principal deben ser soldados para proporcionar la longitud efectiva requerida y deberán colocarse de la siguiente manera.

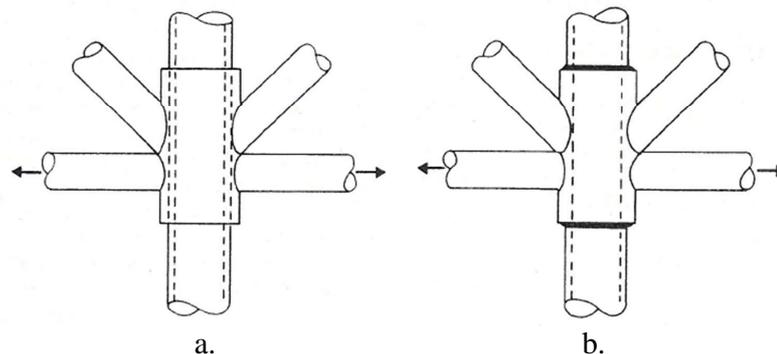


Figura 2-7 Camisa o collar que aumenta el espesor del miembro principal cuando éste no es adecuado.

- a. El cordón principal es reforzado a través de un tubo corto que lo rodea, incrementando el espesor de la SET.
- b. El cordón principal es reforzado a través de un tubo corto que lo rodea, aplicando una soldadura de tope entre los dos extremos del mismo.

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (5)

Aunque las planchas de unión son usadas en conexiones con SET, tienden a rigidizar el miembro principal y como resultado, concentrar el esfuerzo del mismo al final de la plancha.

Las concentraciones de los esfuerzos variaran según la conexión establecida, bien sea con o sin cartelas, tal como se muestra en la *Figura 2-5*.

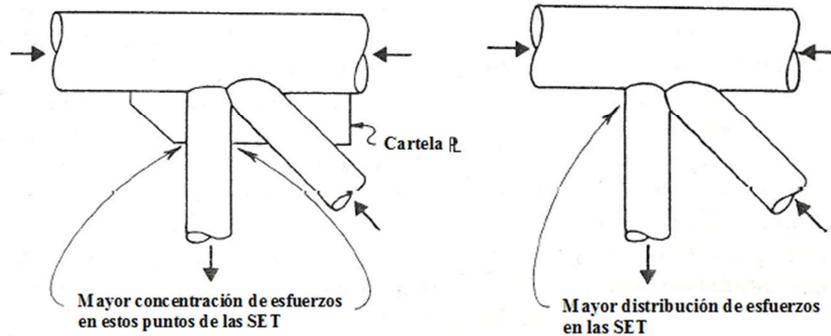


Figura 2-8. Concentración y distribución de esfuerzos en conexiones en las SET
Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (5)

Se sugiere que si se van a usar las planchas de unión, deben ser ahusadas⁹ en sus extremos para dar menor rigidez a la SET, lo que proporciona una distribución más uniforme de los esfuerzos dentro del tubo en este sentido.

4. Soldaduras

La soldadura, es un proceso mediante el cual se unen elementos metálicos, calentándolos hasta el estado fluido o casi fluido, y aplicando presión o no entre sí, con o sin el uso de un material adicional como relleno aporte denominado electrodo. Las primeras aplicaciones de este proceso se realizaron en taller, bajo condiciones controladas y, al obtenerse una mayor experiencia, se aplicó el método en el campo con iguales resultados exitosos.

En la actualidad, es común la construcción de edificios elevados soldados en su totalidad. Con un diseño adecuado, una elección correcta del material y una técnica de soldadura impecable, acompañada de una mano de obra de calidad; el uso de la soldadura puede proporcionar conexiones confiables y seguras.

4.1. Tipos de Juntas.

Esta clasificación depende de la posición de las piezas a unir. Existen cinco tipos básicos de juntas soldadas:

- a. A tope
- b. De esquina
- c. De solape o traslape
- d. En T
- e. De borde

⁹ Término que refiere el corte o afilado de un elemento de conexión

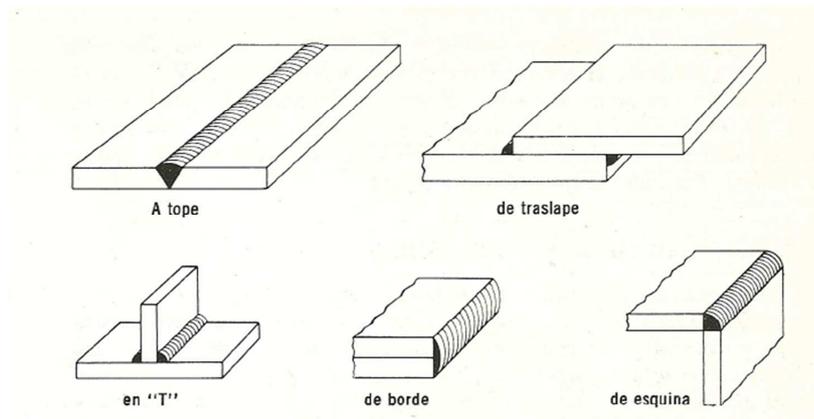


Figura 2-9. Tipos de Juntas Soldadas
Fuente: Referencia Bibliográfica (7)

4.2. Tipos de Soldaduras.

Las soldaduras se clasifican en:

- a. De Filete
- b. De ranura

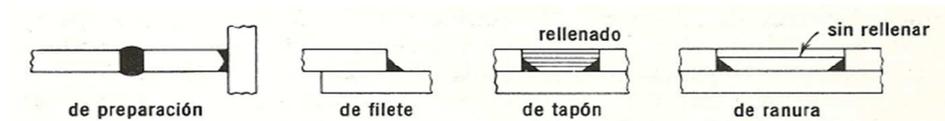


Figura 2-10. Tipos de Soldaduras
Fuente: Referencia Bibliográfica (4)

Para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, el enfoque será realizado en los tipos de soldadura de filete y en ranura, ya que en las conexiones entre SET, son precisamente éstas, las que se emplean para culminar el ensamblaje de las mismas.

4.2.1 Soldaduras de filete.

Son las más comunes en obras de Ingeniería, mayormente aplicadas para juntas de solape, en T y de esquina. Las soldaduras de filete se caracterizan por su forma triangular con lados iguales.

Según la Norma COVENIN MINDUR 1618:1998 “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites, en su Capítulo 23 sobre soldaduras, el espesor mínimo de la garganta efectiva de soldaduras de ranura de penetración parcial se expresa mediante la siguiente tabla:

Tabla 2-8. Tamaño mínimo de soldadura de filete

Espesor del material de la parte más gruesa a unir mm (pulg)	Tamaño mínimo de soldadura de filete D mm
Hasta 6.4 (1/4") inclusive	3
De 6.4 a 12.7 (1/4" - 1/2")	5
De 12.7 a 19 (1/2" - 3/4")	6
Mayor de 19 (3/4")	8

Fuente: Referencia Bibliográfica (10)

4.2.2 Soldaduras en ranura

Se usa cuando las piezas a unir están alineadas en el mismo plano, o con una junta en T. Estas soldaduras exigen la preparación de los bordes de los elementos a unir, los cuales pueden ser en paralelo, en bisel sencillo o doble, en V, en U, o en J, como muestra la *Figura 2-11*. La ranura puede ser de penetración completa o parcial, y las piezas pueden tener espesores diferentes.

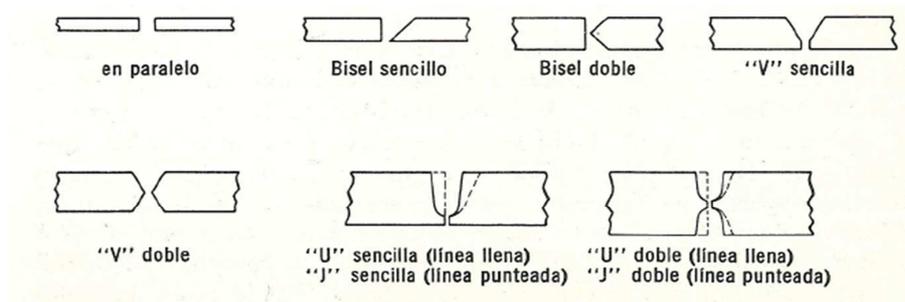


Figura 2-11. Formas de Soldaduras de Preparación

Fuente: Referencia Bibliográfica (4)

Según la Norma *COVENIN MINDUR 1618:1998 “Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites*, en su Capítulo 23 sobre soldaduras, el espesor mínimo de soldadura de filete se expresa mediante la siguiente tabla:

Tabla 2-9. Espesor mínimo de la garganta efectiva de soldaduras de ranura de penetración parcial.

Espesor del material de la parte más gruesa a unir mm (pulg)	Espesor mínimo de la garganta efectiva t mm
Hasta 6.4 (1/4") inclusive	3
De 6.4 a 12.7 (1/4" - 1/2")	5
De 12.7 a 19 (1/2" - 3/4")	6
De 19 a 38 (3/4" - 1 1/2")	8
De 38 a 57 (1 1/2" - 2 1/4")	10
De 57 a 152 (2 1/4" - 6")	13
Mayor de 152 (6")	16

Fuente: Referencia Bibliográfica (10)

4.3. Soldaduras entre SET

Es importante destacar que la transferencia de carga a lo largo de la línea de soldadura en SET, se caracteriza por no conservar un comportamiento uniforme, esto se debe a la diferencia que presentan las paredes de tales secciones en cuanto a su flexibilidad relativa, por lo tanto, dicha variable es tomada en cuenta al momento de proporcionar conexiones soldadas entre SET y conexiones similares.

4.4. Longitud Efectiva L_e

La longitud efectiva L_e de las soldaduras de filete y ranura entre SET deben cumplir con los siguientes requerimientos.

Tabla 2-10. Longitud Efectiva de las Soldaduras de Filete y en Ranura

CASO	Longitud Efectiva (L_e)	Menor ángulo entre bifurcación y cordón principal (θ)	Comentario
Conexiones T, Y y en cruz con SET rectangulares	$2H_b + B_b$	$\theta \leq 50^\circ$ $\theta \geq 60^\circ$	La interpolación lineal será usada al determinar L_e para θ entre 50° y 60°
	$2H_b$		
Brechas entre conexiones tipo K con SET rectangulares	$2H_b + 2B_b$		
	$2H_b + B_b$		
Lámina transversal soldada a la cara de un miembro de la SET	$2 \frac{10F_y t}{(B/t)F_{y1} t_1} b_1 \leq 2b_1$		Se permiten otros criterios racionales

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

Estas provisiones están basadas en el AWS¹⁰ D1.1.

La resistencia de diseño de una conexión para miembros soldados a paredes de una SET, está en función de los parámetros geométricos de los miembros conectados. Generalmente, ésta es menor a la resistencia del cordón principal y en muchos casos no es posible incrementarla aumentando la resistencia de la soldadura. Sin embargo, la soldadura deberá tener un tamaño que proporcione una distribución de carga desigual a lo largo de la misma con la resistencia requerida.

Las provisiones sobre la Longitud Efectiva L_e incluidas en este segmento están destinadas al comportamiento de una conexión dúctil y la prevención de la falla progresiva de la soldadura.

Otros enfoques racionales están disponibles en el AWS D1.1, tal como el uso de la soldadura de filete con un espesor de garganta efectivo de al menos 1.1 veces el espesor del miembro secundario, o el uso de aplicaciones precalificadas a las SET.

5. Cerchas o Celosías

Una cercha es una estructura longitudinal, que transporta cargas sobrepuestas a los apoyos, de igual manera que una viga lo hace. Es más eficiente y más ligero que una viga equivalente que lleva la misma carga por el mismo lapso de tiempo. La estructura consiste de la unión de varios miembros. Su longitud, tamaño y material puede variar dependiendo del tipo de cercha. Las cargas viajan a través de los miembros destacando las fuerzas axiales en una sola dirección, tracción (+) o compresión (-). Todos los

¹⁰ AWS: American Welding Society

miembros de la celosía se encuentran en un plano, que por lo general es vertical, y todos los miembros están unidos en sus extremos con otros miembros, formando una serie de triángulos consecutivos.

El término de “cercha estructural” es un término con más largo alcance que solo “cerchas”. Ésta, incluye todas las estructuras constituidas por miembros de ensamblaje articulado. Axialmente, solo tensión o compresión, ya sea sobre el mismo plano u ordenado en el espacio de formas diferente con o sin orden geométrico. Estas estructuras pueden tener cualquier función principal, tal como vigas, arcos, losas, columnas o paredes.

5.1. Tipos de Cerchas

Cabe destacar, que en el estudio de los tipos de cerchas y sus características estructurales, no se toman en cuenta los efectos horizontales que habitualmente son producidos por cargas de viento, y suponemos que solo están actuando cargas verticales, por su simplicidad.

Por otra parte, para este Trabajo Especial de Grado solo se describirán tres tipos de cercha, debido a que son las más comúnmente usadas en la construcción y además, éstas posteriormente serán utilizadas para realizar el diseño de las conexiones típicas.

5.1.1 Cerchas Tipo Howe

5.1.1.1 Cercha Howe Triangular

Se caracteriza por el hecho de que los miembros a tracción entre los dos cordones principales superior e inferior son todos verticales, mientras que los miembros a compresión diagonales no necesariamente son paralelos entre sí.

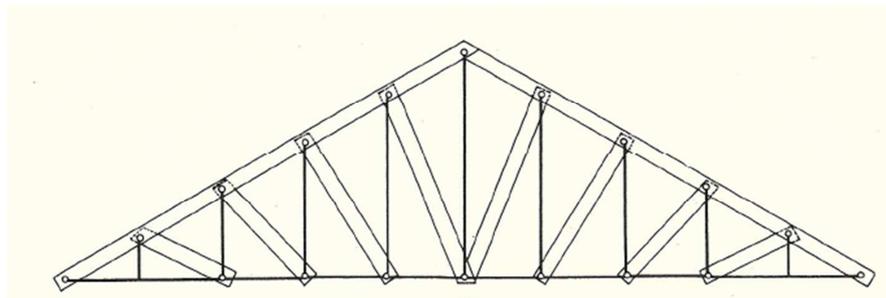


Figura 2-12. Cercha Tipo Howe Triangular
Fuente: Referencia Bibliográfica (9)

5.1.1.2 Cercha Howe Horizontal

Se caracteriza por el hecho de que los miembros a tracción entre los dos cordones son todos verticales, mientras que la inclinación de los miembros a compresión diagonales no necesariamente son paralelos entre sí.

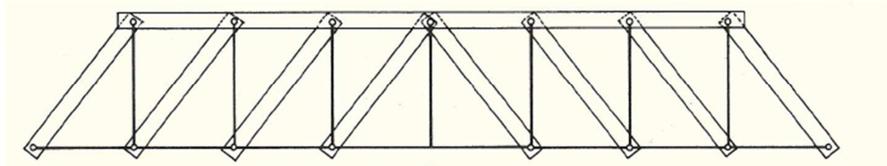


Figura 2-13. Cercha Tipo Howe Horizontal
Fuente: Referencia Bibliográfica (9)

5.1.2 Cerchas Tipo Pratt

5.1.2.1 Cercha Pratt Triangular

Se caracteriza por el hecho de que entre los dos cordones principales, los miembros a compresión, son todos verticales, mientras que los miembros diagonales se encuentran a tracción y no necesariamente son paralelos entre sí.

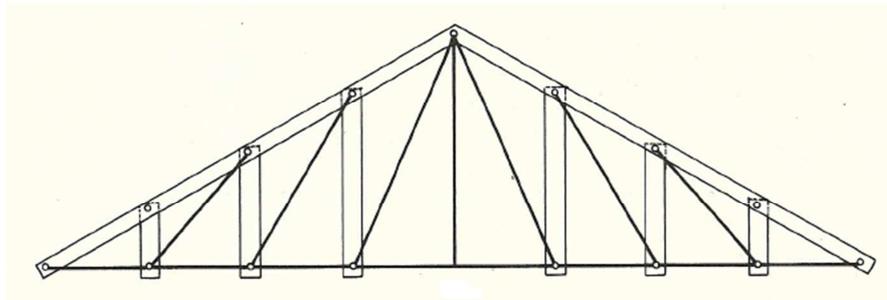


Figura 2-14. Cercha Tipo Pratt Triangular
Fuente: Referencia Bibliográfica (9)

5.1.2.2 Cercha Pratt Horizontal

Se caracteriza por el hecho de que entre los dos cordones principales, los miembros en compresión son todos verticales, y los miembros diagonales, todos paralelos entre si están sometidos a tracción

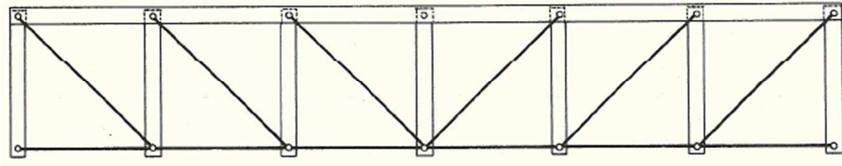


Figura 2-15. Cercha Tipo Pratt Horizontal
Fuente: Referencia Bibliográfica (9)

5.1.3 Cerchas Tipo Warren

Las cerchas tipos Warren son Celosías Horizontales caracterizadas por la igualdad en longitud de todos los miembros de la parte superior e inferior, todos los miembros ya sean a compresión o a tracción, son respectivamente, paralelos entre sí. Cabe destacar que la Cercha tipo Warren original fue divididos en triángulos equiláteros, son estos los tipos comunes, sin embargo, puede haber triángulos isósceles

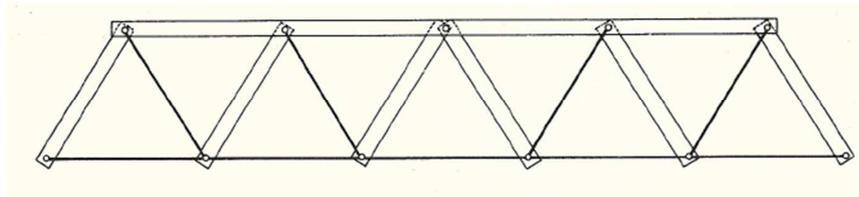


Figura 2-16. Cercha Tipo Warren
Fuente: Referencia Bibliográfica (9)

5.2. Cerchas Tridimensionales

Todas las cerchas antes discutidas, comparten la cualidad común de ser planas, es decir, todos sus miembros y todas las fuerzas aplicadas y las reacciones se encuentran en el mismo plano

Las Cerchas pueden encontrarse, por ejemplo en una superficie continua que no es un plano, y puede ser fatigado con las fuerzas que tienen componentes perpendiculares y tangenciales a esta superficie. Un ejemplo, puede ser encontrado en *The Production Hall* en el *Instituto Técnico de Construcción y del Cemento*, Costilares, España, por el Ingeniero Eduardo Torroja. Las vigas del techo se encuentran sobre una superficie cilíndrica que se extiende, en forma de una concha de barril, desde un apoyo a los otros. Por lo tanto, una sección transversal de la cercha mostraría un arco cuyo ángulo en el centro es de 90° .

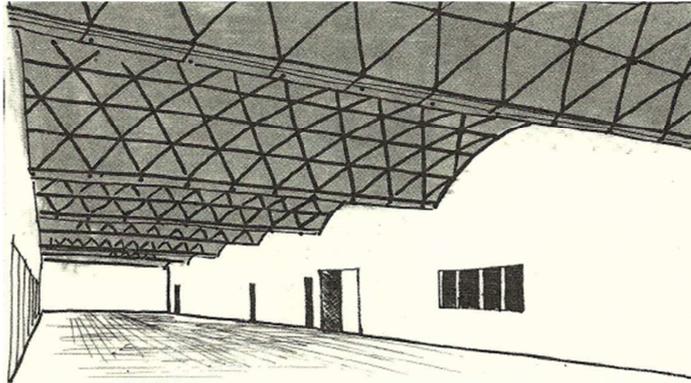


Figura 2-17. Cercha Tridimensional
Fuente: Referencia Bibliográfica (9)

Algunos miembros pueden estar en un solo plano, mientras que otros se encuentran en planos diferentes y a su vez estar interceptados, tal como muestra la Figura 2-15.

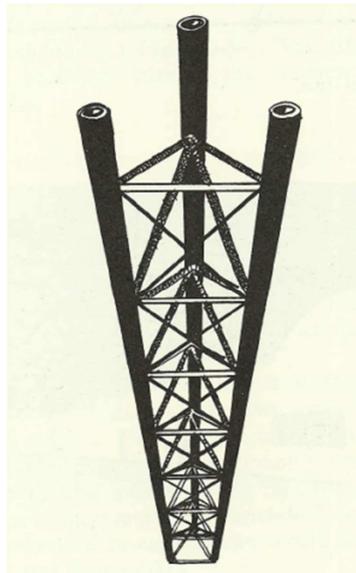


Figura 2-18. Cercha que contiene tres planos
Fuente: Referencia Bibliográfica (9)

La celosía adquiere ligereza y elegancia con una transparencia visual y un cuerpo sin obstrucciones. En manos de los diseñadores, la cercha puede convertirse en una composición escultórica emocionante de líneas en el espacio.

6. Desarrollo de los procedimientos de diseño

6.1. Consideraciones Generales

Para efectos de las conexiones que forman parte del alcance de este Trabajo Especial de Grado, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones generales:

- Las cargas puntuales sobre los nodos o juntas es de 508 Kg/m^2 para el cordón principal superior y 50 Kg/m^2 para el cordón principal inferior.
- Las características de los perfiles de sección tubular están de acuerdo a las implantadas por los catálogos de los materiales disponibles en Venezuela.

6.2. Procedimientos de diseño

Para el diseño de las distintas conexiones dentro del alcance de esta investigación, y de acuerdo a lo explicado en las secciones anteriores, se deben realizar los siguientes chequeos y/o verificaciones en cada uno de ellos:

- Revisión del cumplimiento de los límites de aplicabilidad según el tipo de perfil, ya sea para sección circular o sección rectangular.
- Verificación por tracción en cada uno de los miembros que estén sometidos a estas fuerzas.
- Verificación por compresión en cada uno de los miembros que estén sometidos a estas fuerzas.
- Verificación de la capacidad del perfil según el estado límite de plastificación la pared del cordón.
- Verificación de la capacidad del perfil según el estado límite de ruptura al corte por punzonado.
- Revisión del detallado de la conexión

Otras verificaciones, tal como estados límites de colapso general, distribución desigual de carga, resistencia de paredes laterales y longitud efectiva de la soldadura, no aplican para todos los casos, por lo tanto, se mostrarán únicamente en los ejemplos que así lo requieran.

6.3. Procedimiento Detallado de Diseño

La primera verificación que se realizó fue el cumplimiento de los límites de aplicabilidad, los cuales son distintos para secciones circulares y secciones rectangulares, tal como se aprecia en la siguiente clasificación:

- **Límites de Aplicabilidad**

- **Para SET Circulares**

- 1) Excentricidad de la junta: $-0.55D \leq e \leq 0.35D$, donde D es el diámetro del cordón y e es el desplazamiento positivo de los miembros secundarios.
- 2) Ángulo del miembro secundario: $\theta \geq 30^\circ$.
- 3) Rigidez de la pared: relación del diámetro al espesor de la pared menor o igual a 50 para cordones o igual a 40 para cordones en conexiones en cruz.
- 4) Relación de ancho: $0.2 < D_b/D \leq 1.0$
- 5) Resistencia: F_y menor o igual a 3600 Kg/cm^2 para cordones y miembros secundarios.
- 6) Ductilidad $F_y/F_u \leq 0.8$.

- **Para SET Rectangulares**

- 1) Excentricidad de la junta: $-0.55H \leq e \leq 0.25H$, donde H es la profundidad del cordón 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 pared a su espesor menor o igual a 35 para cordones y miembros secundarios, también menor o igual a $1.25\sqrt{E/F_{yb}}$ 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 ≤ 2.0 .
- 6) Ductilidad $F_y/F_u \leq 0.8$.

7) Otros límites aplican para criterios específicos.

- **Verificación de Resistencia de Diseño de Tensión de rotura.**

(a) Para cedencia sobre el área total

$$\begin{aligned}\phi_t &= 0.9 \\ P_n &= F_y A_g\end{aligned}$$

(b) Para la ruptura sobre el área neta efectiva

$$\begin{aligned}\phi_t &= 0.75 \\ P_n &= F_u A_e\end{aligned}$$

- **Verificación de Resistencia de Diseño a Compresión**

$$\begin{aligned}\phi_c &= 0.85 \\ P_n &= F_{cr} A_g\end{aligned}$$

(a) Para $\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1.5$,

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

(b) Para $\lambda_c \sqrt{Q} > 1.5$,

$$F_{cr} = \left[\frac{0.8777}{\lambda_c^2} \right] F_y$$

Donde:

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

Q debe ser determinado según lo siguiente:

(a) Para $\lambda \leq \lambda_r$ en la Sección 2.2, $Q = 1$

(b) Para $\lambda > \lambda_r$ en la Sección 2.2,

(i) Para SET circulares con $\lambda < 0.448 E/F_y$

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

(ii) Para SET rectangulares,

$$Q = \frac{\text{Área efectiva}}{A_g}$$

Donde el área efectiva es igual a la sumatoria de las áreas efectivas de los lados utilizando:

$$b_e = 1.91t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0.381}{b/t} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b$$

Donde $f = P_u/A_g$

6.3.1. Conexiones Tipo T y Y

- Selección de la Cercha en la cual se hará el diseño de la conexión.
- Se seleccionan los perfiles o elementos tubulares que conformarán la conexión
- Obtención de Fuerzas Axiales
 $KI(P)$
 $K2(p)$
- Verificación del cumplimiento con los límites de aplicabilidad, según sea la geometría de la sección.
- Verificación por tracción en cada uno de los miembros que estén sometidos a estas fuerzas.
- Verificación por compresión en cada uno de los miembros que estén sometidos a estas fuerzas.
- Verificación de los Estados Límites

Tabla 2-11. Verificación de los Estados Límites

<i>Estados Límites</i>	<i>Criterios para SET Circular</i>	<i>Criterios para SET Rectangular</i>
<i>Plastificación de la pared del cordón</i>	$\phi = 0.80$ $P_n \text{ sen } \theta = t^2 F_y \left[6\pi\beta Q_q \right] Q_f$ $Q_q = \left(\frac{1.7}{\alpha} + \frac{0.18}{\beta} \right) Q_\beta^{0.7(\alpha-1)}$ Para $\beta \leq 0.6$, $Q_\beta = 1.0$ Para $\beta > 0.6$, $Q_\beta = \frac{0.3}{\beta(1-0.833\beta)}$ $\alpha = 1.7$ $Q = 1.0 - \lambda\gamma U^2$	$\phi = 1.0$ $P_n \text{ sen } \theta = F_y t^2 \left[\frac{2\eta}{1-\beta} + \frac{4}{\sqrt{1-\beta}} \right] Q_f$ No requiere ser verificado cuando $\beta > 0.85$. $Q_f = 1$ cuando el cordón principal está en tensión $Q_f = 1.3 - 0.4U/\beta \leq 1$ Cuando el cordón principal está en compresión.

	$U^2 = \left(\frac{P_u}{A_g f_y}\right)^2 + \left(\frac{M_u}{S f_y}\right)^2$	$U = \left \frac{P_u}{A_g F_y}\right + \left \frac{M_u}{S F_y}\right $
Ruptura al corte por punzonado.	$\phi = 0.95$ $P_n \text{ sen } \theta = \pi D_b t (0.6 F_y)$	$\phi = 0.95$ $P_n \text{ sen } \theta = 0.6 F_y t B (2\eta + 2\beta_{eop})$ $\beta_{eop} = 5\beta/\gamma$ no deberá exceder del valor de β . Este estado límite no se verifica cuando $\beta > 1 - 1/\gamma$ o cuando $\beta < 0.85$.
Colapso general	$\phi = 0.80$ $P_n \text{ sen } \theta = 1.8 t^2 F_y (1.9 + 7.2\beta) Q_\beta Q_f$	No aplica
Resistencia de las paredes laterales	No aplica	<ul style="list-style-type: none"> Para cedencia local, $\phi = 1.0$ para una bifurcación a tracción $= 0.8$ para una bifurcación a compresión $P_n \text{ sen } \theta = 2t F_y (5k + N)$ Aplastamiento de las paredes laterales, $\phi = 0.75$ $P_n \text{ sen } \theta = 1.6 t^2 [1 + 3N/H] \sqrt{E F_y} Q_f$
Distribución desigual de carga	No aplica	$\phi = 0.95$ $P_n = F_{yb} t_b [2H_b + 2b_{eoi} - 4t_b]$ $b_{eoi} = \frac{10}{B/t} \frac{F_y t}{F_{yb} t_b} B_b \leq B_b$ No requiere ser verificado cuando $\beta < 0.85$
Longitud efectiva de soldadura	No aplica	$L_e = 2H_b + B_b \quad \text{para } \theta \leq 50 \text{ grados}$ $L_e = 2H_b \quad \text{para } \theta \geq 60 \text{ grados}$ La interpolación lineal será usada al determinar L_e para valores de θ entre 50 y 60 grados.

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

6.3.2. Conexiones Tipo K

- Selección de la Cercha en la cual se hará el diseño de la conexión.
- Se seleccionan los perfiles o elementos tubulares que conformarán la conexión
- Obtención de Fuerzas Axiales

$$KI(P)$$

$$K2(p)$$

- Verificación del cumplimiento con los límites de aplicabilidad, según sea la geometría de la sección.
- Verificación por tracción en cada uno de los miembros que estén sometidos a estas fuerzas.
- Verificación por compresión en cada uno de los miembros que estén sometidos a estas fuerzas.
- Verificación de los Estados Límites

Tabla 2-12. Verificación de los Estados Límites

Estados Límites	Criterios para SET Circular	Criterios para SET Rectangular ^a
Plastificación de la pared del cordón	$\phi = 0.80$ $P_n \text{ sen } \theta = t^2 F_y \left[6\pi\beta Q_q \right] Q_f$ $Q_q = \left(\frac{1.7}{\alpha} + \frac{0.18}{\beta} \right) Q_\beta^{0.7(\alpha-1)}$ <p>Para $\beta \leq 0.6$, $Q_\beta = 1.0$ Para $\beta > 0.6$, $Q_\beta = \frac{0.3}{\beta(1-0.833\beta)}$ $\alpha = 1.7$</p> $Q = 1.0 - \lambda\gamma U^2$ $U^2 = \left(\frac{P_u}{A_g f_y} \right)^2 + \left(\frac{M_u}{S f_y} \right)^2$	$\phi = 0.90$ $P_n \text{ sen } \theta = F_y t^2 \left[9.8\beta_{eff} \sqrt{\gamma} \right] Q_f$ <p>$Q_f = 1$ cuando el cordón principal está en tensión $Q_f = 1.3 - 0.4U/\beta \leq 1$ Cuando el cordón principal está en compresión.</p> $U = \left \frac{P_u}{A_g F_y} \right + \left \frac{M_u}{S F_y} \right $
Ruptura al corte por punzonado.	$\phi = 0.95$ $P_n \text{ sen } \theta = \pi D_b t (0.6 F_y)$	$\phi = 0.95$ $P_n \text{ sen } \theta = (0.6 F_y) t B \left[2\eta + \beta + \beta_{eop} \right]$ <p>Sólo requiere ser verificado si $B_b < B - 2t$ o si el miembro secundario no es de sección cuadrada.</p>

Colapso general	$\phi = 0.80$ $P_n \text{ sen } \theta = 1.8t^2 F_y (1.9 + 7.2\beta) Q_\beta Q_f$	No aplica
Resistencia de las paredes laterales	No aplica	No aplica
Distribución desigual de carga	No aplica	$\phi = 0.95$ $P_n = F_{yb} t_b [2H_b + B_b + b_{eoi} - 4t_b]$ $b_{eoi} = \frac{10}{B/t} \frac{F_y t}{F_{yb} t_b} B_b \leq B_b$ Este límite sólo requiere ser verificado si el miembro secundario no es de sección cuadrada
Longitud efectiva de soldadura	No aplica	$L_e = 2H_b + 2B_b$ para $\theta \leq 50$ grados $L_e = 2H_b + B_b$ para $\theta \geq 60$ grados La interpolación lineal será usada al determinar L_e para valores de θ entre 50 y 60 grados.

Notas:

^a Adicional a los límites de aplicabilidad se deben cumplir los siguientes límites.

- 1) $B_b/B \geq 0.1 + \gamma/50$
- 2) $\beta_{eff} \geq 0.35$
- 3) $\xi \geq 0.5(1 - \beta_{eff})$
- 4) El menor $B_b > 0.63$ veces el mayor B_b

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

7. Plantillas para el Corte de las SET

Luego de haber realizado el diseño de una conexión se requiere del montaje de la misma. A diferencia de las SET rectangulares y cuadradas, una conexión con SET circular es un trabajo que debe realizarse con extremo cuidado, ya que éstas no presentan una superficie plana, es por esto que es necesario algún tipo de plantilla que defina el trazado de la curva por donde será cortado el tubo, para así lograr un buen ensamblaje de la junta, mejor fijación y su buen funcionamiento.

Las plantillas, se ubican correctamente alrededor del tubo a ser cortado, y se transfieren al miembro realizando las marcas necesarias con tiza; luego se realiza el trabajo de corte al tubo mediante un soplete dando como resultado el trazado de una curva adecuada para la conexión.

7.1. Métodos para realizar una plantilla

Existen dos métodos para realizar una plantilla, los cuales abarcarán todas las conexiones posibles en cualquier ángulo de posición y cualquier combinación de SET. Cabe destacar que en el trabajo estructural no es necesario realizar un hueco dentro del tubo principal de la conexión, como se hace en tuberías a presión, por lo tanto, no es necesaria una segunda plantilla.

a. Método Gráfico

Como se muestra en las figuras

- Dibujar una vista lateral de la conexión, figura (a). dibujar una vista en un extremo de la conexión, figura (b).
- Dividir el tubo A en partes iguales, por ejemplo en 16 partes y enumerarlas como 1, 2, 3, etc., hasta el 16. Dibujar líneas desde este punto paralelas al eje del tubo A en ambas figuras.
- Donde las líneas paralelas del tubo A intercepten al tubo B, como en la figura (b) en, marque el punto D
- Desde el punto D, dibuje líneas paralelas al eje de tubo más grande B, extendiéndose a lo largo de la figura (a)
- Donde estas líneas paralelas del tubo B intercepten las líneas paralelas correspondientes al tubo A, en la figura (a), marque el punto E. Nombre este punto de acuerdo con la división anterior realizada del tubo A.
- Dibujar una línea de longitud igual al perímetro del diámetro externo del tubo A, y dividir en 16 partes iguales.
- Trazar una línea z-z que sea perpendicular al eje del tubo A, y medir la distancia h que existe entre la línea z-z y la intersección de las paralelas ya antes trazadas.

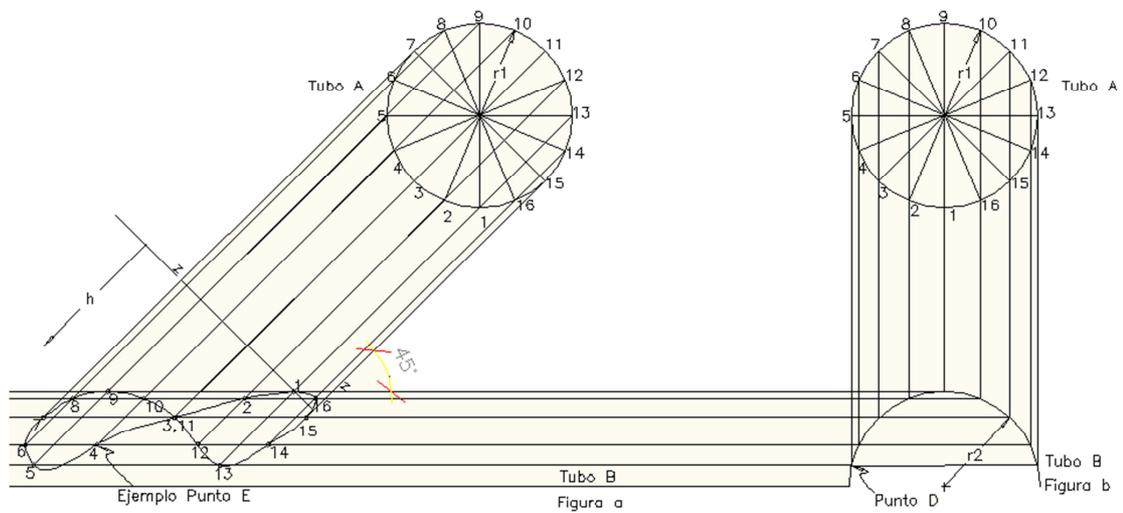


Figura 2-19. Método gráfico
Fuente: Elaboración Propia

Luego de este procedimiento se obtiene la plantilla, la cual variará dependiendo del tipo de conexión que se vaya a utilizar. A continuación, se presentan dos tipos de plantillas para conexión tipo T y tipo Y respectivamente:

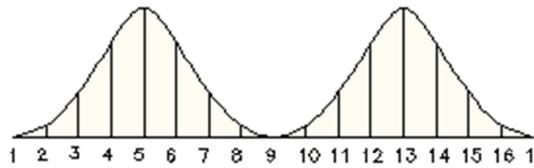


Figura c
Plantilla desarrollada para tubo A
Conexión tipo T

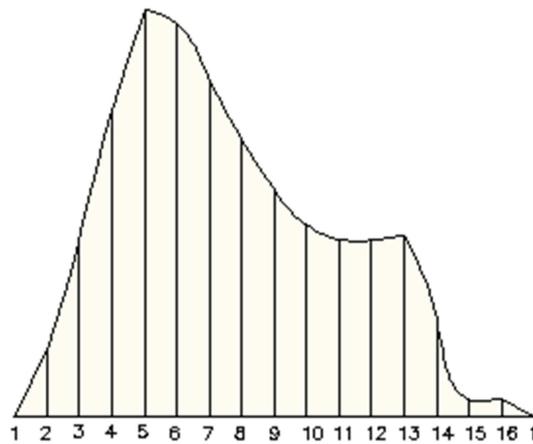


Figura c
Plantilla desarrollada para tubo A
Conexión tipo Y

Figura 2-20. Plantillas para Conexiones T y Y
Fuente: Elaboración Propia

b. Método Analítico

Con este método, se obtendrá el valor de h . Éste reduce la aplicación del método gráfico al uso de una simple fórmula que dependerá del ángulo de intersección, de los radios internos y externos de los miembros que conforman la junta y del ángulo α .

$$h = \frac{r_2 - \sqrt{r_2^2 - (a - r_1 \text{sen}\alpha)^2}}{\text{sen}\phi} + \frac{r_1}{\text{tan}\phi} (1 - \text{cos}\alpha)$$

Donde prácticamente todas las conexiones estructurales no están desfasadas, es decir $\alpha = 0$, reduciendo la ecuación a lo siguiente:

$$h = \frac{r_2 - \sqrt{r_2^2 - r_1^2 \text{sen}^2 \alpha}}{\text{sen} \emptyset} + \frac{r_1}{\text{tan} \emptyset} (1 - \text{cos} \alpha)$$

O de manera más simple:

$$h = \frac{r_2}{\text{sen} \emptyset} [A] + \frac{r_1}{\text{tan} \emptyset} [B]$$

Donde:

$$[A] = 1 - \sqrt{1 - K^2 \text{sen}^2 \alpha}$$

$$K = r_1/r_2$$

$$[B] = 1 - \text{cos} \alpha$$

r_1 = Radio interno del miembro secundario

r_2 = Radio externo del cordón principal

\emptyset = Ángulo de intersección entre los ejes de los tubos

h = Valor de la ordenada para el miembro secundario, para cualquier posición α

α = Posición alrededor del miembro secundario

Existen tablas de coordenadas disponibles para la mayoría de los tamaños estándares de tubos y ángulos de intersección (15, 30, 45, 60 y 90 grados), que facilitan la aplicación de esta ecuación.

Tabla 2-13. *Propiedades de los ángulos polares para 12 posiciones*

12 Posiciones				
Posicion	α	sen α	sin ² α	1 - cos α
1	0,0	0	0	0
2	30,0	0,5000	0,2500	0,1340
3	60,0	0,8660	0,7500	0,5000
4	90,0	1,0000	1,0000	1,0000
5	120,0	0,8660	0,7500	1,5000
6	150,0	0,5000	0,2500	1,8660
7	180,0	0,0000	0,0000	2,0000
8	210,0	-0,5000	0,2500	1,8660
9	240,0	-1	1	1,5000
10	270,0	-1,0000	1,0000	1,0000
11	300,0	-0,8660	0,7500	0,5000
12	330,0	-0,5000	0,2500	0,1340
1	360,0	0,0000	0,0000	0,0000

Fuente: Referencia Bibliográfica (5)

Tabla 2-14. *Propiedades de los ángulos polares para 16 posiciones*

16 Posiciones				
Posicion	α	sen α	sin ² α	1 - cos α
1	0,0	0	0	0
2	22,5	0,3827	0,1464	0,0761
3	45,0	0,7071	0,5000	0,2929
4	67,5	0,9239	0,8536	0,6173
5	90,0	1,0000	1,0000	1,0000
6	112,5	0,9239	0,8536	1,3827
7	135,0	0,7071	0,5000	1,7071
8	157,5	0,3827	0,1464	1,9239
9	180,0	0	0	2,0000
10	202,5	-0,3827	0,1464	1,9239
11	225,0	-0,7071	0,5000	1,7071
12	247,5	-0,9239	0,8536	1,3827
13	270,0	-1,0000	1,0000	1,0000
14	292,5	-0,9239	0,8536	0,6173
15	315,0	-0,7071	0,5000	0,2929
16	337,5	-0,3827	0,1464	0,0761
1	360,0	0	0	0

Fuente: Referencia Bibliográfica (5)

8. Orden de Ensamblaje

El último procedimiento que se realiza para culminar exitosamente las conexiones se refiere al montaje de las secciones que se desean unir, éste debe realizarse con sumo cuidado y requiere de ciertos conocimientos previos tal como diferenciar cuáles miembros trabajarán a compresión y cuáles estarán sometidos a fuerzas de tracción.

Cuando los distintos miembros se cruzan en una conexión, regularmente el miembro a tracción es el primero en ser soldado completamente rodeando el contorno del cordón principal. De forma continua, la bifurcación sometida a compresión, la cual ha sido previamente cortada en taller, será solapada al miembro en tracción y al cordón principal. El mayor cuidado está dirigido hacia la soldadura que conecta el miembro a tracción, por lo tanto, se hace todo lo posible para obtener la mejor conexión en estos miembros.

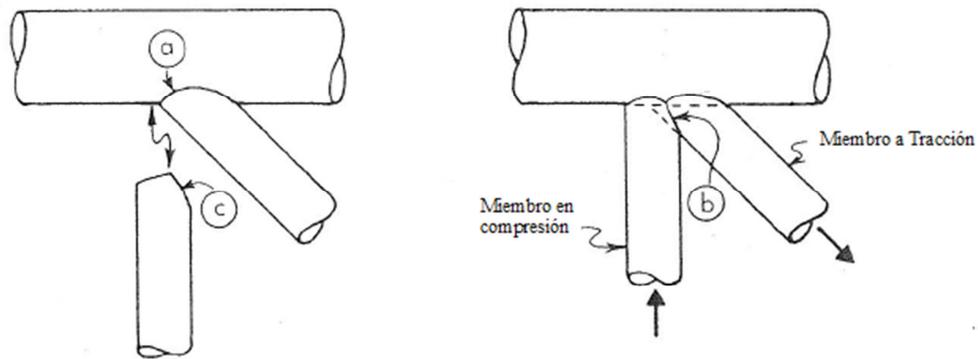


Figura 2-21. Orden de ensamblaje
Fuente: Referencia Bibliográfica (5)

Aunque todas las soldaduras aplicadas a las conexiones entre SET son consideradas importantes y factor fundamental para el buen funcionamiento de éstas, evitando fallas y colapsos futuros, la soldadura que conecta el miembro a tracción con el cordón principal no requiere tanto detalle y esmero significativo por parte del soldador, pues la mayor componente vertical en el miembro a tracción es transferida directamente hacia el miembro a compresión a través de la soldadura de esta superposición parte (b), es decir, la transferencia de cargas y esfuerzos que allí ocurren se realiza sin tener que circular por la soldadura que conecta el miembro a tracción con el miembro principal horizontal (a).

Las figuras 2-21 y 2-22 describen un ensayo realizado en la Universidad de California, "Research on Tubular Connections in Structural Work" (la investigación sobre las conexiones tubulares en el trabajo estructural) J. G. Bouwkamp, WRC # 71, Aug. 1961.

Este ensayo muestra el efecto que la superposición de los miembros que se cruzan tiene en la resistencia de la junta.

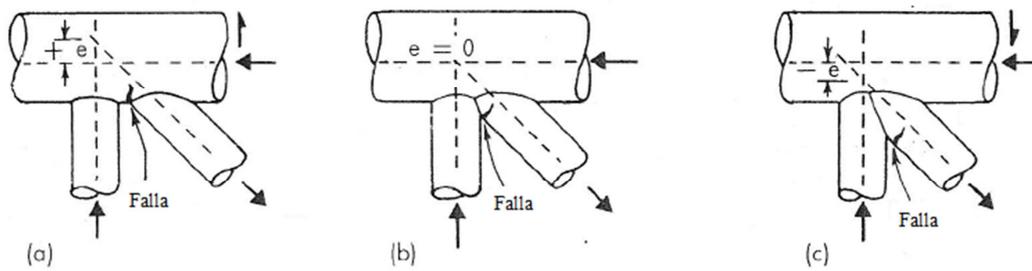


Figura 2-22. Unión de Miembros a Tracción y Compresión al cordón principal
 Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (5)

En la *Figura 2-21* y *2-22* caso c, se nota que a mayor excentricidad negativa significa un mayor solapamiento de los miembros secundarios y una mayor rigidez del miembro principal. Con este mayor solapamiento de los miembros secundarios, la transferencia de la componente vertical del miembro diagonal en el elemento vertical, se producirá antes de que entre el miembro principal horizontal. El ensayo anterior muestra que estas conexiones tienen mayor resistencia, más elevada que el propio tubo. En los tres casos anteriores se produce la falla en la pared del tubo adyacente a la conexión soldada.

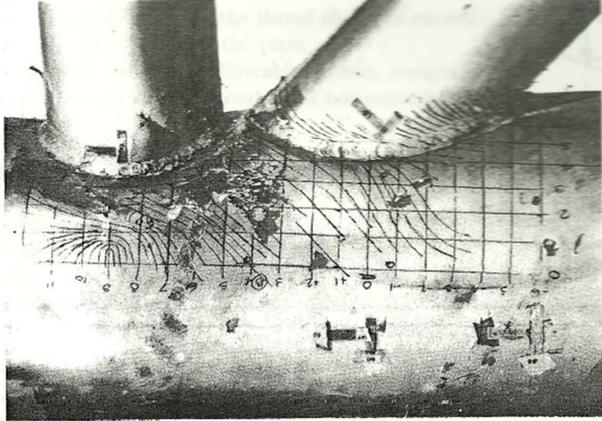


Figura 2-23a. Esta conexión (Figura 2-22a) tiene excentricidad positiva

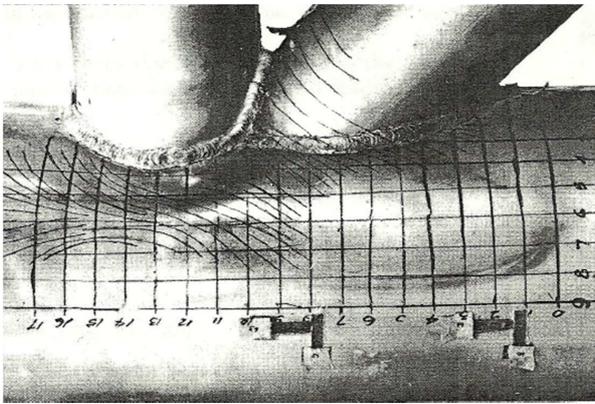


Figura 2-23b. Esta conexión (Figura 2-22b) no tiene excentricidad

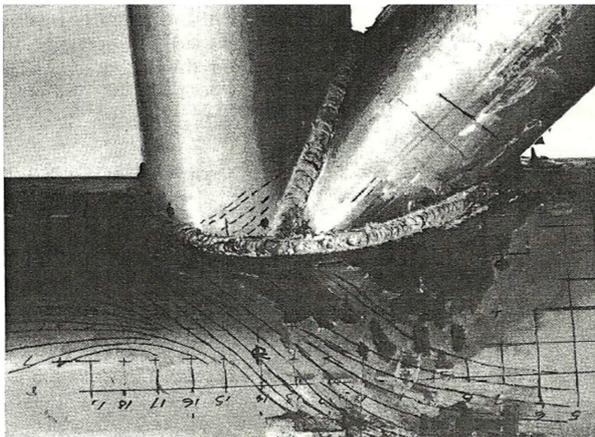


Figura 2-23c. Esta conexión (Figura 2-22c) tiene excentricidad negativa

Figura 2-23. Casos de excentricidad en conexiones entre SET
Fuente: Referencia Bibliográfica (5)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo, se define el marco metodológico para el desarrollo de esta investigación, contemplando las distintas fases que se siguieron para la ejecución de la misma. Además, se definen las variables que fueron analizadas junto al enfoque y metodología utilizada para la consecución de los objetivos planteados al inicio.

1. Diseño de la Investigación

Como ya se ha hecho referencia en los capítulos anteriores, la investigación desarrollada tiene como propósito fundamental diseñar conexiones típicas para cerchas con elementos tubulares, acoplando la norma americana a los materiales fabricados en Venezuela, mostrando ejemplos que sirvan al Ingeniero Estructural como herramienta para futuros diseños.

Para el cumplimiento de los objetivos, la investigación se definió como *Investigación Documental*, basada en una revisión bibliográfica que cuenta con toda la información necesaria especializada en el tema de diseños de conexiones con secciones estructurales tubulares y aquellos aspectos relacionados con éstos.

En primer lugar, se revisaron los requisitos que establece la Normativa Americana AISC en varias de sus especificaciones para el diseño de conexiones entre secciones tubulares. Específicamente, se tomó en cuenta las Especificaciones LRFD (*Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Sections*) del AISC en su actualización de Noviembre 2000. Cabe destacar, que la Norma Venezolana vigente COVENIN 1618:1998 “*Estructuras de Acero para Edificaciones, Método de los Estados Límites*” no aplica para este tipo de conexiones, pues en ninguno de sus capítulos hacen referencia a uniones entre tubos o elementos tubulares. Sin embargo, esta Norma fue revisada adaptando ciertas secciones de interés al presente trabajo.

Asimismo, se revisaron las recomendaciones y procedimientos de diseño publicados en la actualización de la Guía 24 de Diseño *Hollow Structural Section Connections*, en su primera Edición, la cual entró en vigencia el presente año y está relacionada al diseño de las conexiones que forman parte del alcance de esta investigación.

Por otro lado, se consultaron distintos artículos técnicos y bibliografía especializada en el tema, recopilando la información requerida para la realización de los diversos ejemplos de diseños de conexiones con elementos tubulares para cerchas planas, lo cual, en definitiva, es el objetivo principal de esta investigación.

2. Operacionalización de los Objetivos del Trabajo Especial de Grado

Las siguientes variables fueron precisadas con la finalidad de determinar los distintos elementos que conformarán los ejemplos de diseños de las conexiones, para así, lograr el cumplimiento de los objetivos planteados al inicio de la investigación.

El objetivo general del presente trabajo es Diseñar conexiones típicas para cerchas con elementos tubulares. La operacionalización de los objetivos, se define tal como se muestra en la siguiente clasificación:

- **Objetivos Específicos:**

- a) Revisión de la bibliografía existente acerca del diseño de conexiones típicas para cerchas con elementos tubulares (SET).
 - Variables: Normas, Guía de Diseño AISC, Catálogos de Productos disponibles en Venezuela, libros de texto.
 - Técnicas: Análisis documental de fuentes bibliográficas.
 - Instrumentos: Citas y notas de referencias bibliográficas, literatura especializada, tablas, ecuaciones.
 - Fuentes de Información: Normas vigentes, bibliografía especializada, guía de diseño, artículos técnicos, Internet.

- b) Desarrollo de procedimientos de diseño de conexiones con elementos tubulares en cerchas, de acuerdo a las Especificaciones LRFD-HSS, apoyada en la Guía 24 de Diseño *Hollow Structural Section Connections*, en su primera Edición, ambas del AISC, en sus actualizaciones de los años 2000 y 2010 respectivamente.
 - Variables: Requisitos normativos para el diseño de conexiones.
 - Técnicas: Análisis documental de fuentes bibliográficas.
 - Instrumentos: Citas y notas de referencias bibliográficas, literatura especializada, tablas, ecuaciones.
 - Fuentes de Información: Normas vigentes, bibliografía especializada, guía de diseño, artículos técnicos, Internet.

- c) Desarrollo de ejemplos de diseños de conexiones típicas para cerchas con secciones tubulares, aplicando las Especificaciones LRFD-HSS, la Guía 24 de Diseño *Hollow Structural Section Connections*, en su primera Edición, ambas del AISC y bibliografía especializada en el tema.
 - Variables: Tipo de conexión, geometría de la sección, procedimientos de diseño.
 - Técnicas: Análisis documental de fuentes bibliográficas.
 - Instrumentos: Citas y notas de referencias bibliográficas, literatura especializada, tablas, ecuaciones.

- Fuentes de Información: Normas vigentes, bibliografía especializada, guía de diseño, artículos técnicos, Internet, razonamiento y criterio propio.
- d) Verificar y analizar el cumplimiento de los materiales disponibles en Venezuela, con los requisitos establecidos en las Especificaciones LRFD-HSS del AISC.
- Variables: Tipo de conexión, geometría de la sección, procedimientos de diseño.
 - Técnicas: Análisis documental de fuentes bibliográficas.
 - Instrumentos: Catálogos de propiedades de los materiales, diseños de conexiones realizados.
 - Fuentes de Información: Normas vigentes, catálogos de propiedades de materiales, resultados de los diseños ejecutados.
- e) Plantear la introducción de las Especificaciones LRFD-HSS del AISC a la Norma Venezolana COVENIN.
- Variables: Requisitos normativos para el diseño de conexiones
 - Técnicas: Análisis documental de fuentes bibliográficas.
 - Instrumentos: Normas, catálogos de propiedades de los materiales, diseños de conexiones realizados.
 - Fuentes de Información: Normas vigentes, catálogos de propiedades de materiales, resultados de los diseños ejecutados.

3. Fases de la Investigación

El proceso de desarrollo de este trabajo está enmarcado por las siguientes fases de investigación: Fase Organizativa, Fase Investigativa, Fase Aplicada, Fase de Integración y Fase de Escritura de Reporte Final.

La Fase Organizativa, incluyó la identificación del tema y la narración de un breve ensayo describiendo la investigación.

La Fase Investigativa, constituyó el establecimiento del problema de investigación, descripción de los objetivos que se llevaron a cabo, justificación, otros estudios o proyectos similares que sirven de marco de referencia, limitaciones del estudio o proyecto, la revisión de literatura, referencias teóricas aplicables para la resolución del problema de investigación.

La Fase Aplicada consistió en la descripción de la metodología a seguir para la resolución del problema de investigación, señalando los instrumentos y técnicas empleadas. Conjuntamente, se procedió a realizar los ejemplos de diseños de conexiones con elementos tubulares en cerchas siguiendo la metodología ya establecida.

La Fase de Integración se refirió al desarrollo de conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación.

Finalmente, la Fase de Escritura de Reporte donde se enmarcó el reporte escrito en su versión final.

4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de datos

Como ya se ha mencionado anteriormente, para el cumplimiento de los objetivos, la investigación se definió como *Investigación Documental*, la recolección de datos estuvo basada en la revisión bibliográfica que cuenta con toda la información necesaria especializada en el tema de diseños de conexiones con secciones estructurales tubulares. Esta revisión constó del estudio y análisis de fuentes documentales, normativas vigentes, guía de diseño, artículos técnicos, catálogos de propiedades de materiales e internet.

A través de esta técnica, se obtuvo la información necesaria para establecer el marco de referencia conceptual de esta investigación, el cual fue de suma importancia para el desarrollo de los ejemplos de conexiones típicas para cerchas con elementos tubulares, y en resumen, el desarrollo completo de este trabajo.

CAPÍTULO IV

DISEÑOS DE CONEXIONES

En el presente capítulo, se procedió a la realización de los ejemplos de diseño de conexiones, no sin antes establecer los parámetros que coincidirán en los distintos casos por igual, tal como, características de las cerchas elegidas, solicitaciones actuantes y la obtención de fuerzas axiales en cada elemento que conforma la conexión.

1. Generalidades

a) Características de las Cerchas

Para la realización de los ejemplos de diseño de conexiones para cerchas, siguiendo las limitaciones anteriormente señaladas en el *Capítulo 1*, se emplearon cerchas Tipo Warren, Howe y Pratt, en las cuales se diseñó la conexión en su junta más desfavorable, tanto a tracción como a compresión. A continuación se describen las características comunes para los tres tipos de cerchas.

- 10 paneles
- Longitud: $15m$
- Altura: $1.5m$
- Separación entre juntas o nodos: $1.5m$
- Separación entre Cerchas: cada $6m$

b) Solicitaciones Actuantes

Para efectos de diseño, se seleccionaron valores de cargas aplicadas dentro del rango que comúnmente soportan las cerchas, las cuales fueron mayoradas siguiendo los requerimientos normativos. Para cada uno de los ejemplos de diseño realizados se emplearon las siguientes cargas:

- Acción Permanente:

$$CP = 290 \text{ Kg/m}^2$$

- Acción Variable:

$$CV = 100 \text{ Kg/m}^2$$

- Mayoración de Cargas:

$$\begin{aligned} CU &= 1.2CP + 1.6CV \\ CU &= 1.2(290 \text{ Kg/m}^2) + 1.6(100 \text{ Kg/m}^2) \\ CU &= 508 \text{ Kg/m}^2 \end{aligned}$$

- Carga en cada nodo o junta de las Cerchas

Las cargas aplicadas tanto en la parte superior como en la zona inferior de las cerchas son desiguales, se asumió que la carga que soporta el cordón superior es de 508 Kg/m^2 , mientras que en el cordón inferior se asumió un valor de 50 Kg/m^2 , el cual se atribuye a la instalación de aires acondicionados, lámparas, entre otros.

- Cordón Principal Superior de la Cercha:

$$P = (508 \text{ Kg/m}^2)(6\text{m})(1.5\text{m})$$
$$P = 4572 \text{ Kg}$$

Para el caso de las conexiones tipo Y, la carga aplicada P es $\frac{1}{2}P$

- Cordón Principal Inferior de la Cercha:

$$p = (50 \text{ Kg/m}^2)(6\text{m})(1.5\text{m})$$
$$p = 450 \text{ Kg}$$

c) Fuerzas Axiales

Las fuerzas axiales presentes en cada uno de los miembros, fueron obtenidas mediante el uso de tablas destinadas a la obtención de coeficientes de fuerzas axiales, de manera, que al realizar el producto entre el coeficiente (K) que corresponda a la cercha en estudio, por la carga actuante en las juntas, se definan las fuerzas axiales que tendrán tanto los cordones superior e inferior, como los miembros secundarios de la conexión.

Finalmente, las fuerzas axiales totales actuantes en los miembros que conforman la conexión, se calcularon mediante la sumatoria del producto de los coeficientes K_1 y K_2 por las solicitaciones en cada nodo, tanto del cordón principal superior como del cordón principal inferior P y p respectivamente.

2. Diseño de Conexiones Típicas para Cerchas con Elementos Tubulares

Mediante la aplicación de los criterios y provisiones investigados en los capítulos anteriores, se procedió a la realización de ejemplos de conexiones típicas adaptándolas a las propiedades publicadas en los catálogos de los materiales disponibles en Venezuela.

2.1. Conexión Tipo K con Cordón Principal a Compresión

Cercha Tipo Warren 10 Paneles.
SET Cuadradas

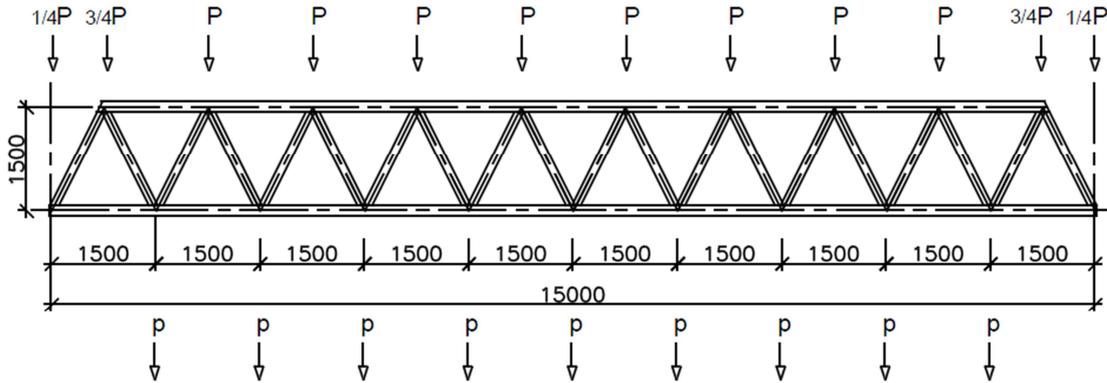
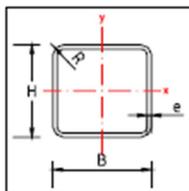


Figura 4-1. Cercha Tipo Warren 10 Paneles.
Fuente: Elaboración Propia

Las propiedades geométricas de los siguientes perfiles fueron tomadas de los catálogos vigentes de los tubos estructurales de acero disponibles en Venezuela

Tabla 4-1. Propiedades geométricas de las SET.



ASTM A500 -03A Grado C	
$F_y =$	3500 kg/cm ²
$F_u =$	4360 kg/cm ²

Miembro	Nomenclatura	H cm	b cm	t cm	A cm ²
Cordon Principal (4) y (5)	SET 200x200x7.00	20	20	0,7	52,36
Miembro Secundario (10)	SET 70x70x2.25	7	7	0,225	5,92
Miembro Secundario (15)	SET 70x70x2.25	7	7	0,225	5,92

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (8)

Cargas aplicadas a la cercha

$$CP = 290 \text{ Kg/m}^2$$

$$CV = 100 \text{ Kg/m}^2$$

Mayoración de Cargas

$$1.2CP + 1.6CV = 508 \text{ Kg/m}^2$$

Para $n = 10$, las fuerzas axiales actuantes sobre los miembros 4, 5, 10 y 15, los cuales conforman la conexión Tipo K en una Cercha Warren, se definen en la Tabla 4-2. Observe que los miembros 4 y 5 corresponden al cordón principal de la junta, mientras que los elementos 10 y 15 representan los miembros sometidos a fuerzas de compresión y tracción respectivamente.

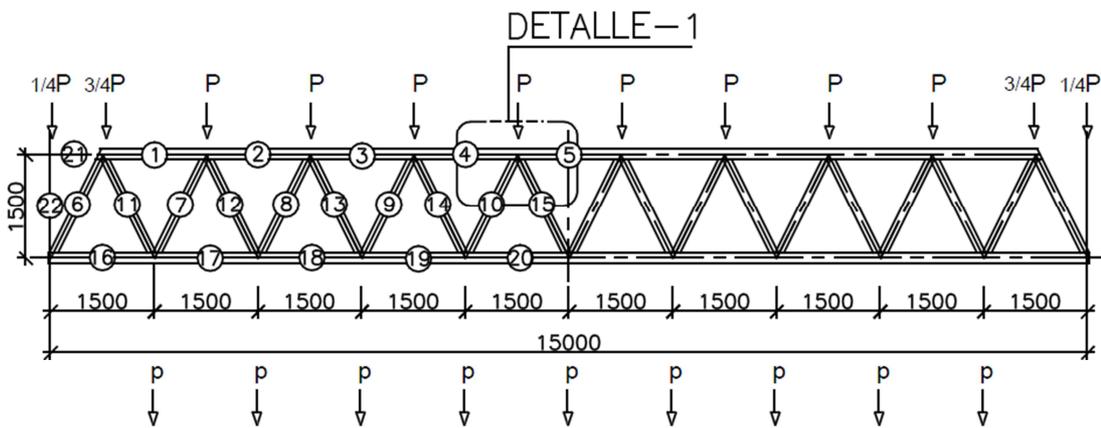


Figura 4-2. Representación de la conexión más desfavorable.
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-2. Fuerzas Axiales Totales

Miembro	K1	K2	P (Kg)	p (Kg)	Fuerza Axial Total (Kg)	
Cordón Principal	4	-11,88	-12,00	-54315,36	-5400,00	-59715,36
	5	-12,38	-12,50	-56601,36	-5625,00	-62226,36
Miembros Secundarios	10	-1,12	-0,56	-5120,64	-252,00	-5372,64
	15	0,00	0,56	0,00	252,00	252,00

Fuente: Referencia Bibliográfica (9)

Según los criterios para las conexiones en cerchas con SET tubulares, de acuerdo a las Especificaciones de LRFD, AISC 2010 Sección 9.4-3 los elementos de la conexión deben cumplir los siguientes requerimientos:

- **Límites de Aplicabilidad**

Tabla 4-3. Límites de Aplicabilidad para SET Cuadradas

Excentricidad de la junta	$-0.55H \leq e \leq 0.25H$	$-0.55(200) \leq e \leq 0.25(200)$ $100 \leq 46 \leq 50$	Si cumple
Angulo del Miembro Secundario	$\vartheta \geq 30^\circ$	$\theta = 63,43^\circ > 30$	Si cumple
Rigidez de la Pared	B/t y $H/t \leq 50$ Para Miembro en Compresión B_b/t_b y $H_b/t_b \leq 35$ B_{bc}/t_{bc} y $B_{bc}/t_{bc} \leq 1.25\sqrt{E/F_y}$	$B/t = H/t = 28,57$ $B_b/t_b = H_b/t_b = 31,11$ $1.25\sqrt{E/F_y} = 30,61$ $31,11 > 30,61$	Si cumple Si cumple NO CUMPLE

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

Debido a que el límite de aplicabilidad de rigidez de la pared no satisface los requerimientos exigidos en las Especificaciones de LRFD, AISC 2010, se debe cambiar la sección del miembro secundario a compresión a una sección superior.

El perfil escogido para dicho miembro secundario es una SET 120x120x4.00 de $A = 18.01\text{cm}^2$, se verifican nuevamente el cumplimiento de los límites de aplicabilidad, tomando en cuenta que los dos primeros límites cumplen.

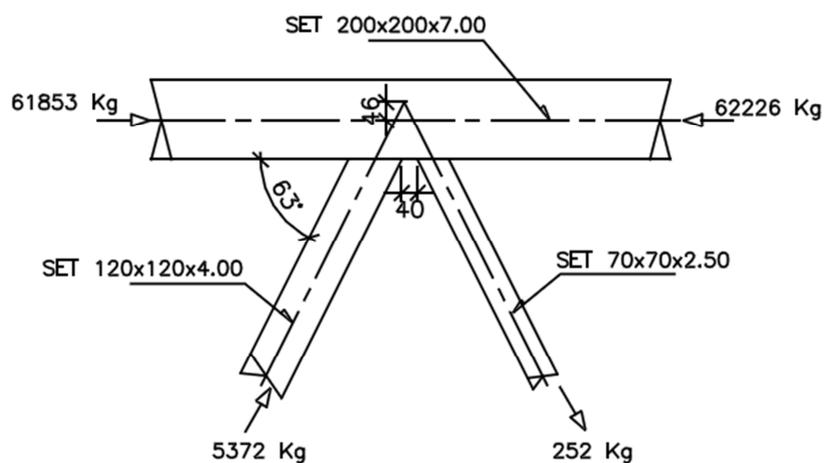


Figura 4-3. Detalle Conexión Tipo K
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-4. Límites de Aplicabilidad para SET Cuadradas

Excentricidad de la junta	$-0.55H \leq e \leq 0.25H$	$-0.55(200) \leq e \leq 0.25(200)$ $100 \leq 40 \leq 50$	<i>Si cumple</i>
Angulo del Miembro Secundario	$\vartheta \geq 30^\circ$	$\theta = 63,43^\circ > 30$	<i>Si cumple</i>
Rigidez de la Pared	B/t y $H/t \leq 50$ Para Miembro en Compresión	$B/t = H/t = 28,57$	<i>Si cumple</i>
	B_b/t_b y $H_b/t_b \leq 35$	$B_b/t_b = H_b/t_b = 30,00$	<i>Si cumple</i>
	B_{bc}/t_{bc} y $B_{bc}/t_{bc} \leq 1.25\sqrt{E/F_y}$ Para Miembro en Tracción	$1.25\sqrt{E/F_y} = 30,61$ $30,00 < 30,61$	<i>Si cumple</i>
	B_b/t_b y $H_b/t_b \leq 35$	$B_b/t_b = H_b/t_b = 31,11$	<i>Si cumple</i>
Resistencia	$F_y \leq 3600 \text{ Kg/cm}^2$ $F_{y_b} \leq 3600 \text{ Kg/cm}^2$	$F_y = F_{y_b} = 3500 \text{ Kg/cm}^2$	<i>Si cumple</i>
Relación de Aspecto	$0.5 \leq H/B \leq 2.0$	$H/B = 1$	<i>Si cumple</i>
	(10) $0.5 \leq H_b/B_b \leq 2.0$	$H_b/B_b = 1$	<i>Si cumple</i>
	(15) $0.5 \leq H_b/B_b \leq 2.0$	$H_b/B_b = 1$	<i>Si cumple</i>
Ductilidad	$F_y/F_u \leq 0.8$	$F_y/F_u = 0,80$	<i>Si cumple</i>

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Verificación de los Miembros Sometidos a Tracción**

Se debe comprobar que los miembros sometidos a fuerzas de tracción que conforman la conexión soporten la fuerza axial actuante sobre la junta de la cercha, para efectos del presente diseño, el miembro secundario quince (15) resulta ser el único elemento en tracción.

Tabla 4-5. Verificación por Tracción

Cedencia sobre el área total	Ruptura sobre el área neta efectiva
$\Phi_t = 0.9$ $P_n = F_y A_g$	$\Phi_t = 0.75$ $P_n = F_u A_e$
$P_n = 3500 \text{ Kg/cm}^2 (5.92 \text{ cm}^2)$ $P_n = 20720 \text{ Kg}$	$A_e = A_U$; $A_e = A_g U$ $A_e = 5,92\text{cm}^2 (1) = 5,92 \text{ cm}^2$ $P_n = 4360 \text{ Kg/cm}^2 (5.92 \text{ cm}^2)$ $P_n = 20720 \text{ Kg}$
$P_u = 18648 \text{ Kg}$ 18648 Kg > 252 Kg Ok.	$P_u = 19358 \text{ Kg}$ 19358 Kg > 252 Kg Ok.

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Verificación de los Miembros Sometidos a Compresión**

Se debe comprobar que los miembros sometidos a fuerzas de compresión que conforman la conexión soporten la fuerza axial actuante sobre la junta de la cercha, para efectos del presente diseño, el cordón principal cuatro (4)-cinco (5) y el miembro secundario diez (10) resultan ser los elementos en compresión.

Tabla 4-6. Verificación por Compresión

Parámetros	Cordon Principal	Miembro Secundario
	$\Phi_c = 0.85$ $P_n = F_{cr} A_g$	$\Phi_c = 0.85$ $P_n = F_{cr} A_g$
$\lambda = b/t = h/t$	$\lambda = (B - R) / t = (H - R) / t$ $\lambda = (200 - 21) / 7,00$ $\lambda = 25,57$	$\lambda = (B - R) / t = (H - R) / t$ $\lambda = (120 - 12) / 4,00$ $\lambda = 27$
$\lambda_r = 1,40 \sqrt{E/F_y}$	$\lambda_r = 1,40 \sqrt{2,1 \times 10^6 / 3500}$ $\lambda_r = 34,29$	$\lambda_r = 1,40 \sqrt{2,1 \times 10^6 / 3500}$ $\lambda_r = 34,29$
Si $\lambda \leq \lambda_r$; $Q = 1,00$		
$\lambda_c = \frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$	$\lambda_c = \frac{0,9(150cm)}{7,81cm \pi} \sqrt{\frac{3500 Kg/cm^2}{2,1 \times 10^6 Kg/cm^2}}$ $\lambda_c = 0,224$	$\lambda_c = \frac{0,75(167cm)}{4,70cm \pi} \sqrt{\frac{3500 Kg/cm^2}{2,1 \times 10^6 Kg/cm^2}}$ $\lambda_c = 0,346$
Si $\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1,5$; $F_{cr} = Q(0.658^{Q\lambda_c^2}) F_y$		
$F_{cr} = Q(0.658^{Q\lambda_c^2}) F_y$	$F_{cr} = 1,00(0.658^{1,00(0,224^2)}) 3500 Kg/cm^2$ $F_{cr} = 3427 Kg/cm^2$	$F_{cr} = 1,00(0.658^{1,00(0,346^2)}) 3500 Kg/cm^2$ $F_{cr} = 3329 Kg/cm^2$
$P_u = 0,85 P_n$	$P_u = 0,85(52,36)(3427)$ $P_u = 152534 Kg$ $152534Kg > 62226Kg$	$P_u = 0,85(18,01)(3329)$ $P_u = 50961 Kg$ $50961Kg > 5372Kg$

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

Además de los límites de aplicabilidad, los siguientes límites deben aplicar

(1) $B_b/B \geq 0,1 + \gamma/50$

$$\begin{aligned} B_b/B &= 120mm/200mm \\ &= 0,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma &= B/2t \\ &= 200mm/2(7mm) = 14,28 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,6 &\geq 0,1 + 14,28/50 \\ 0,6 &\geq 0,386 \quad \text{Ok.} \end{aligned}$$

(2) $\beta_{eff} \geq 0.35$

$$\beta_{eff} = \frac{\text{perimetro}_{10} + \text{perimetro}_{15}}{8B}$$

$$= \frac{8(120\text{mm})}{8(200\text{mm})} = 0,6$$

$$0,6 \geq 0,35 \quad \text{Ok.}$$

(3) El menor $B_b > 0.63$ veces el mayor B_b

$$\begin{aligned} 120\text{mm} &\geq 0,63(120\text{mm}) \\ 120\text{mm} &\geq 75,6\text{mm} \quad \text{Ok.} \end{aligned}$$

- **Plastificación del Cordón**

Tabla 4-7. Estado Límite de Plastificación de pared del cordón

$\Phi = 0.90$	
$P_n \text{ Sen}\theta = F_y t^2 [9.8 \beta_{eff} \sqrt{\gamma}] Q_f$	
$Q_f = 1.3 - 0.4U / \beta_{eff} \leq 1.00$	
$U = \left \frac{P_u}{A_g F_y} \right + \left \frac{M_u}{S F_y} \right$	$U = \left \frac{62226}{52,36(3500)} \right + 0$ $U = 0,339$
$Q_f = 1.3 - 0.4(0,339)/0,6 = 1,07$	
<i>Debido que 1,07 > 1,00, se toma $Q_f = 1,00$</i>	
$P_n \text{ Sen}(45) = 3500(0,7)^2 [9.8(0,637) \sqrt{14,28}] 1,00$	
$P_n = 57215Kg$	
$P_u = 51494Kg$	
$51494Kg > 3566Kg$	

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Estado Límite de ruptura al corte por punzonado**

Este estado límite solo requiere ser verificado, solo si $B_b < B - 2t$ o si el miembro secundario no es de sección cuadrada.

|

Para efectos de diseño este límite no aplica.

- **Estado límite de distribución desigual de carga**

Este límite solo requiere ser verificado si los miembros secundarios no son cuadrados.

Para efectos de diseño este límite no aplica.

- **Longitud efectiva de la Soldadura**

$$L_e = 2(H_{b10} + H_{b15}) + (B_{b10} + B_{b15})$$

$$L_e = 2(120 + 70) + (120 + 70)$$

$$L_e = 570mm.$$

2.2. Conexión Tipo Y con Cordón Principal a Tracción

Cercha Tipo Howe 10 Paneles.

SET Circular

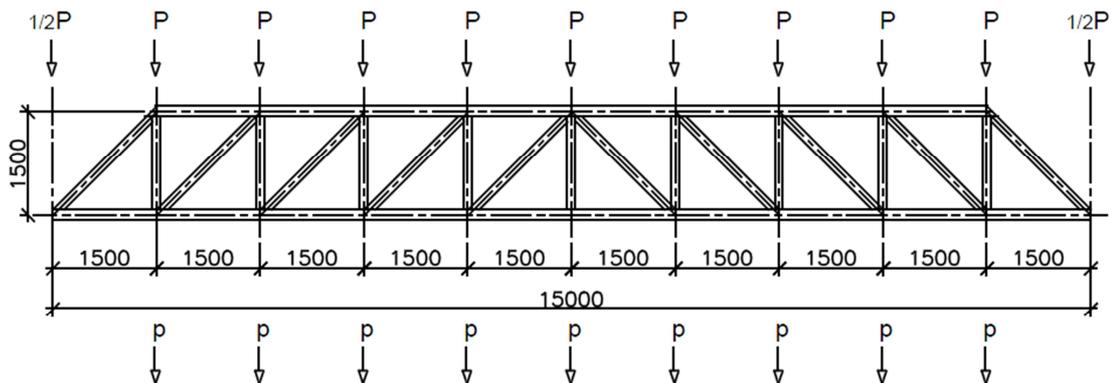
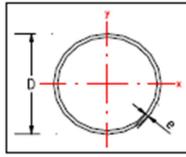


Figura 4-4. Cercha Tipo Howe 10 Paneles.
Fuente: Elaboración Propia

Las propiedades geométricas de los siguientes perfiles fueron tomadas de los catálogos vigentes de los tubos estructurales de acero disponibles en Venezuela

Tabla 4-8. Propiedades geométricas de las SET



ASTM A500-03a Grado C	
$F_y =$	3500 kg/cm ²
$F_u =$	4360 kg/cm ²

Miembro	Nomenclatura	D cm	t cm	A cm ²
Cordon Principal (15)	SET 273.10 x 9.00	27,31	0,9	74,67
Miembro Secundario (5)	SET 139.70x3.40	13,97	0,34	14,56

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (8)

Cargas aplicadas a la cercha

$$CP = 290 \text{ Kg/m}^2$$

$$CV = 100 \text{ Kg/m}^2$$

Mayoración de Cargas

$$1.2CP + 1.6CV = 508 \text{ Kg/m}^2$$

Para $n = 10$, las fuerzas axiales actuantes sobre los miembros 5 y 15, los cuales conforman la conexión Tipo Y en una Cercha Howe, se definen en la Tabla 4-9. Observe que el miembro 15 corresponde al cordón principal de la junta sometida a Tracción, mientras que el elemento 5 representa el miembro sometido a fuerza de compresión.

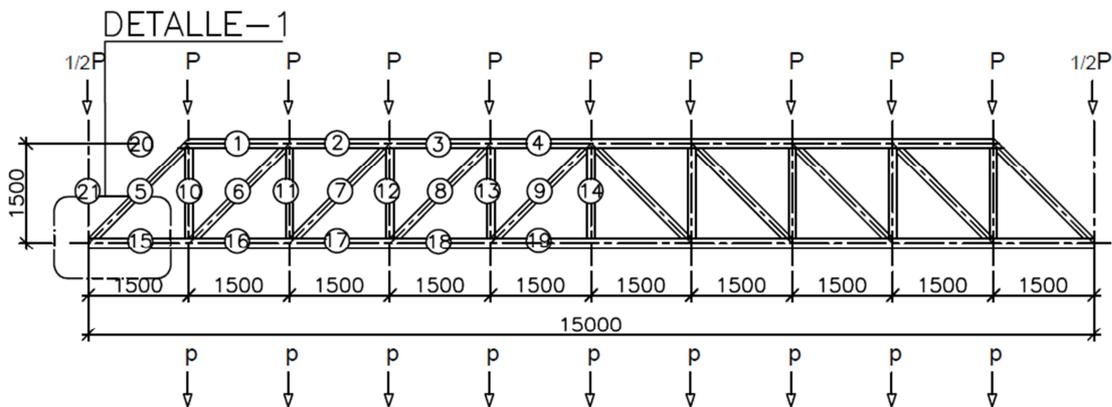


Figura 4-5. Representación de los miembros que conforman la conexión Y
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-9. Fuerzas Axiales Totales

Miembro		K1	K2	P (Kg)	p (Kg)	Fuerza Axial Total (Kg)
Cordón Principal	15	4,50	4,50	10287,00	2025,00	12312
Miembro Secundario	5	-6,36	-6,36	-14538,96	-2862,00	-17401

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (9)

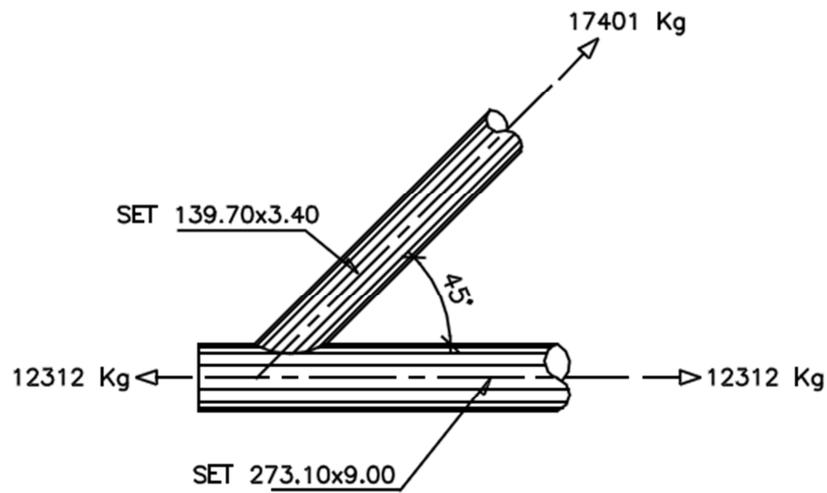


Figura 4-6. Detalle Conexión Tipo Y

Fuente: Elaboración Propia.

Según los criterios para las conexiones en cerchas con SET tubulares, de acuerdo a las Especificaciones de LRFD, AISC 2010 Sección 9.4-2 los elementos de la conexión deben cumplir los siguientes requerimientos:

- **Límites de Aplicabilidad**

Tabla 4-10. Límites de aplicabilidad para SET circular

Excentricidad de la junta	$-0.55H \leq e \leq 0.25H$	No Aplica	-
Angulo del Miembro Secundario	$\vartheta \geq 30^\circ$	$\theta = 45^\circ > 30$	Si cumple
Rigidez de la Pared	(1) $D/t \leq 50$ (2) $D_b/t_b \leq 50$	(1) $D/t = 30,34$ (2) $D_b/t_b = 41,09$	Si cumple Si cumple
Relación de Ancho	$0.2 < D_b / D \leq 1.0$	$D_b / D = 0,51$	Si cumple
Resistencia	$F_y \leq 3600 \text{ Kg/cm}^2$ $F_{y_b} \leq 3600 \text{ Kg/cm}^2$	$F_y = F_{y_b} = 3500 \text{ Kg/cm}^2$	Si cumple
Ductilidad	$F_y / F_u \leq 0.8$	$F_y / F_u = 0,80$	Si cumple

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Verificación de los Miembros Sometidos a Tracción**

Se debe comprobar que los miembros sometidos a fuerzas de tracción que conforman la conexión soporten la fuerza axial actuante sobre la junta de la cercha, para efectos del diseño, el cordón principal quince (15) resulta ser el único elemento en tracción.

Tabla 4-11. Verificación por Tracción

<i>Cedencia sobre el área total</i>	<i>Ruptura sobre el área neta efectiva</i>
$\Phi_t = 0.9$ $P_n = F_y A_g$	$\Phi_t = 0.75$ $P_n = F_u A_e$
$P_n = 3500 \text{ Kg/cm}^2 (74,67 \text{ cm}^2)$ $P_n = 261345 \text{ Kg}$	$A_e = A_U$; $A_e = A_g U$ $A_e = 74,67 \text{ cm}^2 (1) = 74,67 \text{ cm}^2$ $P_n = 4360 \text{ Kg/cm}^2 (74,67 \text{ cm}^2)$ $P_n = 325561 \text{ Kg}$
$P_u = 235211 \text{ Kg}$ $235211 \text{ Kg} > 12312 \text{ Kg}$ <i>Ok.</i>	$P_u = 244171 \text{ Kg}$ $244171 \text{ Kg} > 12312 \text{ Kg}$ <i>Ok.</i>

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Verificación de los Miembros Sometidos a Compresión**

Se debe comprobar que los miembros sometidos a fuerzas de compresión que conforman la conexión soporten la fuerza axial actuante sobre la junta de la cercha, para efectos del presente diseño, el cordón principal quince (15) resulta ser el único elemento en compresión.

Tabla 4-12. Verificación por Compresión

Parámetros	Miembro Secundario
$\lambda = D/t$	$\lambda = 13,97/0,34$ $\lambda = 41,08$
$\lambda \leq 0,448 E/F_y$	$\lambda \leq 268,8$
$\lambda_r = 0,114 E/F_y$	$\lambda_r = 68,40$
Si $\lambda \leq \lambda_r$; $Q = 1,00$	
$\lambda_c = \frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$	$\lambda_c = \frac{0,75(212,13cm)}{4,82cm \pi} \sqrt{\frac{3500 Kg/cm^2}{2,1 \times 10^6 Kg/cm^2}}$ $\lambda_c = 0,428$
Si $\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1,5$; $F_{cr} = Q(0.658^{Q\lambda_c^2}) F_y$	
$F_{cr} = Q(0.658^{Q\lambda_c^2}) F_y$	$F_{cr} = 1,00(0.658^{1,00(0,428)^2}) 3500 Kg/cm^2$ $F_{cr} = 3242 Kg/cm^2$
$P_u = 0,85 P_n$	$P_u = 0,85(14,56)(3242)$ $P_u = 40119 Kg$ $40119Kg > 17401Kg \quad \mathbf{Ok.}$

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Plastificación del Cordón**

Tabla 4-13. Estado Límite de Plastificación de pared del cordón

$\Phi_c = 0.80$ $P_n \text{ Sen}\theta = t^2 F_y [6\pi\beta Q_q] Q_f$	
$\text{Si } \theta \leq 0,6; Q_\beta = 1,00$	
$Q_q = \left(\frac{1,7}{\alpha} + \frac{0,18}{\beta} \right) Q_\beta^{0,7(\alpha-1)}$	$Q_q = \left(\frac{1,7}{1,7} + \frac{0,18}{0,51} \right) 1,00^{0,7(1,7-1)}$ $Q_q = 1,352$
$Q_f = 1 - \gamma\lambda U^2$	
$U^2 = \left(\frac{P_u}{A_g F_y} \right)^2 + \left(\frac{M_u}{S F_y} \right)^2$	$U^2 = \left(\frac{22599}{74,77(3500)} \right)^2 + 0$ $U^2 = 0,0074$
$Q_f = 1,00 - \left(\frac{273,1}{2(9)} \right) (0,03) 0,0074$ $= 0,99$	
$P_n \text{ Sen}45 = 0,9^2 (3500) [6\pi(0,51)(1,352)](0,99)$ $P_n = 51588Kg$ $P_u = 41271Kg$ $41271Kg > 17401Kg$ Ok.	

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Estado Límite de ruptura al corte por punzonado**

$$\phi = 0.95$$

$$P_n \text{ sen } \theta = \pi D_b t (0.6 F_y)$$

$$P_n \text{ sen } 45 = 13,97\pi(0,9)(0,6)(3500)$$

$$P_n = 117307Kg.$$

$$P_u = 111441Kg > 17401Kg \quad \text{Ok.}$$

- Estado Límite de colapso General

$$\phi = 0.80$$

$$P_n \text{ sen } \theta = 1.8t^2 F_y (1.9 + 7.2\beta) Q_\beta Q_f$$

$$P_n \text{ sen } 45 = 1.8(0.9)^2 3500 (1.9 + 7.2(0.51)) (1.00) (1.00)$$

$$P_n = 40212 \text{Kg.}$$

$$P_u = 32169 \text{Kg} > 17401 \text{Kg.} \quad \text{Ok.}$$

2.3. Conexión Tipo T con Cordón Principal a Compresión

Cercha Tipo Pratt 10 Paneles.

SET Circular

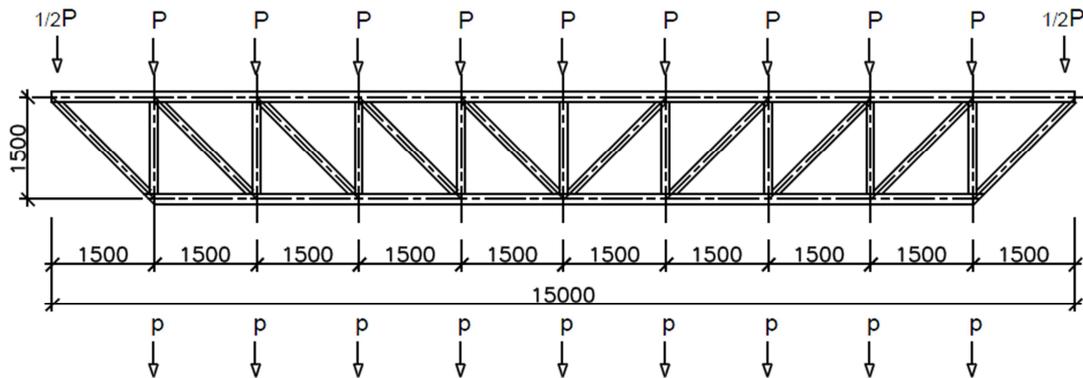
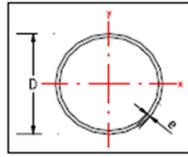


Figura 4-7. Cercha Tipo Pratt 10 Paneles.
Fuente: Elaboración Propia

Las propiedades geométricas de los siguientes perfiles fueron tomadas de los catálogos vigentes de los tubos estructurales de acero disponibles en Venezuela

Tabla 4-14. Propiedades geométricas de las SET



ASTM A500 -03a Grado C	
$F_y =$	3500 kg/cm ²
$F_u =$	4360 kg/cm ²

Miembro	Nomenclatura	D cm	t cm	A cm ²
Cordon Principal (5)-(5')	SET 193.70 x 4.50	19,37	0,45	26,75
Miembro Secundario (10)	SET 139.70 x 3.40	13,97	0,34	14,56

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (8)

Cargas aplicadas a la cercha

$$CP = 290 \text{ Kg/m}^2$$

$$CV = 100 \text{ Kg/m}^2$$

Mayoración de Cargas

$$1.2CP + 1.6CV = 508 \text{ Kg/m}^2$$

Para $n = 10$, las fuerzas axiales actuantes sobre los miembros 5 y 5' y 10, los cuales conforman la conexión Tipo T en una Cercha Pratt, se definen en la Tabla 4-17. Observe que los miembros 5 y 5' corresponden al cordón principal mientras que el elemento 10 representa el miembro secundario de la junta, ambos sometido a compresión

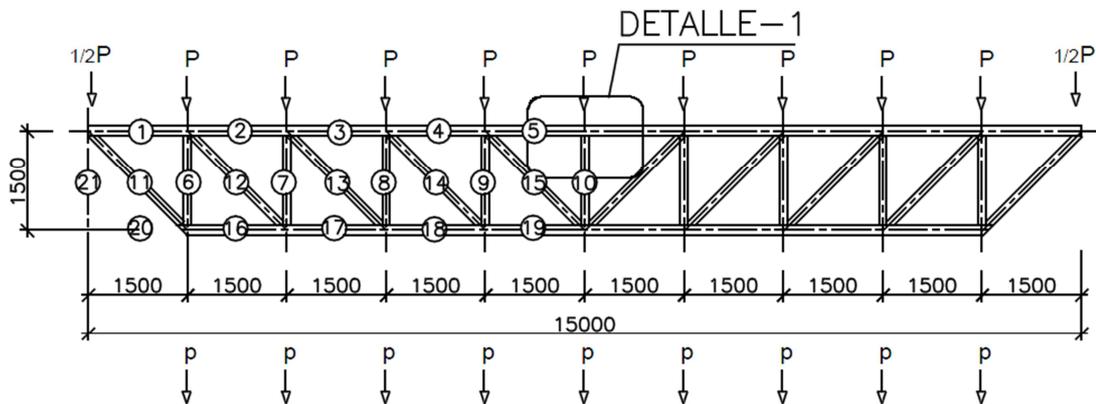


Figura 4-8. Cercha Tipo Pratt 10 Paneles.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-15. Fuerzas Axiales Totales

Miembro		K1	K2	P (Kg)	p (Kg)	Fuerza Axial Total (Kg)
Cordón Principal	5-5'	-12,50	-12,50	-57150,00	-5625,00	-62775,00
Miembro Secundario	10	-1,00	0,00	-4572,00	0,00	-4572,00

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (9)

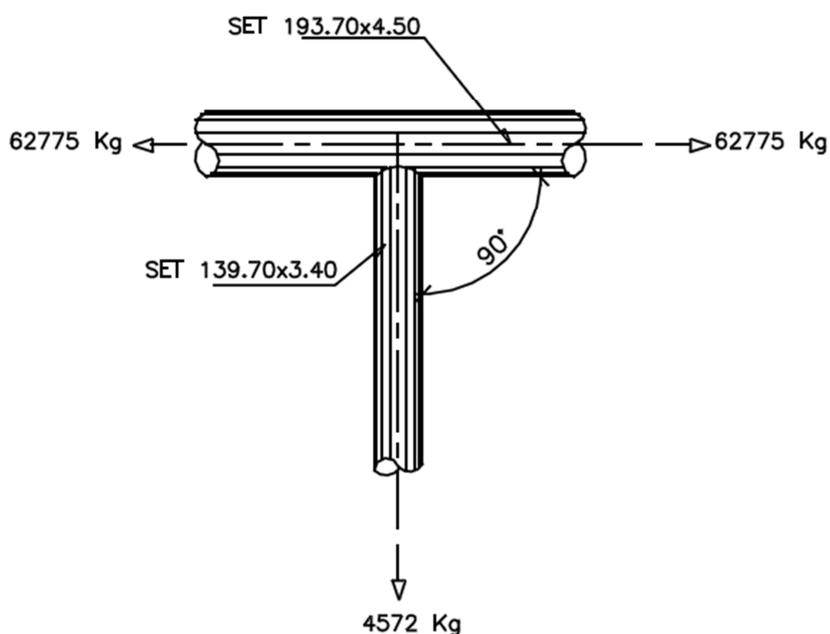


Figura 4-9. Detalle Conexión Tipo T
Fuente: Elaboración Propia

Según los criterios para las conexiones en cerchas con SET tubulares, de acuerdo a las Especificaciones de LRFD, AISC 2010 Sección 9.4-2 los elementos de la conexión deben cumplir los siguientes requerimientos:

- **Límites de Aplicabilidad**

Tabla 4-16. Límites de Aplicabilidad SET Cuadradas

Excentricidad de la junta	$-0.55H \leq e \leq 0.25H$	No Aplica	-
Angulo del Miembro Secundario	$\vartheta \geq 30^\circ$	$\theta = 90^\circ > 30$	Si cumple
Rigidez de la Pared	(1) $D/t \leq 50$ (2) $D_b/t_b \leq 50$	(1) $D/t = 43,04$ (2) $D_b/t_b = 41,09$	Si cumple Si cumple
Relación de Ancho	$0.2 < D_b / D \leq 1.0$	$D_b / D = 0,72$	Si cumple
Resistencia	$F_y \leq 3600 \text{ Kg/cm}^2$ $F_{y_b} \leq 3600 \text{ Kg/cm}^2$	$F_y = F_{y_b} = 3500 \text{ Kg/cm}^2$	Si cumple
Ductilidad	$F_y / F_u \leq 0,8$	$F_y / F_u = 0,80$	Si cumple

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Verificación de los Miembros Sometidos a Tracción**

En esta conexión no existen miembros a tracción

- **Verificación de los Miembros Sometidos a Compresión**

Tabla 4-17. Verificación por Compresión

Parámetros	Cordón Principal	Miembro Secundario
	$\Phi_c = 0.85$ $P_n = F_{cr} A_g$	$\Phi_c = 0.85$ $P_n = F_{cr} A_g$
$\lambda = D/t$	$\lambda = 19,37/0,45$ $\lambda = 43,04$	$\lambda = 13,97/0,34$ $\lambda = 41,08$
$\lambda \leq 0,448 E/F_y$	$\lambda \leq 268,8$	$\lambda \leq 268,8$
$\lambda_r = 0,114 E/F_y$	$\lambda_r = 68,40$	$\lambda_r = 68,40$
Si $\lambda \leq \lambda_r$; $Q = 1,00$		
$\lambda_c = \frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$	$\lambda_c = \frac{0,90(150cm)}{6,69cm \pi} \sqrt{\frac{3500 Kg/cm^2}{2,1 \times 10^6 Kg/cm^2}}$ $\lambda_c = 0,26$	$\lambda_c = \frac{0,75(150cm)}{4,82cm \pi} \sqrt{\frac{3500 Kg/cm^2}{2,1 \times 10^6 Kg/cm^2}}$ $\lambda_c = 0,30$
si $\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1,5$; $F_{cr} = Q(0.658^{Q\lambda_c^2}) F_y$		
$F_{cr} = Q(0.658^{Q\lambda_c^2}) F_y$	$F_{cr} = 1,00(0.658^{1,00(0,26)^2}) 3500 Kg/cm^2$ $F_{cr} = 3402 Kg/cm^2$	$F_{cr} = 1,00(0.658^{1,00(0,30)^2}) 3500 Kg/cm^2$ $F_{cr} = 3371 Kg/cm^2$
$P_u = 0,85 P_n$	$P_u = 0,85(26,75)(3402)$ $P_u = 77360 Kg$ $77360Kg > 62775Kg$ Ok.	$P_u = 0,85(14,56)(3371)$ $P_u = 41719 Kg$ $41719Kg > 4572Kg$ Ok.

Fuente: Elaboración Propia

- **Plastificación del Cordón**

Tabla 4-18. Estado Límite de Plastificación de pared del cordón

$\Phi = 0.80$ $P_n \text{ Sen}\theta = t^2 F_y [6\pi\beta Q_q] Q_f$	
$\beta = 0,72 > 0,6;$	
$Q_\beta = \frac{0,3}{\beta(1 - 0,833\beta)}$ $Q_\beta = 1,04$	
$Q_q = \left(\frac{1,7}{\alpha} + \frac{0,18}{\beta}\right) Q_\beta^{0,7(\alpha-1)}$	$Q_q = \left(\frac{1,7}{1,7} + \frac{0,18}{0,72}\right) 1,04^{0,7(1,7-1)}$ $Q_q = 1,27$
$Q_f = 1 - \gamma\lambda U^2$	
$U^2 = \left(\frac{P_u}{A_g F_y}\right)^2 + \left(\frac{M_u}{S F_y}\right)^2$	$U^2 = \left(\frac{62775}{26,75(3500)}\right)^2 + 0$ $U^2 = 0,45$
$Q_f = 1,00 - \left(\frac{193,70}{2(4,50)}\right) (0,03) 0,45$ $= 0,709$	
$P_n \text{ Sen}90 = 0,45^2(3500) [6\pi(0,72)(1,27)](0,709)$ $P_n = 8661Kg$ $P_u = 6929Kg$ $6929Kg > 4572Kg$ Ok.	

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Estado Límite de ruptura al corte por punzonado**

$$\phi = 0.95$$

$$P_n \text{ sen } \theta = \pi D_b t (0.6 F_y)$$

$$P_n \text{ sen } 90 = 13,97\pi(0,45)(0,6)(3500)$$

$$P_n = 41474Kg.$$

$$P_u = 39400Kg > 4572Kg \quad \text{Ok.}$$

- Estado Límite de Colapso General

$$\phi = 0.80$$

$$P_n \text{ sen } \theta = 1.8t^2 F_y (1.9 + 7.2\beta) Q_\beta Q_f$$

$$P_n \text{ sen } 90 = 1.8(0,45)^2 3500(1.9 + 7.2(0,72))(1,04)(0,709)$$

$$P_n = 6664Kg.$$

$$P_u = 5331Kg > 4500Kg. \quad Ok.$$

2.4. Conexión Tipo K con Cordón Principal a Tracción

Cercha Tipo Howe 10 Paneles.
SET Cuadradas

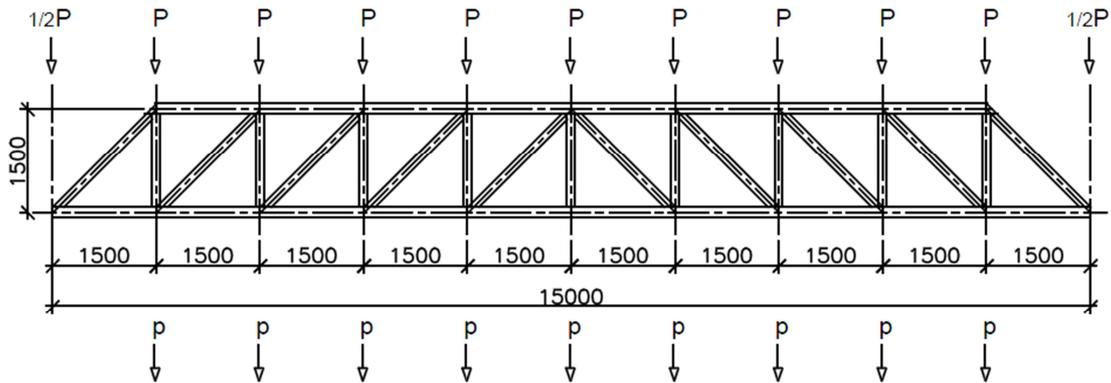
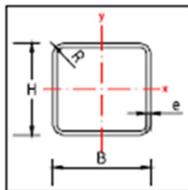


Figura 4-10. Cercha Tipo Howe 10 Paneles.
Fuente: Elaboración Propia

Las propiedades geométricas de los siguientes perfiles fueron tomadas de los catálogos vigentes de los tubos estructurales de acero disponibles en Venezuela

Tabla 4-19. Propiedades geométricas de las SET



ASTM A500 -03a Grado C	
$F_y =$	3500 kg/cm ²
$F_u =$	4360 kg/cm ²

Miembro	Nomenclatura	H cm	b cm	t cm	A cm ²
Cordon Principal (18)-(19)	SET 200X200X7.00	20	20	0,7	52,36
Miembro Secundario (9)	SET 120x120x4.000	12	12	0,4	18,01
Miembro Secundario (13)	SET 135x135x4.30	13,5	13,5	0,43	21,85

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (8)

Cargas aplicadas a la cercha

$$CP = 290 \text{ Kg/m}^2$$

$$CV = 100 \text{ Kg/m}^2$$

Mayoración de Cargas

$$1.2CP + 1.6CV = 508 \text{ Kg/m}^2$$

Para $n = 10$, las fuerzas axiales actuantes sobre los miembros 9, 13, 18 y 19 los cuales conforman la conexión Tipo K en una Cercha Howe, se definen en la 4-22. Observe que los miembros 18 y 19 corresponden al cordón principal de la junta, mientras que los elementos 9 y 13 representan los miembros sometidos a fuerzas de compresión y tracción respectivamente.

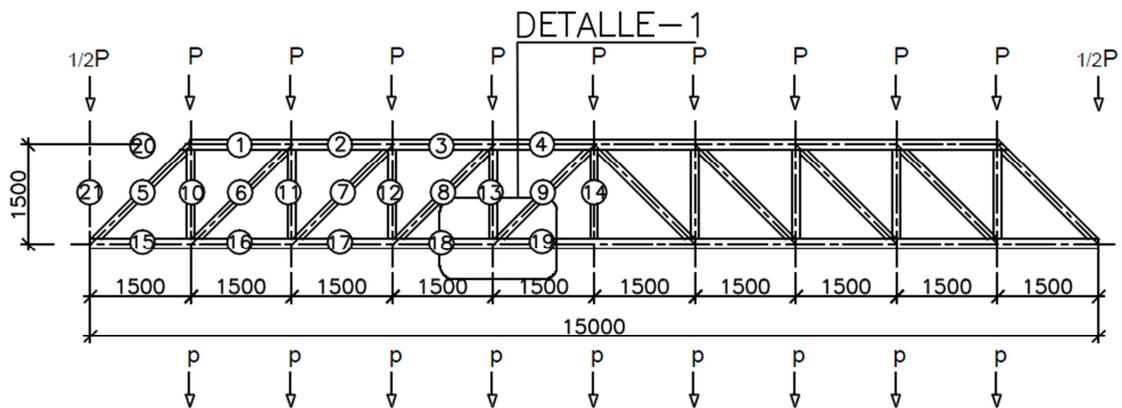


Figura 4-11. Representación de la conexión más desfavorable.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-20. Fuerzas Axiales Totales

Miembro	K1	K2	P (Kg)	p (Kg)	Fuerza Axial Total (Kg)	
Cordón Principal	18	12,00	12,00	54864,00	5400,00	60264,00
	19	12,50	12,50	57150,00	5625,00	62775,00
Miembros Secundarios	9	-0,71	-0,71	-3246,12	-319,50	-3565,62
	13	0,50	1,50	2286,00	675,00	2961,00

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (9)

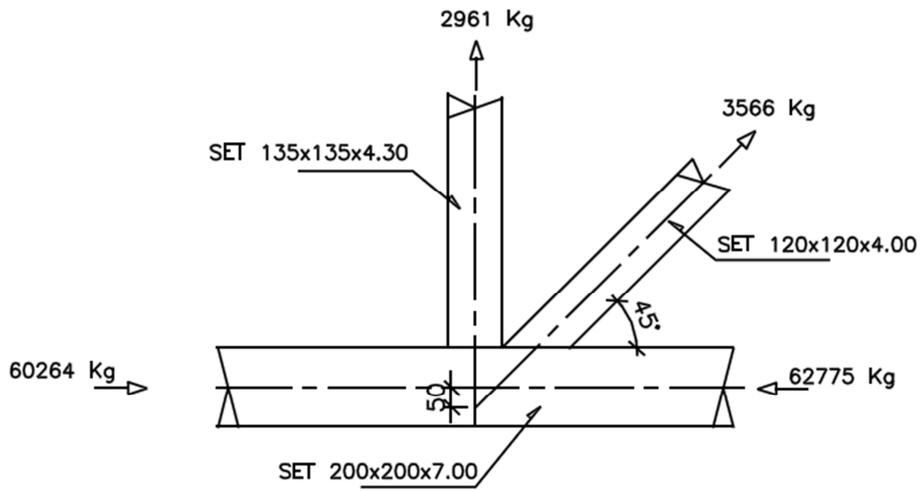


Figura 4-12. Detalle Conexión Tipo K
Fuente: Elaboración Propia

Según los criterios para las conexiones en cerchas con SET tubulares, de acuerdo a las Especificaciones de LRFD, AISC 2010 Sección 9.4-3 los elementos de la conexión deben cumplir los siguientes requerimientos:

- **Límites de Aplicabilidad**

Tabla 4-21. Límites de Aplicabilidad para SET Cuadradas

Excentricidad de la junta	$-0.55H \leq e \leq 0.25H$	$0.55(200) \leq e \leq 0.25(200)$ $100 \leq 50 \leq 50$	<i>Si cumple</i>
Angulo del Miembro Secundario	$\vartheta \geq 30^\circ$	$\theta = 45^\circ > 30$	<i>Si cumple</i>
Rigidez de la Pared	B/t y $H/t \leq 50$ Para Miembro en Compresión B_b/t_b y $H_b/t_b \leq 35$ Bb/tb y $Hb/tb \leq 1,25\sqrt{E/F_y}$ Para Miembro en Tracción B_b/t_b y $H_b/t_b \leq 35$	$B/t = H/t = 28,57$ $B_b/t_b = H_b/t_b = 30,00$ $30,00 \leq 30,61$ $B_b/t_b = H_b/t_b = 31,40$	<i>Si cumple</i> <i>Si cumple</i> <i>Si cumple</i> <i>Si cumple</i>
Resistencia	$F_y \leq 3600 \text{ Kg/cm}^2$ $F_{y_b} \leq 3600 \text{ Kg/cm}^2$	$F_y = F_{y_b} = 3500 \text{ Kg/cm}^2$	<i>Si cumple</i>
Relación de Aspecto	$0.5 \leq H/B \leq 2.0$ (10) $0.5 \leq H_b/B_b \leq 2.0$ (15) $0.5 \leq H_b/B_b \leq 2.0$	$H/B = 1$ $H_b/B_b = 1$ $H_b/B_b = 1$	<i>Si cumple</i> <i>Si cumple</i> <i>Si cumple</i>
Ductilidad	$F_y/F_u \leq 0.8$	$F_y/F_u = 0,80$	<i>Si cumple</i>

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Verificación de los Miembros Sometidos a Tracción**

Se debe comprobar que los miembros sometidos a fuerzas de tracción que conforman la conexión soporten la fuerza axial actuante sobre la junta de la cercha, para efectos del presente diseño, los miembros en Tracción son (18) y (19) correspondientes al cordón principal y el elemento 13 que representa uno de los miembros secundarios.

- Para cordón principal

Tabla 4-22. Verificación por tracción para cordón principal

Cedencia sobre el área total	Ruptura sobre el área neta efectiva
$\Phi_t = 0.9$ $P_n = F_y A_g$	$\Phi_t = 0.75$ $P_n = F_u A_e$
$P_n = 3500 \text{ Kg/cm}^2 (52,36 \text{ cm}^2)$ $P_n = 183260 \text{ Kg}$	$A_e = AU$; $A_e = A_g U$ $A_e = 52,36 \text{ cm}^2 (1) = 52,36 \text{ cm}^2$ $P_n = 4360 \text{ Kg/cm}^2 (52,36 \text{ cm}^2)$ $P_n = 228290 \text{ Kg}$
$P_u = 164934 \text{ Kg}$	$P_u = 171217 \text{ Kg}$
164934 Kg > 62765 Kg Ok.	171217 Kg > 62765 Kg Ok.

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- Para miembro secundario

Tabla 4-23. Verificación por tracción para miembro secundario

Cedencia sobre el área total	Ruptura sobre el área neta efectiva
$\Phi_t = 0.9$ $P_n = F_y A_g$	$\Phi_t = 0.75$ $P_n = F_u A_e$
$P_n = 3500 \text{ Kg/cm}^2 (21,85 \text{ cm}^2)$ $P_n = 76475 \text{ Kg}$	$A_e = AU$; $A_e = A_g U$ $A_e = 21,85 \text{ cm}^2 (1) = 21,85 \text{ cm}^2$ $P_n = 4360 \text{ Kg/cm}^2 (21,85 \text{ cm}^2)$ $P_n = 95266 \text{ Kg}$
$P_u = 68828 \text{ Kg}$	$P_u = 71450 \text{ Kg}$
68828 Kg > 2961 Kg Ok.	71450Kg > 2961 Kg Ok.

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Verificación de los Miembros Sometidos a Compresión**

Se debe comprobar que los miembros sometidos a fuerzas de compresión que conforman la conexión soporten la fuerza axial actuante sobre la junta de la cercha, para efectos del presente diseño, el miembro secundario nueve (9) resulta ser el único elemento a compresión.

Tabla 4-24. Verificación por Compresión

Parámetros	Cordón Principal
$\lambda = b/t = h/t$	$\lambda = (B - R) / t = (H - R) / t$ $\lambda = (120-12) / 4,00$ $\lambda = 27,00$
$\lambda_r = 1,40 \sqrt{E/F_y}$	$\lambda_r = 1,40 \sqrt{2,1 \times 10^6 / 3500}$ $\lambda_r = 34,29$
Si $\lambda \leq \lambda_r$; $Q = 1,00$	
$\lambda_c = \frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$	$\lambda_c = \frac{0,75(212,13cm)}{4,70cm \pi} \sqrt{\frac{3500 Kg/cm^2}{2,1 \times 10^6 Kg/cm^2}}$ $\lambda_c = 0,44$
Si $\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1,5$; $F_{cr} = Q(0.658^{Q\lambda_c^2}) F_y$	
$F_{cr} = Q(0.658^{Q\lambda_c^2}) F_y$	$F_{cr} = 1,00(0.658^{1,00(0,44)^2}) 3500 Kg/cm^2$ $F_{cr} = 3228 Kg/cm^2$
$P_u = 0,85 P_n$	$P_u = 0,85(18,01)(3228)$ $P_u = 49409 Kg$ $49409 Kg > 3566Kg$

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

Además de los límites de aplicabilidad, los siguientes límites deben aplicar

(1) $B_b/B \geq 0,1 + \gamma/50$

- Para miembro secundario (13)

$$B_b/B = 135mm/200mm = 0,675$$

- Para miembro secundario (9)

$$B_b/B = 120\text{mm}/200\text{mm} \\ = 0,60$$

$$\gamma = B/2t \\ = 200\text{mm}/2(7\text{mm}) = 14,28$$

$$0,1 + \gamma/50 = 0,1 + 14,28/50 \\ = 0,386.$$

$$0,675 \geq 0,386 \quad \text{Ok.} \\ 0,60 \geq 0,386 \quad \text{Ok.}$$

(2) $\beta_{eff} \geq 0.35$

$$\beta_{eff} = \frac{\text{perimetro}_9 + \text{perimetro}_{13}}{8B} \\ = \frac{4(120\text{mm}) + 4(135)}{8(200\text{mm})} = 0,637$$

$$0,637 \geq 0,35 \quad \text{Ok.}$$

(3) El menor $B_b > 0.63$ veces el mayor B_b

$$120\text{mm} \geq 0,63(135\text{mm}) \\ 120\text{mm} \geq 85,05\text{mm} \quad \text{Ok.}$$

- **Plastificación del Cordón**

Tabla 4-25. Estado Límite de Plastificación de pared del cordón

$\Phi = 0.90$
$P_n \text{ Sen}\theta = F_y t^2 [9.8 \beta_{eff} \sqrt{\gamma}] Q_f$
$Q_f = 1$
Cuando el Cordón principal esta a tracción.
$P_n \text{ Sen}(45) = 3500(0,7)^2 [9.8(0,637)\sqrt{14,28}] 1,00$
$P_n = 57215Kg$
$P_u = 51494Kg$
$51494Kg > 3566Kg \quad \text{Ok.}$

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Estado Límite de ruptura al corte por punzonado**

Este estado límite solo requiere ser verificado, solo si $B_b < B - 2t$ o si el miembro secundario no es de sección cuadrada.

Para efectos de diseño este límite no aplica.

- **Estado límite de distribución desigual de carga**

Este límite solo requiere ser verificado si los miembros secundarios no son cuadrados.

Para efectos de diseño este límite no aplica.

- **Longitud efectiva de la Soldadura**

$$L_e = 2(H_{b10} + H_{b15}) + (B_{b10} + B_{b15})$$

$$L_e = 2(169,7 + 70) + (120 + 70)$$

$$L_e = 609,4mm. \approx 61cm$$

2.5. Conexión Típica Tipo Y con Cordón Principal a Compresión

Cercha Tipo Pratt 10 Paneles.
SET Cuadradas

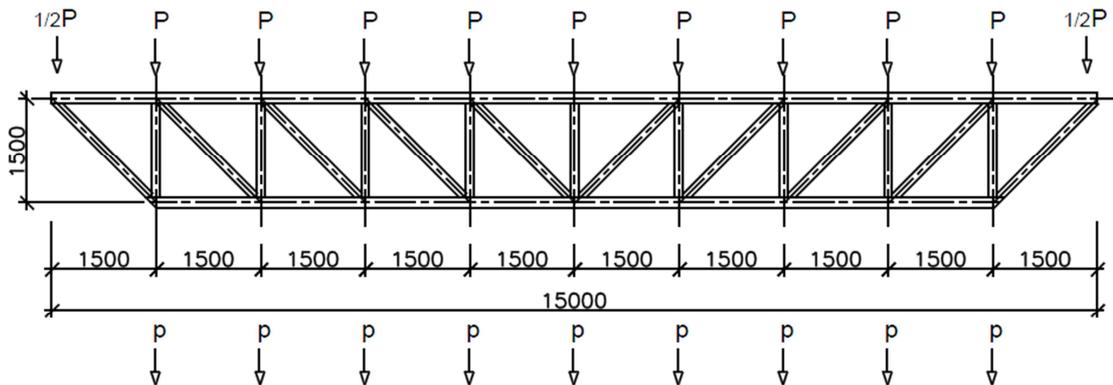
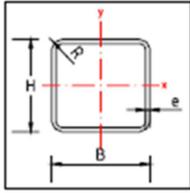


Figura 4-13. Cercha Tipo Pratt 10 Paneles.
Fuente: Elaboración Propia

Las propiedades geométricas de los siguientes perfiles fueron tomadas de los catálogos vigentes de los tubos estructurales de acero disponibles en Venezuela

Tabla 4-26. Propiedades geométricas de las SET



ASTM A500-03a Grado C	
$F_y =$	3500 kg/cm^2
$F_u =$	4360 kg/cm^2

Miembro	Nomenclatura	H cm	b cm	t cm	A cm^2
Cordon Principal (1)	SET 260X260X9.00	26	26	0,9	87,58
Miembro Secundario (11)	SET 175x175x5.50	17,5	17,5	0,55	36,25

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (8)

Cargas aplicadas a la cercha

$$CP = 290 \text{ Kg/m}^2$$

$$CV = 100 \text{ Kg/m}^2$$

Mayoración de Cargas

$$1.2CP + 1.6CV = 508 \text{ Kg/m}^2$$

Para $n = 10$, las fuerzas axiales actuantes sobre los miembros 1 y 11 los cuales conforman la conexión Tipo Y en una Cercha Pratt, se definen en la Tabla 4-29. Observe que el miembro 1 corresponde al cordón principal de la junta, mientras que el elemento 11 representa el miembro secundario.

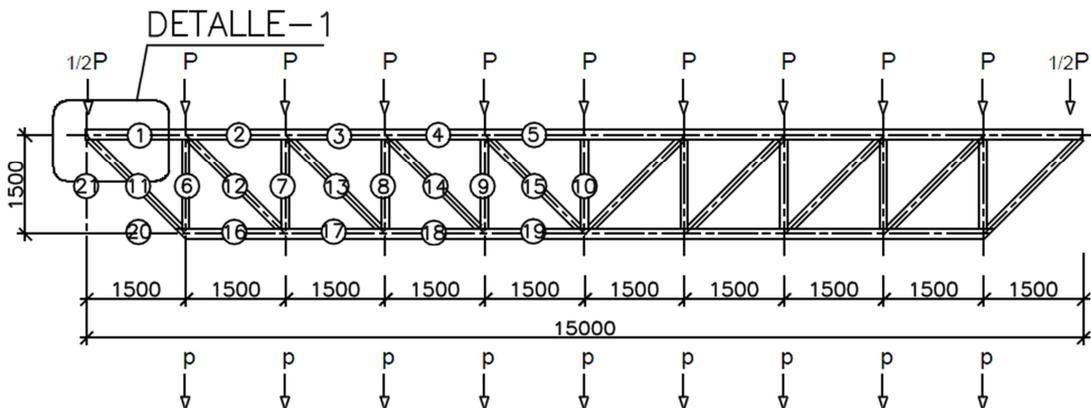


Figura 4-14. Representación de los miembros que conforman la conexión Y.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-27. Fuerzas Axiales Totales

Miembro		K1	K2	P (Kg)	p (Kg)	Fuerza Axial Total (Kg)
Cordón Principal	1	-4,50	-4,50	-10287,00	-2025,00	-12312
Miembro Secundario	11	6,36	6,36	14538,96	2862,00	17401

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (9)

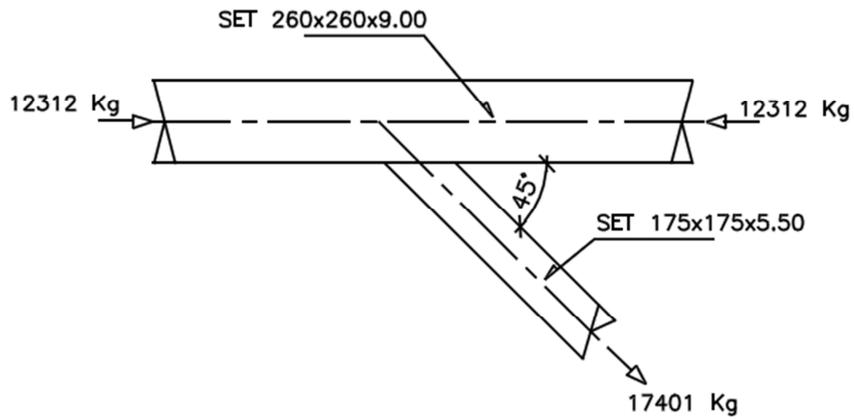


Figura4-15. Detalle Conexión Tipo Y

Fuente: Elaboración Propia

Según los criterios para las conexiones en cerchas con SET tubulares, de acuerdo a las Especificaciones de LRFD, AISC 2010 Sección 9.4-3 los elementos de la conexión deben cumplir los siguientes requerimientos:

- **Límites de Aplicabilidad**

Tabla 4-28. Límites de Aplicabilidad para SET Cuadradas

Excentricidad de la junta	$-0.55H \leq e \leq 0.25H$	No Aplica	-
Angulo del Miembro Secundario	$\vartheta \geq 30^\circ$	$\theta = 45^\circ > 30$	Si cumple
Rigidez de la Pared	B/t y $H/t \leq 50$	$B/t = H/t = 28,89$	Si cumple
	B_b/t_b y $H_b/t_b \leq 35$	$B_b/t_b = H_b/t_b = 31,82$	Si cumple
Resistencia	$F_y \leq 3600 \text{ Kg/cm}^2$ $F_{y_b} \leq 3600 \text{ Kg/cm}^2$	$F_y = F_{y_b} = 3500 \text{ Kg/cm}^2$	Si cumple
Relación de Aspecto	$0.5 \leq H / B \leq 2.0$	$H/B = 1,000$	Si cumple
	$0.5 \leq H_b / B_b \leq 2.0$	$H_b/B_b = 1$	Si cumple
Ductulidad	$F_y / F_u \leq 0.8$	$F_y / F_u = 0,8$	Si cumple

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Verificación de los Miembros Sometidos a Tracción**

Se debe comprobar que el miembro sometido a fuerzas de tracción soporte la fuerza axial actuante sobre la junta de la cercha, para efectos del presente diseño, el miembro en Tracción es el once (11) correspondiente al miembro secundario.

Tabla 4-29. Verificación por tracción

Cedencia sobre el área total	Ruptura sobre el área neta efectiva
$\Phi_t = 0.9$ $P_n = F_y A_g$	$\Phi_t = 0.75$ $P_n = F_u A_e$
$P_n = 3500 \text{ Kg/cm}^2 (36,25 \text{ cm}^2)$ $P_n = 117994 \text{ Kg}$	$A_e = A_U$; $A_e = A_g U$ $A_e = 36,25 \text{ cm}^2 (1) = 36,25 \text{ cm}^2$ $P_n = 4360 \text{ Kg/cm}^2 (36,25 \text{ cm}^2)$ $P_n = 158050 \text{ Kg}$
$P_u = 106194 \text{ Kg}$ $106194 \text{ Kg} > 17401 \text{ Kg}$ <i>Ok.</i>	$P_u = 118538 \text{ Kg}$ $118538 \text{ Kg} > 17401 \text{ Kg}$ <i>Ok.</i>

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Verificación de los Miembros Sometidos a Compresión**

Se debe comprobar que el miembro sometido a fuerzas de compresión soporte la fuerza axial actuante sobre la junta de la cercha, para efectos del presente diseño, el cordón principal uno (1) resulta ser el único elemento a compresión.

Tabla 4-30. Verificación por Compresión

Parámetros	Cordón Principal
$\lambda = b/t = h/t$	$\lambda = (B - R) / t = (H - R) / t$ $\lambda = (260 - 27) / 9,00$ $\lambda = 25,88$
$\lambda_r = 1,40 \sqrt{E/F_y}$	$\lambda_r = 1,40 \sqrt{2,1 \times 10^6 / 3500}$ $\lambda_r = 34,29$
Si $\lambda \leq \lambda_r$; $Q = 1,00$	
$\lambda_c = \frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$	$\lambda_c = \frac{0,9(150cm)}{10,16cm \pi} \sqrt{\frac{3500 \text{ Kg/cm}^2}{2,1 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2}}$ $\lambda_c = 0,172$
Si $\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1,5$; $F_{cr} = Q(0.658Q\lambda_c^2) F_y$	
$F_{cr} = Q(0.658Q\lambda_c^2) F_y$	$F_{cr} = 1,00(0.658^{1,00(0,172^2)}) 3500 \text{ Kg/cm}^2$ $F_{cr} = 3456,92 \text{ Kg/cm}^2$
$P_u = 0,85 P_n$	$P_u = 0,85(87,58)(3456,92)$ $P_u = 257344 \text{ Kg}$ $257344 \text{ Kg} > 12312 \text{ Kg}$

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

Además de los límites de aplicabilidad, se debe cumplir lo siguiente:

(1) $\beta > 0.25$

$$\begin{aligned} B_b/B &= 175\text{mm}/260\text{mm} \\ &= 0,67 \end{aligned}$$

$$0,67 > 0.2$$

- **Plastificación del Cordón**

Tabla 4-31. Estado Límite de Plastificación de pared del cordón

$\Phi = 1.00$ $P_n \text{ sen } \theta = F_y t^2 \left[\frac{2\eta}{1-\beta} + \frac{4}{\sqrt{(1-\beta)}} \right] Q_f$	
$\eta = N/B = \frac{H_b}{B \text{ sen } \theta} = \frac{175}{260 \text{ sen}(45)}$ $\eta = 0,95$	
$Q_f = 1.3 - 0.4U/\beta \leq 1$	
$U = \left \frac{P_u}{A_g F_y} \right + \left \frac{M_u}{S F_y} \right $	$U = \frac{22599}{87,58(3500)} + 0$ $U = 0,07$
$Q_f = 1.3 - 0.4(0,07)/0,67$ $= 1,25$ <p>Debido a que $1,25 > 1$; se toma $Q_f = 1,00$</p>	
$P_n \text{ sen } 45 = 3500(0,9)^2 \left[\frac{2(0,95)}{1-0,67} + \frac{4}{\sqrt{(1-0,67)}} \right] 1,00$ $P_u = 51001 \text{ Kg}$ $51001 \text{ Kg} > 17401 \text{ Kg} \quad \mathbf{ok.}$	

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Estado Límite de ruptura al corte por punzonado**

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

Para efectos de diseño este límite no aplica.

- **Estado límite de Resistencia de Paredes Laterales**

Tabla 4-32. Estado Límite de Resistencia de Paredes Laterales

Cedencia Local	Aplastamiento de Pared Lateral
$\phi = 1.00$ $P_n \text{ sen } \theta = 2tF_y(5k + N)$	$\phi = 0.75$ $P_n \text{ sen } \theta = 1.6t^2[1 + 3N/H]\sqrt{EF_yQ_f}$
$N = \frac{H_b}{\text{sen}\theta} = \frac{175}{\text{sen}(45)}$ $N = 24,75\text{cm}$	
$P_n \text{ sen}(45) = 2(0,9)(3500)(5(2,7) + 24,75)$ $P_u = 304701 \text{ Kg}$ $304701 \text{ Kg} > 17401 \text{ Kg}$	$P_n \text{ sen}(45) = 1.6(0,9)^2 \left[1 + \frac{3(24,74)}{26} \right] \sqrt{2,1 \times 10^6 (3500) 1,00}$ $P_u = 454262 \text{ Kg}$ $454262 \text{ Kg} \geq 17401$

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Longitud efectiva de la Soldadura**

$$L_e = 2(H_{b10} + H_{b15}) + (B_{b10} + B_{b15})$$

$$L_e = 2(169,7 + 70) + (120 + 70)$$

$$L_e = 609,4\text{mm.} \approx 61\text{cm}$$

2.6. Conexión Típica Tipo K con cartela o plancha de unión

Cercha Tipo Pratt 10 Paneles.
SET Circulares

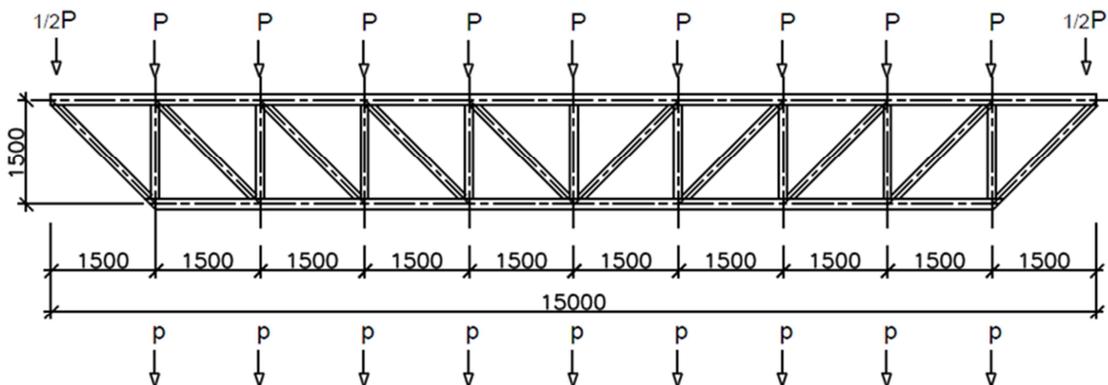
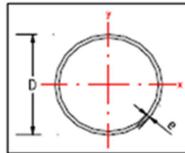


Figura 4-16. Cercha Tipo Pratt 10 Paneles.
Fuente: Elaboración Propia

Las propiedades geométricas de los siguientes perfiles fueron tomadas de los catálogos vigentes de los tubos estructurales de acero disponibles en Venezuela

Tabla 4-33. *Propiedades geométricas de las SET*



ASTM A500 -03a Grado C	
$F_y =$	3500 kg/cm^2
$F_u =$	4360 kg/cm^2

Miembro	Nomenclatura	D cm	t cm	A cm²
Cordon Principal (4)-(5)	SET 193.70 x 4.50	19,37	0,45	26,75
Miembro Secundario (9)	SET 127.00 x 3.00	12,7	0,3	11,69
Miembro Secundario (15)	SET 127.00 x 3.00	12,7	0,3	11,69

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (8)

Propiedades de la cartela:

- $F_{y1} = 2500 \text{ Kg/cm}^2$

Longitud = 550mm

Espesor = 0,90mm

- Resistencia al corte:

$$\begin{aligned} \text{Resistencia de la cartela} &= 0,6F_{y1}t_1l_1 \\ &= 0,6(2500)(0,09)(55) \\ &= 7425 \text{ Kg} \end{aligned}$$

- Carga actuante sobre la cartela (P_c):

$$P_c = 4562 \text{ Kg}$$

Cargas aplicadas a la cercha

$$CP = 290 \text{ Kg/m}^2$$

$$CV = 100 \text{ Kg/m}^2$$

Mayoración de Cargas

$$1.2CP + 1.6CV = 508 \text{ Kg/m}^2$$

Para $n = 10$, las fuerzas axiales actuantes sobre los miembros 4, 5, 9 y 15 los cuales conforman la conexión Tipo K en una Cercha Pratt, se definen en la Tabla 4-36 Observe que los miembros 4 y 5 corresponden al cordón principal de la junta, mientras que los elementos 9 y 15 representan los miembros secundarios.

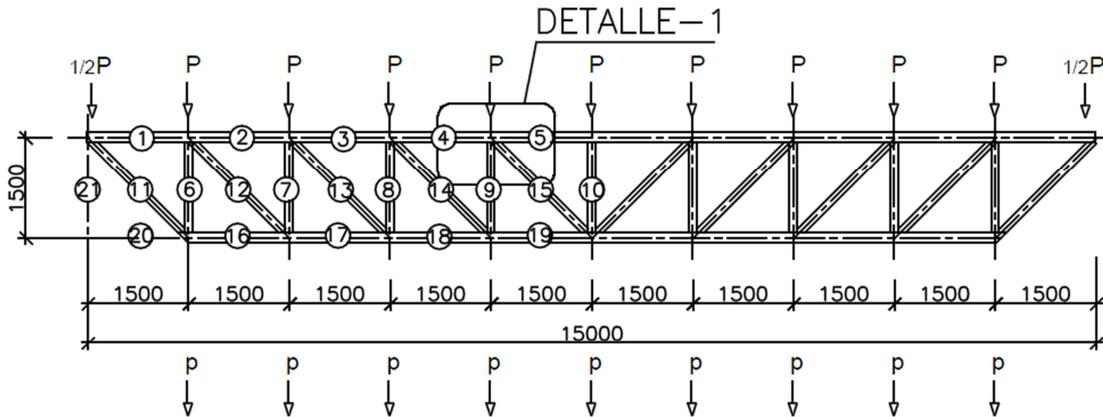


Figura 4-17. Representación de la conexión más desfavorable.
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-34. Fuerzas Axiales Totales

Miembro	K1	K2	P (Kg)	p (Kg)	Fuerza Axial Total (Kg)
Cordón Principal 4	-12,00	-12,00	-54864,00	-5400,00	-60264,00
Cordón Principal 5	-12,50	-12,50	-57150,00	-5625,00	-62775,00
Miembro Secundario 9	-1,50	-0,50	-6858,00	-225,00	-7083,00
Miembro Secundario 15	0,71	0,71	3246,12	319,50	3565,62

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (9)

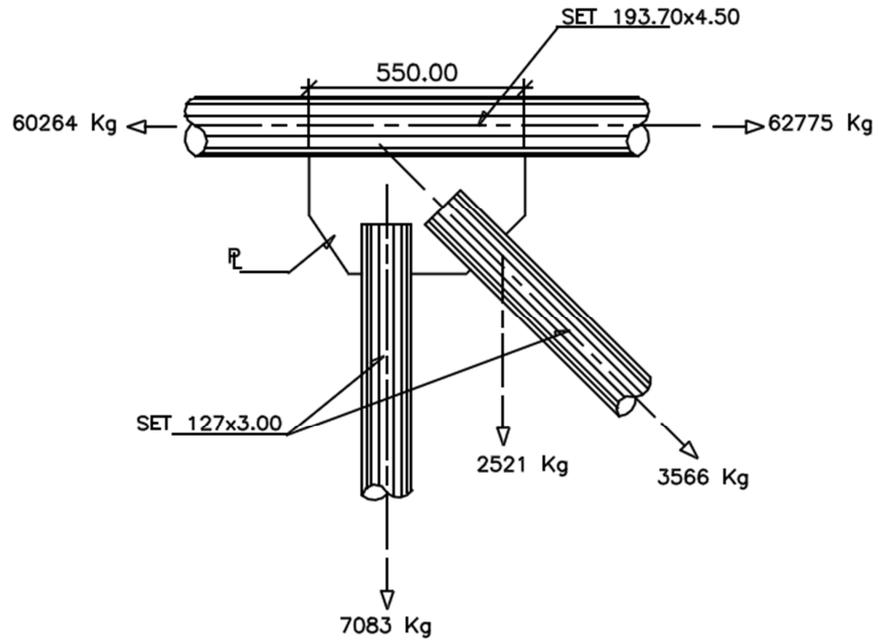


Figura 4-18. Detalle Conexión Tipo K
Fuente: Elaboración Propia

Según los criterios para las conexiones en cerchas con SET tubulares, de acuerdo a las Especificaciones de LRFD, AISC 2010 Sección 9.4-3 los elementos de la conexión deben cumplir los siguientes requerimientos:

- **Límites de Aplicabilidad**

Tabla 4-35. Límites de Aplicabilidad con SET Cuadradas

Excentricidad de la junta	$-0.55H \leq e \leq 0.25H$	No Aplica	-
Angulo de los Miembros Secundarios	$\vartheta \geq 30^\circ$	$\theta = 45^\circ > 30$ $\theta = 90^\circ > 30$	Si cumple
Rigidez de la Pared	(4)-(5) $D/t \leq 50$ (9)-(15) $D_b/t_b \leq 50$	(1) $D/t = 43,04$ (2) $D_b/t_b = 42,33$	Si cumple Si cumple
Relación de Ancho	$0.2 < D_b/D \leq 1.0$	$D_b/D = 0,66$	Si cumple
Resistencia	$F_y \leq 3600 \text{ Kg/cm}^2$ $F_{y_b} \leq 3600 \text{ Kg/cm}^2$	$F_y = F_{y_b} = 3500 \text{ Kg/cm}^2$	Si cumple
Ductilidad	$F_y/F_u \leq 0,8$	$F_y/F_u = 0,80$	Si cumple

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Verificación de los Miembros Sometidos a Tracción**

Miembro secundario

Se debe comprobar que el miembro sometido a fuerzas de tracción soporte la fuerza axial actuante sobre la junta de la cercha, para efectos del presente diseño, el miembro en Tracción es el once (15) correspondiente al miembro secundario.

Tabla 4-36 Verificación por tracción para miembro secundario

Cedencia sobre el área total	Ruptura sobre el área neta efectiva
$\Phi_t = 0.9$ $P_n = F_y A_g$	$\Phi_t = 0.75$ $P_n = F_u A_e$
$P_n = 3500 \text{ Kg/cm}^2 (11,69 \text{ cm}^2)$ $P_n = 40915 \text{ Kg}$	$A_e = AU$; $A_e = A_n U$ $A_n = (11,69 \text{ cm}^2) - ((0,09)(12,70)) = 10,55 \text{ cm}^2$ $U = 1 - (\bar{x}/l) \leq 0.9$ $\bar{x} = \frac{D}{\pi} = 6,16 \text{ cm}$ $U = 1 - (6,16/150) = 0,9 \leq 0.9$ $A_e = (10,55 \text{ cm}^2)(0,9) = 9,5 \text{ cm}^2$ $P_n = 4360 \text{ Kg/cm}^2 (9,5 \text{ cm}^2)$ $P_n = 41420 \text{ Kg}$
$P_u = 36824 \text{ Kg}$ 36824 Kg > 3566 Kg Ok.	$P_u = 31065 \text{ Kg}$ 31065 Kg > 3566 Kg Ok.

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

Cartela

Tabla 4-37. Verificación por tracción para miembro secundario

Cedencia sobre el área total	Ruptura sobre el área neta efectiva
$\Phi_t = 0.9$ $P_n = F_y A_g$	$\Phi_t = 0.75$ $P_n = F_u A_e$
$P_n = 2500 \text{ Kg/cm}^2 (55 \text{ cm})(0,09)$ $P_n = 12375 \text{ Kg}$	$A_e = AU$; $A_e = A_g U$ $A_e = (55)(0,09) \text{ cm}^2 (1) = 4,95 \text{ cm}^2$ $P_n = 4360 \text{ Kg/cm}^2 (4,95 \text{ cm}^2)$ $P_n = 21582 \text{ Kg}$
$P_u = 11138 \text{ Kg}$ 11138 Kg > 4562 Kg Ok.	$P_u = 16187 \text{ Kg}$ 16187 Kg > 4562 Kg Ok.

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

• **Verificación de los Miembros Sometidos a Compresión**

Se debe comprobar que el miembro sometido a fuerzas de compresión soporte la fuerza axial actuante sobre la junta de la cercha, para efectos del presente diseño, el cordón principal uno (4) y (5) y el miembro secundario (9) son los elementos a compresión.

Tabla 4-38. Verificación por Compresión

Parámetros	Cordón Principal	Miembro Secundario
	$\Phi_c = 0.85$ $P_n = F_{cr} A_g$	$\Phi_c = 0.85$ $P_n = F_{cr} A_g$
$\lambda = D/t$	$\lambda = 19,37/0,45$ $\lambda = 43,04$	$\lambda = 12,70/0,30$ $\lambda = 42,33$
$\lambda \leq 0,448 E/F_y$	$\lambda \leq 268,8$	
$\lambda_r = 0,114 E/F_y$	$\lambda_r = 68,40$	
Si $\lambda \leq \lambda_r$; $Q = 1,00$		
$\lambda_c = \frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$	$\lambda_c = \frac{0,90(150cm)}{6,69cm \pi} \sqrt{\frac{3500 Kg/cm^2}{2,1 \times 10^6 Kg/cm^2}}$ $\lambda_c = 0,26$	$\lambda_c = \frac{0,75(150cm)}{4,39cm \pi} \sqrt{\frac{3500 Kg/cm^2}{2,1 \times 10^6 Kg/cm^2}}$ $\lambda_c = 0,33$
Si $\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1,5$; $F_{cr} = Q(0.658^{Q\lambda_c^2}) F_y$		
$F_{cr} = Q(0.658^{Q\lambda_c^2}) F_y$	$F_{cr} = 1,00(0.658^{1,00(0,26)^2}) 3500 Kg/cm^2$ $F_{cr} = 3402 Kg/cm^2$	$F_{cr} = 1,00(0.658^{1,00(0,33)^2}) 3500 Kg/cm^2$ $F_{cr} = 3344 Kg/cm^2$
$P_u = 0,85 P_n$	$P_u = 0,85(26,75)(3402)$ $P_u = 77360 Kg$ $77360Kg > 62775Kg$ Ok.	$P_u = 0,85(11,69)(3344)$ $P_u = 33228 Kg$ $33228Kg > 7083Kg$ Ok.

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

Además de los límites de aplicabilidad, se debe cumplir lo siguiente:

(1) $\beta > 0.25$

$$\begin{aligned} B_b/B &= 175mm/260mm \\ &= 0,67 \end{aligned}$$

$$0,67 > 0.25$$

- **Plastificación del Cordón**

Tabla 4-39. Estado Límite de Plastificación de pared del cordón

$\Phi = 1.00$ $P_n \text{ sen } \theta = F_y t^2 \left[\frac{2\eta}{1-\beta} + \frac{4}{\sqrt{(1-\beta)}} \right] Q_f$	
$\eta = N/B = \frac{H_b}{B \text{ sen } \theta} = \frac{175}{260 \text{ sen}(45)}$ $\eta = 0,95$	
$Q_f = 1.3 - 0.4U/\beta \leq 1$	
$U = \left \frac{P_u}{A_g F_y} \right + \left \frac{M_u}{S F_y} \right $	$U = \frac{22599}{87,58(3500)} + 0$ $U = 0,07$
$Q_f = 1.3 - 0.4(0,07)/0,67$ $= 1,25$ <p>Debido a que $1,25 > 1$; se toma $Q_f = 1,00$</p>	
$P_n \text{ sen } 45 = 3500(0,9)^2 \left[\frac{2(0,95)}{1-0,67} + \frac{4}{\sqrt{(1-0,67)}} \right] 1,00$ $P_u = 51001 \text{ Kg}$ $51001 \text{ Kg} > 31940 \text{ Kg} \quad \mathbf{ok.}$	

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Estado Límite de ruptura al corte por punzonado**

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

Para efectos de diseño este límite no aplica.

- **Estado límite de Resistencia de Paredes Laterales**

Tabla 4-40. Estado Límite de Resistencia de Paredes Laterales

<i>Cedencia Local</i>	<i>Aplastamiento de Pared Lateral</i>
$\phi = 1.00$ $P_n \text{ sen } \theta = 2tF_y(5k + N)$	$\phi = 0.75$ $P_n \text{ sen } \theta = 1.6t^2[1 + 3N/H] \sqrt{EF_y Q_f}$
$N = \frac{H_b}{\text{sen } \theta} = \frac{175}{\text{sen}(45)}$ $N = 24,75\text{cm}$	
$P_n \text{ sen}(45) = 2(0,9)(3500)(5(2,7) + 24,75)$ $P_u = 304701 \text{ Kg}$ $304701 \text{ Kg} > 31940 \text{ Kg} \quad \mathbf{Ok.}$	$P_n \text{ sen}(45) = 1.6(0,9)^2 \left[1 + \frac{3(24,74)}{26} \right] \sqrt{2,1 \times 10^6 (3500) 1,00}$ $P_u = 454261 \text{ Kg}$ $454261 \text{ Kg} > 31940 \text{ Kg} \quad \mathbf{Ok.}$

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

- **Longitud efectiva de la Soldadura**

$$L_e = 2(H_{b10} + H_{b15}) + (B_{b10} + B_{b15})$$

$$L_e = 2(169,7 + 70) + (120 + 70)$$

$$L_e = 609,4\text{mm.} \approx 61\text{cm}$$

2.7. Conexión Típica Tipo T con Cordón Principal a Tracción

Cercha Tipo Howe 10 Paneles.
 SET Rectangular y Cuadrada

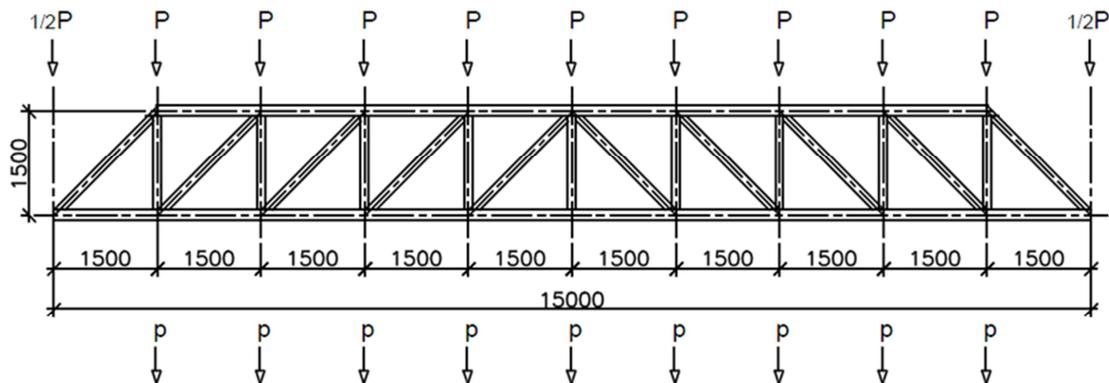
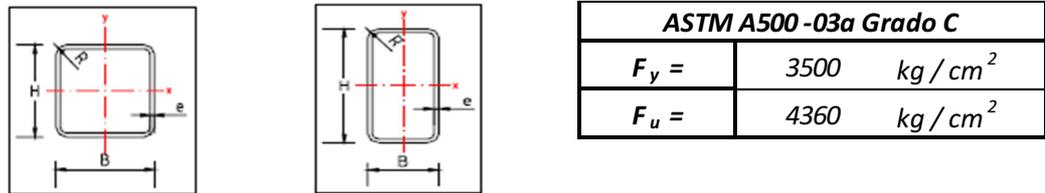


Figura 4-19. Cercha Tipo Pratt 10 Paneles.
 Fuente: Elaboración Propia

Las propiedades geométricas de los siguientes perfiles fueron tomadas de los catálogos vigentes de los tubos estructurales de acero disponibles en Venezuela

Tabla 4-41. *Propiedades geométricas de las SET*



Miembro	Nomenclatura	H cm	b cm	t cm	A cm²
Cordon Principal (19)-(19')	SET 350x170x11.00	35	35	1,1	105,41
Miembro Secundario (14)	SET 155x155x4.50	15,5	15,5	0,45	26,39

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (8)

Cargas aplicadas a la cercha

$$CP = 290 \text{ Kg/m}^2$$

$$CV = 100 \text{ Kg/m}^2$$

Mayoración de Cargas

$$1.2CP + 1.6CV = 508 \text{ Kg/m}^2$$

Para $n = 10$, las fuerzas axiales actuantes sobre los miembros 4, 5, 9 y 15 los cuales conforman la conexión Tipo K en una Cercha Pratt, se definen en la Tabla 2.7-2. Observe que los miembros 4 y 5 corresponden al cordón principal de la junta, mientras que los elementos 9 y 15 representan los miembros secundarios.

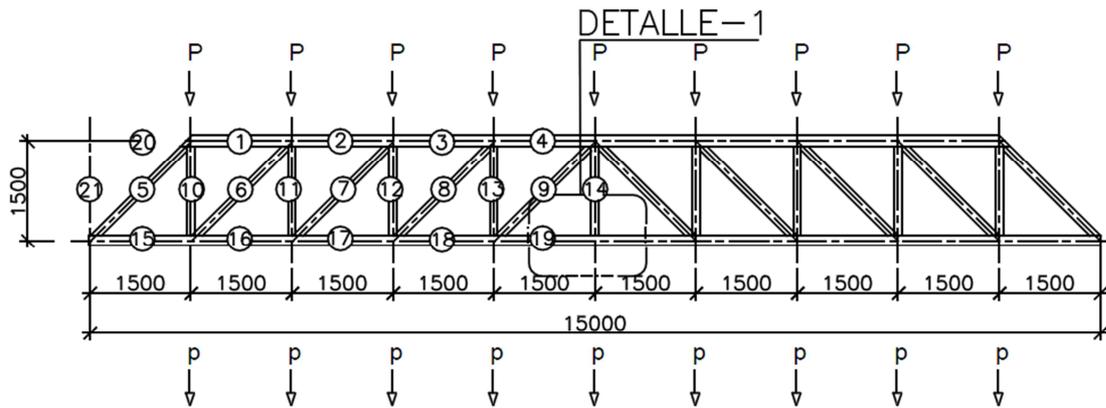


Figura 4-20. Representación de la conexión más desfavorable.
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4-42. Fuerzas Axiales Totales

Miembro		K1	K2	P (Kg)	p (Kg)	Fuerza Axial Total (Kg)
Cordón Principal	19-19'	12,50	12,50	57150,00	5625,00	62775
Miembro Secundario	14	0,00	1,00	0,00	450,00	450

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (9)

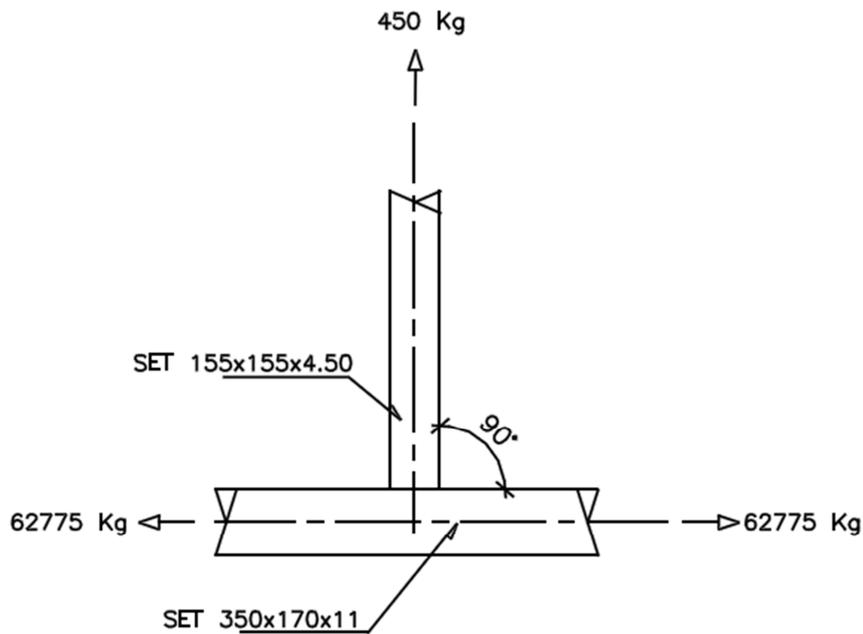


Figura 4-21. Detalle Conexión Tipo T
Fuente: Elaboración Propia

Según los criterios para las conexiones en cerchas con SET tubulares, de acuerdo a las Especificaciones de LRFD, AISC 2010 Sección 9.4-3 los elementos de la conexión deben cumplir los siguientes requerimientos:

- **Límites de Aplicabilidad**

Tabla 4-43. *Fuerzas Axiales Totales*

Excentricidad de la junta	$-0.55H \leq e \leq 0.25H$	No Aplica	-
Angulo del Miembro Secundario	$\vartheta \geq 30^\circ$	$\theta = 90^\circ > 30$	<i>Si cumple</i>
Rigidez de la Pared	$B/t \text{ y } H/t \leq 50$ $B_b/t_b \text{ y } H_b/t_b \leq 35$	$B/t = 15,45$ $H/t = 31,82$ $B_b/t_b = H_b/t_b = 34,44$	<i>Si cumple</i> <i>Si cumple</i> <i>Si cumple</i>
Resistencia	$F_y \leq 3600 \text{ Kg/cm}^2$ $F_{y_b} \leq 3600 \text{ Kg/cm}^2$	$F_y = F_{y_b} = 3500 \text{ Kg/cm}^2$	<i>Si cumple</i>
Relación de Aspecto	$0.5 \leq H/B \leq 2.0$ $0.5 \leq H_b/B_b \leq 2.0$	$H/B = 2,112$ $H_b/B_b = 1$	No Cumple <i>Si cumple</i>

Fuente: Adaptado a Referencia Bibliográfica (1)

Según los criterios establecidos por las Especificaciones LRFD-HSS del AISC las SET rectangulares no cumplen con los requerimientos exigidos por éstas.

Se calculó la Relación de Aspecto para los distintos perfiles que ofrecen los catálogos de los materiales disponibles en Venezuela, y se verificó el no cumplimiento de este tipo de secciones, por lo que no se logró el diseño de las conexiones empleando su uso.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo, se presentan las conclusiones alcanzadas a medida que se fue desarrollando el presente trabajo de investigación, partiendo desde los objetivos planteados al inicio del mismo.

Finalmente, se presentan las recomendaciones consideradas pertinentes para la realización de trabajos futuros, ampliando el enfoque sobre el uso de las secciones estructurales tubulares y a su vez mejorar dicha investigación.

1. Conclusiones

Orientados en los objetivos tanto general como específicos expuestos al inicio de este trabajo, se concluye lo siguiente:

- Tras la revisión de las distintas normas vigentes especializadas en Estructuras de acero, tal como las Especificaciones Americanas LRFD-HSS del AISC y la Norma Venezolana COVENIN 1618-1998 “*Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites*”, guías de diseño, bibliografía especializada en el tema de diseño de conexiones, tablas, ecuaciones y catálogos de las propiedades de materiales empleados, se logró definir los procedimientos de diseño para distintos tipos de conexiones, adaptándolas a las características de los materiales que están disponibles en Venezuela.
- Luego de precisar el procedimiento detallado de diseño, se logró su desarrollo para distintos tipos de conexiones en cerchas planas, ilustrando además, el caso del uso de cartelas, pese que este trabajo de investigación estuvo enfocado únicamente en cerchas donde se desea cuidar su apariencia estética. Por tal motivo, no se consideró el uso de planchas de conexión y pernos en el diseño de las conexiones.
- Posterior al desarrollo de los ejemplos de diseño, se observó que los materiales disponibles en Venezuela, no son aptos en su totalidad para el diseño de estas conexiones, ya que no cumplen con algunos requerimientos y criterios establecidos en las Especificaciones LRFD-HSS del AISC. Además, se concluyó que debido a la delgadez de los espesores de estos elementos estructurales tubulares, no son eficaces para el desarrollo del diseño de algunas conexiones entre ellos. En el caso de las SET rectangulares, no fue posible diseñar su conexión para ninguna de sus dimensiones geométricas, pues ocasionan incompatibilidad con distintos límites propuestos en las Especificaciones LRFD-HSS.
- Con la finalidad de introducir las Especificaciones LRFD-HSS del AISC a la Normas Venezolanas, se logró la comprobación de su aplicabilidad mediante el

uso de los materiales disponibles en Venezuela, pues en el desarrollo de los ejemplos de diseño se verificó el cumplimiento de éstos. Sin embargo, se demostró que no todos estos productos cumplen con las exigencias que establece la Norma Americana.

2. Recomendaciones

Tomando en cuenta el resultado de este trabajo de investigación, se plantean las siguientes recomendaciones con la finalidad de ser consideradas para futuros trabajos:

- Desarrollar nuevos trabajos de investigación, incorporando otras características en las que se involucren secciones estructurales tubulares, tales como estructuras aporticadas, verificación de pandeo, flexión, investigación sobre conexiones en cerchas tridimensionales o espaciales para grandes espacios y diversas formas.
- Desarrollar, Aprovechando la información suministrada por este Trabajo Especial de Grado, un Manual de Diseño de Conexiones con Elementos Tubulares, que sirva de ayuda al Ingeniero Estructural para la ejecución de los cálculos correspondientes al diseño de sus conexiones, apoyados en resúmenes, gráficos, ecuaciones y tablas.
- Desarrollar procedimientos de diseños donde se consideren pernos, camisas tanto exteriores e interiores y cartelas o planchas de unión, las cuales pueden ser utilizados en conexiones para cerchas ubicadas en tanques elevados, torres, o lugares donde la apariencia estética de la cercha no sea prioridad.
- Desarrollar procedimientos de diseños correspondientes a las conexiones en cruz, que a pesar de no ser una conexión típica, y no estar incluida en este trabajo de investigación, se encuentran establecidas en las Especificaciones LRFD-HSS del AISC y guías de Diseños.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) American Institute of Steel Construction (2000). *Load and Resistance Factor Design Especificación for Steel Hollow Structural Sections*. Chicago, Illinois.
- (2) American Institute of Steel Construction (2010). *Hollow Structural Section Connections, Steel Design Guide 24th edition*. Estados Unidos.
- (3) American Iron and Steel Institute. (1976) *Design Manual for Structural Tubing*. (1^{era} ed.). Washington, D.C
- (4) Bresler, Lin y Scalzi. (1976) *Diseño de Estructuras de Acero* (1^{era} ed.), Limusa. México. pp 926
- (5) Blodgett, Omer W. (1996). *Design of Welded Structures*, The James F. Lincoln Arc Welding Foundation, Cleveland.
- (6) Comité International pour le Développement et l'Etude de la Construction Tabulaire (CIDECT). (2001). *Design Guide for Circular and Rectangular Hollow Section Welded Joints Under Fatigue Loading*. Alemania. pp 122
- (7) Fratelli, M (1991). *Proyectos Estructurales de Acero* (1^{era} ed). Caracas. pp 607
- (8) Industrias Unicon, C:A. (2005). *Tablas de Propiedades de Tubos Estructurales de Acero* disponibles en Venezuela. Recuperado en Agosto, 2, 2010, de http://www.unicon.com.ve/estructural_tubos_estructurales_tabladiseno.html.
- (9) Melaragno, M.(1981). *Simplified Truss Design*, Litton Educational Publishing, Inc. New York.
- (10) Norma Venezolana COVENIN 1618:1998. *Estructuras de Acero para Edificaciones: Métodos de los Estados Límite*. (1^{era} revisión).Caracas: FONDONORMA.

APÉNDICE

En esta sección, se presenta la Especificación *Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Sections, AISC Noviembre 2000* en su versión al español, con la finalidad de proporcionar una norma, que era encontrada únicamente en inglés, ahora versionada al lenguaje castellano; facilitando así, al Ingeniero Estructural la aplicación de la misma.

Versión al Español

*Load and Resistance Factor Design
Specification for Steel Hollow
Structural Sections*



*LRFD Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural
Sections, November 10, 2000*
AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION

INDICE

SÍMBOLOS	iv
1. PROVISIONES GENERALES	1
1.1. Alcance	1
1.2. Material.....	1
1. Acero Estructural	1
2. Diseño del Espesor de Pared	2
1.3 Cargas y Combinaciones de Carga.....	2
2. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO.	3
2.1. Área Efectiva de Miembros a Tracción.	3
2.2. Pandeo Local	4
Clasificación de las Secciones de Acero.....	4
2. Diseño por Análisis Plástico	4
3. Diseño en Aplicaciones Sísmicas.....	5
2.3. Limitantes de Relaciones de Esbeltez.....	5
3. MIEMBROS DE TRACCIÓN.....	5
3.1. Resistencia de Diseño de Tensión de rotura.	5
4. COLUMNAS Y OTROS MIEMBROS A COMPRESIÓN	6
4.1. Longitud Efectiva y Limitaciones de Esbeltez.....	6
1. Longitud Efectiva.....	6
2. Diseño por Análisis Plástico	7
4.2. Resistencia de Diseño a Compresión	7
5. VIGAS Y OTROS MIEMBROS SOMETIDOS A FLEXIÓN	8
5.1. Diseño de Resistencia a flexión	8
5.2. Diseño de Resistencia al Corte	9
5.3. Diseño por Análisis Plástico	10
5.4. Diseño en Aplicaciones Sísmicas.....	11
6. MIEMBROS DE TORSIÓN	11
6.1. Diseño de Resistencia a la Torsión.....	11
7. MIEMBROS SOMETIDOS A FUERZAS COMBINADAS	12
7.1. Diseño para Flexión y Fuerza Axial combinadas	12
7.2. Diseño para Torsión, Cortante, Flexión y/o Fuerza Axial Combinadas..	12
8. FUERZAS CONCENTRADAS EN SET	13
8.1. Fuerza concentrada Distribuida Transversalmente	13

8.2. Fuerza Concentrada Distribuida Longitudinalmente en el centro de cara de la SET	15
8.3. Fuerza Axial Concentrada en el Extremo de una SET Rectangular sellada	15
9. CONEXIONES Y CONECTORES	16
1. A través de Pernos	16
2. Conectores especiales	16
3. Conectores a Tracción	16
9.2. Soldaduras.....	17
9.3. Otros Requerimientos para conectores.....	18
1. Resistencia a la Ruptura por Corte.....	18
2. Resistencia a la Ruptura por Tracción.....	18
3. Resistencia a la Ruptura por Punzonamiento de Corte.	18
4. Conexiones Excéntricas.	19
9.4. Conexiones entre SET en Armaduras.	19
1. Definición de parámetros.	20
2. Criterio para SET Circulares.	20
3. Criterio para SET Rectangular	23
10. REQUERIMIENTOS GENERALES PARA LA FABRICACIÓN DE LAS SET.....	27
COMENTARIOS	28
1. PROVISIONES GENERALES.....	28
1.1. Alcance	28
1.2. Material	29
1.3. Cargas y Combinaciones de Cargas	31
2. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	33
2.1. Área Efectiva de Miembros a Tracción.....	33
2.2. Pandeo Local.....	33
3. MIEMBROS A TRACCIÓN.....	35
3.1. Resistencia de Diseño a Tracción.....	35
4. COLUMNAS Y OTROS MIEMBROS A COMPRESIÓN.....	35
4.1. Longitud Efectiva y Limitaciones de Esbeltez.....	35
4.2. Resistencia de Diseño a Compresión	36
5. VIGAS Y OTROS MIEMBROS SOMETIDOS A FLEXIÓN	39
5.1. Diseño de Resistencia a flexión.....	39
5.2. Diseño de Resistencia al Corte	42
6. MIEMBROS EN TORSION	42
7. MIEMBROS SOMETIDOS A FUERZAS COMBINADAS.....	44

7.1. Diseño para Flexión y Fuerza Axial combinadas	44
7.2. Diseño para Torsión, Cortante, Flexión y/o Fuerza Axial Combinadas..	45
8. FUERZAS CONCENTRADAS EN SET	46
9. CONEXIONES Y CONECTORES	48
9.1. Provisiones Generales para Conexiones y Conectores.	48
9.2. Soldaduras	49
9.3. Otros Requerimientos para Conexiones	49
9.4. Conexiones entre SET en cerchas.....	50
10. REQUERIMIENTOS Generales para la Fabricación de SET.....	56

SÍMBOLOS

El número de sección en el lado derecho de la columna se refiere a la sección donde el símbolo es primeramente usado.

<u>Símbolo</u>	<u>Definición</u>	<u>Sección</u>
A	Área usada para calcular A_e , (cm^2)	2.1
A_g	Área total de la sección transversal, (cm^2).....	2.1
	Área total del cordón, (cm^2).....	9.4
A_e	Área neta efectiva para miembros a tracción, (cm^2).....	2.1
A_n	Área neta, (cm^2).....	2.1
A_w	Área del alma, (cm^2).....	5.3
B	Ancho total de SET rectangulares, (cm).....	1.3
B_b	Ancho total del miembro secundario de SET rectangular en conexione en cerchas, (cm).....	9.2
C	SET torsional constante.....	6
D	Diámetro externo de SET circulares, (cm).....	2.1
D_b	Diámetro externo del miembro secundario de SET circulares en conexiones en cerchas, (cm).....	9.4
E	Módulo de Elasticidad, (Kg/cm^2).....	2.2.1
F_{cr}	Esfuerzo crítico para pandeo en columnas, (Kg/cm^2).....	4.2
F_n	Esfuerzo nominal para la resistencia al corte en SET rectangulares (Kg/cm^2).....	5.2
F_u	Resistencia de tensión de tracción de rotura mínima especificada de SET, (Kg/cm^2).....	3.1
F_y	Resistencia cedente mínima especificada de la SET, (Kg/cm^2).....	2.2.1
F_{y1}	Resistencia cedente mínima especificada de la plancha o elemento de conexión que es soldado a una SET.....	8.1
F_{yb}	Resistencia cedente mínima especificada del miembro secundario en una SET en conexiones en cerchas, (Kg/cm^2).....	9.4
H	Altura total de SET rectangulares, (cm).....	1.3
H_b	Altura total de miembros secundarios de SET en conexiones en cerchas, (cm).....	9.
K	Factor de longitud efectiva de miembros en compresión.....	4.1

L_b	Longitud no arriostrada, (cm).....	5.1
L_{pd}	Longitud no arriostrada máxima para momento plástico M_p en análisis plástico, (cm).....	5.3
M_n	Resistencia flexional nominal, (Kg-m).....	5.1
M_p	Momento plástico de la sección, (Kg-m).....	5.1
M_r	Momento de cedencia de la sección, (Kg-m).....	5.1
M_u	Resistencia flexional requerida, (Kg-m).....	7.1
M_{ur}	Resistencia flexional requerida para SET circulares, (Kg-m).....	7.1
N	Longitud de apoyo de la carga concentrada a lo largo de la SET, (cm).....	8.1
P_n	Resistencia axial nominal, (Kg).....	2.2.1
P_u	Resistencia axial requerida, (Kg).....	4.2
P_y	Carga axial cedente, (Kg).....	2.2.1
Q	Factor de área efectiva.....	4.2
Q_f	Factor de reducción para compresión en SET, parámetro usado para conexiones en cerchas.....	9.4
Q_q	Parámetro usado para conexiones en cerchas.....	9.4
Q_β	Parámetro usado para conexiones en cerchas.....	9.4
R_f	Factor de Reducción para SET expuestas a fuerzas de viento, (Kg)....	1.3
R_n	Resistencia nominal de conexiones para SET, (Kg).....	8
S	Módulo de sección elástico, (cm ³).....	5.1
S_{eff}	Módulo de sección elástico efectivo para SET rectangulares con espesor de pared delgada, (cm ³).....	5.1
T_n	Resistencia a la Torsión nominal, (Kg).....	6.1
T_u	Resistencia a la Torsión Requerida, (Kg).....	7.2
U	Factor de retraso del cortante, parámetro usado para conexiones en cerchas.....	2.1
V_n	Resistencia al corte nominal, (Kg).....	5.2
V_u	Resistencia al corte requerido, (Kg).....	7.2
Z	Módulo de sección plástico, (cm ³).....	5.1
a	Longitud de cortante esencial constante en una viga, (cm).....	5.2
b	Anchura plana para SET rectangular ala o lado, que permite tomar el valor como $B - 3t$, (cm).....	2.2.1

b_1	Ancho de la placa o elemento conectado que es soldado a una SET, (cm).....	8.1
b_{eoi}	Parámetro usado para conexiones en cerchas.....	9.4
b_{gap}	Parámetro usado para conexiones en cerchas.....	9.4
c	Constante de flexión en miembros secundarios para SET rectangulares de conexiones en cerchas.....	9.4
d	Diámetro del perno, (cm).....	9.1
f	Esfuerzo, ksi (Mpa).....	4.2
g	Abertura entre miembros secundarios en una conexión tipo K, (cm)....	9.4
h	Anchura plana para SET rectangular miembro o lado, que permite tomar el valor como $H - 3t$, (cm).....	2.2.1
k	Distancia desde el punto de aplicación de la fuerza concentrada en la sección crítica de la SET, (cm).....	8.1
l	Longitud del miembro, (cm).....	2.3
l	Longitud de la conexión, (cm).....	2.1
r	Radio de giro, (cm).....	2.3
r_y	Radio de giro respecto al eje y, (cm).....	5.1
t	Espesor de pared de diseño tal como en la Sección 1.2, (cm).....	2.2.1
t_1	Espesor de la placa o elemento de conexión que es soldado a la SET, (cm).....	8.1
t_b	Espesor del miembro secundario en una SET para conexiones en cerchas, (cm).....	9.4
\bar{x}	Excentricidad del retraso del cortante, (cm).....	2.1
α	Parámetro usado para conexiones en cercha.....	9.4
β	Parámetro usado para conexiones en cerchas.....	9.4
β_{eff}	Parámetro usado para conexiones en cerchas.....	9.4
β_{eof}	Parámetro usado para conexiones en cerchas.....	9.4
β_{gap}	Parámetro usado para conexiones en cerchas.....	9.4
γ	Parámetro usado para conexiones en cerchas.....	9.4
ϕ	Factor de resistencia	
η	Parámetro usado para conexiones en cerchas.....	9.4
λ	Esbeltz de pared.....	2.2.1
λ_c	Esbeltz de columna.....	4.2

λ_p	Máxima esbeltez de pared para sección compacta.....	2.2.1
λ_r	Máxima esbeltez de pared para sección no compacta.....	2.2.1
ζ	Parámetro usado para conexiones en cerchas.....	9.4

Crterios de Diseo LRFD para Estructuras de Acero con Miembros de Secci3n Tubular

1. PROVISIONES GENERALES

1.1. Alcance

Estas especificaciones est1n destinadas para el diseo de secciones estructurales tubulares (SET) circulares y rectangulares, que son usadas como miembros estructurales en construcciones y para el diseo de conexiones con SET. Las SET son: (1) formas estructurales prism1ticas; y, (2) productos de un taller de tubos o conductos que cumplen con las tolerancias geom1tricas, requerimientos de tensi3n y qu1micos de una especificaci3n est1ndar. Las SET rectangulares incluyen secciones transversales cuadradas y rectangulares que tienen esquinas redondeadas dentro de las tolerancias de una especificaci3n apropiada del producto. Solo las SET no r1gidas, ni compuestas y sin fatiga son consideradas en esta Especificaci3n.

La presente Especificaci3n incluye la lista de s1mbolos.

Esta Especificaci3n est1 basada en la AISC *Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings* (AISC, 1999), de all1 en adelante, se refiere a las Especificaciones LRFD. En algunos casos, los criterios tomados de la Especificaci3n LRFD se ha modificado para aparecer de forma adimensional y se aplica directamente a SET rectangulares, las cuales tienen dos miembros. Para situaciones en las que esta Especificaci3n no hace referencia, deber1 aplicarse el criterio de la Especificaci3n LRFD. En aplicaciones s1smicas, las SET deben ser diseoadas cumpliendo con los requerimientos de la AISC *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* (AISC, 1997) y las *Seismic Provisions Supplement No. 2* (AISC, 2000).

1.2. Material

1. Acero Estructural

El material de las SET que satisface los requerimientos de una de las siguientes especificaciones ASTM est1 aprobado para el uso de esta Especificaci3n:

- ✓ Especificaci3n Est1ndar para tuber1as, acero, Negro y por Inmersi3n Caliente, Recubiertos con Zinc, Soldadas y sin costura, ASTM A53/A53M-99b Gr. B
- ✓ Especificaci3n Est1ndar para Soldaduras formadas en Frio y Tuber1as de Acero al Carbono sin costura en formas circulares, ASTM A500-99.
- ✓ Especificaci3n Est1ndar para Soldaduras en Caliente y Tuber1as de Acero al Carbono sin fisuras o grietas, ASTM A501-99.

- ✓ Especificación Estándar para Soldaduras formadas en Caliente y Tubos Estructurales de Alta Resistencia y Baja Aleación sin costura, ASTM A618-99.
- ✓ Especificación Estándar para Soldaduras formadas en Frio y Tubos Estructurales sin costura de alta resistencia y baja aleación con Resistencia Mejorada a la Corrosión Atmosférica, ASTM A847-99a.
- ✓ Ensayos o pruebas reportadas de talleres o reportes de ensayos certificados hechas por el fabricante, como también pruebas realizadas en laboratorios calificados que satisfacen los requerimientos ASTM A370, Métodos de Ensayo y Definiciones para Pruebas Mecánicas de Productos de Acero, regidos por las especificaciones, deben constituir evidencia suficiente en conformidad con uno de los ASTM estándares anteriores. Si se solicita, el fabricante deberá presentar una declaración jurada donde señala que el acero estructural cumple con los requisitos del grado especificado.

2. Diseño del Espesor de Pared

El diseño del espesor de pared t debe ser usado en los cálculos que involucran el espesor de las paredes de las SET. Cuando el diseño de este espesor no es conocido, es permitido tomar 0.93 veces el espesor de la pared nominal.

1.3 Cargas y Combinaciones de Carga.

Las cargas nominales y combinaciones de cargas factorizadas deberán ser estipuladas por el código aplicado bajo el cual la estructura fue diseñada ó según las condiciones participantes. En la ausencia de un código, las cargas y combinaciones de cargas factorizadas, incluyendo el impacto y la grúa de carga, deben ser estipuladas en el ASCE 7. Para propósitos de diseño las cargas estipuladas por el código aplicable o ASCE 7 deberán ser tomadas como carga nominal.

Si está permitido por el código aplicable de construcción, las fuerzas del viento proyectadas sobre el área expuesta de la SET, pueden ser reducidas por un factor R_f desde las fuerzas sobre la armadura con una configuración similar pero usando secciones o formas con elementos planos. El factor R_f podrá ser tomado según la siguiente clasificación:

Para SET circulares, $R_f = 2/3$

Para SET rectangulares con radio de esquina interno mayor o igual a 0.05 veces el ancho B y la fuerza del viento actuando sobre el lado corto (B), $R_f = 0.40.6 B/H \leq 2/3$, donde H es la profundidad de la SET. Para SET rectangulares bajo otras condiciones, $R_f = 1.0$.

2. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

2.1. Área Efectiva de Miembros a Tracción.

El área efectiva A_e de los miembros a tracción deberá ser determinada como sigue:

$$(i) \quad A_e = AU \quad (2.1-1)$$

- (a) Para una conexión soldada continua alrededor del perímetro, $A = A_g$, donde A_g es el área total y $U = 1$.
- (b) Para conexiones con cartelas concéntricas y SET ranuradas, $A = A_n$, donde el área neta A_n en el fin de la cartela es el área total menos el producto del espesor y el ancho total del material que es removido para formar las ranuras

$$U = 1 - (\bar{x}/l) \leq 0.9 \quad (2.1-2)$$

En la ecuación anterior, \bar{x} es la distancia perpendicular desde la soldadura al centro del área transversal de la sección que es tributaria a la soldadura.

Para SET circulares con una cartela concéntrica

$$\bar{x} = \frac{D}{\pi} \quad (2.1-3)$$

Para SET rectangulares con una cartela singular concéntrica

$$\bar{x} = \frac{B^2 + 2HB}{4(B+H)} \quad (2.1-4)$$

- (c) Para conexiones con SET rectangulares y un par de sitios en las cartelas, $A = A_g$, donde A_g es el área total y U deberá ser calculado usando la Ecuación 2.1-2 con

$$\bar{x} = \frac{B^2}{4(B+H)} \quad (2.1-5)$$

Donde:

l = longitud de la conexión en la dirección de la carga, (cm).

D = diámetro externo de la SET circular, (cm).

B = ancho total de la SET rectangular, (cm).

H = altura total de la SET rectangular, (cm).

Los mayores valores permitidos de U son usados en los casos precedentes cuando son justificados por los ensayos u otros criterios racionales. Para otras configuraciones al final de las conexiones, U será determinado por pruebas u otros criterios racionales.

2.2. Pandeo Local

Clasificación de las Secciones de Acero

Para el pandeo local, las SET están clasificadas según la pared en compresión de la zona compacta, no compacta, o elementos de esbeltez de las secciones transversales de acuerdo a la limitación de relaciones de esbeltez de la pared λ_p y λ_r como muestra la Tabla 2.2-1. Para calificar una SET como compacta, la relación de esbeltez de la pared λ debe ser menor o igual a λ_p . Si λ excede al valor de λ_p pero es menor o igual a λ_r , la SET es no compacta. Si λ se excede de λ_r , la SET es un elemento esbelto de sección transversal. La relación de esbeltez de pared λ deberá ser calculado según lo siguiente:

- (a) Para SET circular, $\lambda = D/t$, donde D es el diámetro externo y t el espesor de pared. Esta Especificación es aplicable solo para SET circulares con λ menor o igual a $0.448E/F_y$, donde E es el módulo de elasticidad y F_y es el mínimo esfuerzo cedente especificado.
- (b) Para alas de SET rectangular, $\lambda = b/t$, donde b es la distancia entre el alma menos el radio de esquina interior en cada alma y t es el espesor de pared. Si el radio interno no es conocido, el valor permitido de b puede ser tomado como el ancho total del ala B menos tres veces el espesor de pared t .
- (c) Para almas o miembros con SET rectangular, $\lambda = h/t$, donde h es la distancia entre las alas menos el radio de esquina interior en cada ala y t es el espesor de pared. Si el radio interno no es conocido, el valor permitido de h puede ser tomado como la profundidad total del alma menos tres veces el espesor de pared t .

2. Diseño por Análisis Plástico

El diseño por análisis plástico se permite cuando λ es menor o igual a λ_p para análisis plástico en la Tabla 2.2-1.

TABLE 2.2-1 Limiting Wall Slenderness for Compression Elements			
Element	Wall Slenderness Ratio, λ	Limiting Wall Slenderness	
		λ_p (compact)	λ_r (noncompact)
Round HSS for axial compression for flexure for plastic analysis	D/t [a]	n.a. $0.0714E/F_y$ $0.0448E/F_y$	$0.114E/F_y$ $0.309E/F_y$ n.a.
Rectangular HSS wall for uniform compression for plastic analysis	b/t or h/t	$1.12\sqrt{E/F_y}$ $0.939\sqrt{E/F_y}$	$1.40\sqrt{E/F_y}$ n.a.
Rectangular HSS wall as a web in flexural compression	h/t	$3.76\sqrt{E/F_y}$	$5.70\sqrt{E/F_y}$
Rectangular HSS wall as a web in combined flexure and axial compression	h/t	[b]	$5.70\sqrt{E/F_y} \left(1 - \frac{0.74 P_u}{\phi_b P_y}\right)$
[a] D/t must be less than or equal to $0.448E/F_y$ [b] For $P_u/\phi_b P_y \leq 0.125$ $3.76\sqrt{E/F_y} \left(1 - \frac{2.75 P_u}{\phi_b P_y}\right)$ For $P_u/\phi_b P_y > 0.125$ $1.12\sqrt{E/F_y} \left(2.33 - \frac{P_u}{\phi_b P_y}\right) \geq 1.49\sqrt{E/F_y}$			

3. Diseño en Aplicaciones Sísmicas

En aplicaciones sísmicas, λ también debe cumplir con los requerimientos de la AISC *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* (AISC, 1997) y el *Seismic Provisions Supplement No. 2* (AISC, 2000).

2.3. Limitantes de Relaciones de Esbeltez

Para miembros de compresión, la relación de esbeltez KL/r preferiblemente no debe exceder de 200.

Para miembros de tracción, la relación de esbeltez l/r preferiblemente no debe exceder de 300. Miembros que son principalmente los miembros de tracción, pero que están sujetos a alguna compresión bajo otras condiciones de carga no necesitan cumplir con el límite de esbeltez de compresión.

Para miembros de refuerzo en aplicaciones sísmicas, l/r debe cumplir con los requerimientos del AISC *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* (AISC, 1997) y el *Seismic Provisions Supplement No. 2* (AISC, 2000).

3. MIEMBROS DE TRACCIÓN

3.1. Resistencia de Diseño de Tensión de rotura.

La resistencia de diseño de tensión de rotura $\phi_t P_n$ debe ser el menor valor obtenido de acuerdo los estados límites de cedencia en la sección total y la fractura en la sección neta.

(a) Para cedencia sobre el área total

$$\begin{aligned}\phi_t &= 0.9 \\ P_n &= F_y A_g\end{aligned}\tag{3.1-1}$$

(b) Para la ruptura sobre el área neta efectiva

$$\begin{aligned}\phi_t &= 0.75 \\ P_n &= F_u A_e\end{aligned}\tag{3.1-2}$$

Donde:

A_e = Área efectiva neta, (cm²)

A_g = Área total de la SET, (cm²)

F_y = Resistencia cedente mínima especificada, (Kg/cm²)

F_u = Resistencia de tensión de rotura mínima especificada, (Kg/cm²)

P_n = Resistencia nominal axial, (Kg/cm²)

4. COLUMNAS Y OTROS MIEMBROS A COMPRESIÓN

4.1. Longitud Efectiva y Limitaciones de Esbeltez

1. Longitud Efectiva

El factor K de longitud efectiva para miembros de compresión debe ser tomado según lo siguiente o se determina mediante un análisis racional:

- (a) En cerchas que están hechas con miembros secundarios de SET soldados alrededor de todo el perímetro de forma continua al cordón principal de SET, el factor K de longitud efectiva que es usado para modificar la longitud entre los puntos del panel para pandeo en el plano, o entre lugares de arriostamiento lateral para pandeo fuera del plano, no podrá ser inferior que:

$$K = 0.75 \text{ para miembros secundarios}$$

$$K = 0.9 \text{ para miembros principales}$$

- (b) En cerchas que están hechas con miembros secundarios de SET que no cumplen con los requerimientos señalados en la Sección 4.1.1(a) o con miembros de sección no tubular conectados continuamente al cordón principal, el factor K de

longitud efectiva que es usado para modificar la longitud entre los puntos del panel para pandeo en el plano no podrá ser inferior que:

$$K = 1.0 \text{ para miembros secundarios}$$

$$K = 0.9 \text{ para miembros principales}$$

- (c) En armaduras para las cuales la estabilidad lateral es proporcionada por arriostramiento lateral, muros de corte o medios equivalentes, K podrá ser tomado como unidad, a menos que un valor menor pueda justificarse por análisis racional.
- (d) En armaduras para las cuales la estabilidad lateral depende de la rigidez flexional conectados rígidamente a vigas y columnas, K se determinará mediante un análisis racional.

2. Diseño por Análisis Plástico

El diseño por análisis plástico es permitido si el parámetro de esbeltez de la columna λ_c es menor o igual que $1.5K$ y la fuerza axial en las columnas de armaduras no arriostradas debido a las cargas por gravedad factorizadas más las cargas laterales factorizadas hace que ϕ_c no exceda el valor de $0.75F_yA_g$.

4.2. Resistencia de Diseño a Compresión

La resistencia de diseño para el pandeo por flexión de miembros a compresión es $\phi_c P_n$.

$$\begin{aligned}\phi_c &= 0.85 \\ P_n &= F_{cr}A_g\end{aligned}\tag{4.2-1}$$

F_{cr} debe ser determinado según lo siguiente:

- (c) Para $\lambda_c\sqrt{Q} \leq 1.5$,

$$F_{cr} = Q(0.658^{Q\lambda_c^2})F_y\tag{4.2-2}$$

- (d) Para $\lambda_c\sqrt{Q} > 1.5$,

$$F_{cr} = \left[\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y\tag{4.2-3}$$

Donde:

$$\lambda_c = \frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (4.2-4)$$

Q debe ser determinado según lo siguiente:

(c) Para $\lambda \leq \lambda_r$ en la Sección 2.2, $Q = 1$

(d) Para $\lambda > \lambda_r$ en la Sección 2.2,

(iii) Para SET circulares con $\lambda < 0.448 E/F_y$

$$Q = \frac{0.0379E}{F_y(D/t)} + \frac{2}{3} \quad (4.2-5)$$

(iv) Para SET rectangulares,

$$Q = \frac{\text{Área efectiva}}{A_g} \quad (4.2-6)$$

Donde el área efectiva es igual a la sumatoria de las áreas efectivas de los lados utilizando:

$$b_e = 1.91t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0.381}{b/t} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b \quad (4.2-7)$$

Con $f = P_u/A_g$

5. VIGAS Y OTROS MIEMBROS SOMETIDOS A FLEXIÓN

5.1. Diseño de Resistencia a flexión

El diseño de la Resistencia a la flexión $\phi_b M_n$ se determinó de la siguiente forma:

$$\phi_b = 0.90$$

(a) Para SET circulares, para $\lambda \leq \lambda_p$ en la Sección 2.2,

$$M_n = M_p = F_y \quad (5.1-1)$$

(i) Para $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$,

$$M_n = \left(\frac{0.0207}{D/t} \frac{E}{F_y} + 1 \right) F_y S \quad (5.1-2)$$

(ii) Para $\lambda_r < \lambda \leq 0.448 E/F_y$,

$$M_n = \left(\frac{0.330E}{D/t} \right) S \quad (5.1-3)$$

(b) Para SET rectangulares, para $\lambda \leq \lambda_p$ en la Sección 2.2,

$$M_n = M_p = F_y Z \quad (5.1-4)$$

(i) Para $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$,

$$M_n = \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \quad (5.1-5)$$

Donde

$$M_r = F_y S$$

(ii) Para $\lambda > \lambda_r$,

$$M_n = F_y S_{eff} \quad (5.1-6)$$

Donde S_{eff} es el modulo de sección efectiva con el ancho efectivo de la compresión flange tomado como

$$b_e = 1.91t \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{0.381}{(b/t)} \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right] \leq b \quad (5.1-7)$$

L_b no está limitado a las estructuras de SET diseñado por análisis elástico.

5.2. Diseño de Resistencia al Corte

El diseño de Resistencia al Corte de SET no rígidas $\phi_v V_n$ deberá ser determinado de la siguiente manera:

$$\phi_v = 0.9$$

(a) Para SET circulares,

$$V_n = F_{cr} A_g / 2 \quad (5.2-1)$$

Donde F_{cr} será el mayor valor entre

$$\frac{1.60E}{\sqrt{a/D}(D/t)^{5/4}} \text{ y } \frac{0.78E}{(D/t)^{3/2}} \quad (5.2-2)$$

Pero no deberá exceder $0.6F_y$ y a es la distancia desde el máximo hasta el esfuerzo cortante cero.

(b) Para SET Rectangulares

$$V_n = F_n A_w \quad (5.2-3)$$

Donde

$$A_w = 2H_t \quad (5.2-4)$$

F_n Deberá ser determinado de la siguiente manera:

$$(i) \text{ Para } h/t \leq 2.45\sqrt{F/F_y}, \quad F_n = 0.6F_y \quad (5.2-5)$$

$$(ii) \text{ Para } 2.45\sqrt{E/F_y} < h/t \leq 3.07\sqrt{E/F_y}, \quad 0.6F_y(2.45\sqrt{E/F_y})(h/t) \quad (5.2-6)$$

$$(iii) \text{ Para } 3.07\sqrt{E/F_y} < h/t \leq 260, \quad F_n = 0.458\pi^2 E/(h/t)^2 \quad (5.2-7)$$

5.3. Diseño por Análisis Plástico

El diseño por análisis plástico está permitido para SET circulares con $\lambda \leq 0.0448 E/F_y$ y para SET rectangulares con $\lambda \leq \lambda_p$ en la Sección 2.2.

Para SET rectangulares inclinadas sobre el eje mayor, la longitud lateral L_b del ala en compresión, adyacente a las bisagras o articulaciones de plástico que se asocian con el mecanismo de falla no excederá de L_{pd} , donde:

$$L_{pd} = \frac{5000+3000(M_1/M_2)}{F_y} r_y \geq 3000r_y/F_y \quad (5.3-1)$$

Donde:

F_y = Mínimo especificado de límite de elasticidad, (Kg/cm²)

M_1 = Menor momento al final de la Longitud sin soporte.(Kg-m)

M_2 = Mayor momento al final de la Longitud sin soporte. (Kg-m)

r_y = Radio de giro sobre el eje menor, (cm).

M_1/M_2 es positivo cuando existe curvatura inversa y negativo para curvatura simple

5.4. Diseño en Aplicaciones Sísmicas.

Para Aplicaciones Sísmicas, se refieren a AISC Disposiciones Sísmicas para Edificios de Acero Estructural.

6. MIEMBROS DE TORSIÓN

6.1. Diseño de Resistencia a la Torsión

El diseño de Resistencia a la Torsión $\phi_T T_n$ se determinará de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}\phi_T &= 0.90 \\ T_n &= F_{cr} C\end{aligned}\tag{6.1-1}$$

Donde C es la constante de torsión de la SET.

F_y se determinará de la siguiente manera:

(a) Para SET circulares, F_{cr} será el mayor valor de

$$\frac{1.23E}{\sqrt{L/D}(D/t)^4} \text{ y } \frac{0.6E}{(D/t)^2}\tag{6.1-2}$$

Pero no deberá ser superior a $0.6F_y$

(b) Para SET rectangulares,

(i) Para $h/t \leq 2.45\sqrt{E/F_y}$,

$$F_n = 0.6\tag{6.1-3}$$

(ii) Para $2.45\sqrt{E/F_y} < h/t \leq 3.07\sqrt{E/F_y}$,

$$F_{cr} = 0.6F_y(2.45\sqrt{E/F_y})(h/t)\tag{6.1-4}$$

(iii) Para $3.07\sqrt{E/F_y} < h/t \leq 260$,

$$F_{cr} = 0.458\pi^2 E/(h/t)^2\tag{6.1-5}$$

7. MIEMBROS SOMETIDOS A FUERZAS COMBINADAS

7.1. Diseño para Flexión y Fuerza Axial combinadas

La interacción de la flexión y fuerza axial estará limitada por las ecuaciones 7.1 y 7.1-2.

(a) Para $P_u/\phi P_n \geq 0.2$,

$$\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1.0 \quad (7.1-1)$$

(b) Para $P_u/\phi P_n < 0.2$,

$$\frac{P_u}{2\phi P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1.0 \quad (7.1-2)$$

Donde

P_u = Resistencia a la Tracción o de compresión requerida, kips (N)

P_n = Resistencia nominal a la Tracción o de Compresión de acuerdo con la Sección 3.1 o 4.2, kips (N)

M_u = Resistencia a la flexión requerida determinada de acuerdo con la Especificación LRFD, Sección C1, kip-in (N-mm)

M_n = Resistencia nominal a la flexión requerida determinada de acuerdo con la Especificación LRFD, Sección 5.1, kip-in (N-mm)

x = Subíndice relativo, simboliza el eje de flexión resistente

y = Subíndice relativo, simboliza el eje de flexión poco resistente

ϕ = ϕ_t Para tracción ir a Sección 3.1; para compresión 0.85.

ϕ_b = 0.90

Para flexión biaxial de SET circulares que no tienen soporte lateral a lo largo de su longitud y con las condiciones tales que el factor de longitud efectiva k es el mismo para cualquier dirección de la flexión, el diseño permite basarse en un único momento resultante M_{ur} , donde:

$$M_{ur} = \sqrt{M_{ux}^2 + M_{uy}^2} \quad (7.1-3)$$

Como alternativa, el uso de lo dispuesto en la Especificación LRFD Apéndice H3 (b) está permitido

7.2. Diseño para Torsión, Cortante, Flexión y/o Fuerza Axial Combinadas.

Cuando la resistencia a la torsión requerida es significativa, la interacción de la torsión, cortante, flexión y/o fuerza axial será limitada por la ecuación 7.2-1:

$$\left(\frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{M_u}{\phi_b M_n}\right) + \left(\frac{V_u}{\phi_b V_n} + \frac{T_u}{\phi_T T_n}\right)^2 \leq 1.0 \quad (7.2-1)$$

Donde

P_u = Resistencia a la Tracción o de compresión requerida, kips (N)

P_n = Resistencia nominal a la Tracción o de Compresión de acuerdo con la Sección 3.1 o 4.2, kips (N)

M_u = Resistencia a la flexión requerida determinada de acuerdo con la Especificación LRFD, Sección C1, kip-in (N-mm)

M_n = El menor valor entre $F_y S$ y M_n determinada de acuerdo con la Especificación LRFD, Sección 5.1, kip-in (N-mm)

S = Módulo de Sección elástico

V_u = Resistencia cortante requerida en la sección correspondiente a M_u , kips (N)

V_n = Resistencia cortante nominal determinada de acuerdo con la Sección 5.2, kips (N).

T_u = Resistencia a la torsión requerida, kip-in. (N-mm).

T_n = Resistencia a la torsión nominal determinada de acuerdo con la Sección 6, kip-in. (N-mm).

$\phi = \phi_t$ Para tracción ir a Sección 3.1; para compresión 0.85.

$\phi_b = \phi_v = \phi_T = 0.90$

8. FUERZAS CONCENTRADAS EN SET

La resistencia de diseño ϕR_n en los lugares de fuerzas concentradas de SET no rígidas, se determinó a partir de los criterios aplicables en las secciones 8.1 a 8.3.

8.1. Fuerza concentrada Distribuida Transversalmente

Cuando una fuerza concentrada es distribuida transversalmente al eje de la SET, la resistencia de diseño ϕR_n se determinará de la siguiente manera:

(a) Para SET circulares,

$$\phi = 1.0$$

$$R_n = \frac{5F_y t^2}{1 - 0.81b_1/D} Q_f \quad (8.1-1)$$

Donde

b_1 = El ancho de carga, in. (mm).

$Q_f = 1$ para Tracción en las SET y $1 - 0.3 f/F_y - 0.3(f/F_y)^2 \leq 1$ para Compresión en las SET.

f = La magnitud de la máxima tensión a compresión en la SET debido a la fuerza axial y de flexión en el lugar de la fuerza concentrada

(b) Para SET rectangulares,

$$\phi = 1.0$$

$$R_n = \frac{10F_y t^2}{E/t} b_1 \leq F_{y1} t_1 b_1 \quad (8.1-2)$$

Donde

b_1 = El ancho de la placa de carga, (cm).

t_1 = El espesor de la placa de carga, (cm).

F_{y1} = Limite elástico mínimo especificado de la placa de carga, ksi (Mpa)

- (i) Cuando la fuerza es distribuida a través de todo el ancho de la SET rectangular, el estado límite de cedencia local se verificará tanto a tracción como a compresión y el estado límite del miembro por desgarramiento se verificará a compresión

Para cedencia local del Alma

$$\phi = 1.0$$

$$R_n = 2F_y t(5k + N) \quad (8.1-3)$$

Para desgarramiento del Alma

$$\phi = 0.75$$

$$R_n = 1.6t^2 \left[1 + \frac{3N}{h} \right] \sqrt{EF_y} \quad (8.1-4)$$

Donde

k = Radio de la esquina exterior de la SET, si este no es conocido se permite tomar el valor de $1.5t$, (cm).

N = Longitud de soporte de la carga a lo largo de la SET, (cm).

h = Ancho plano de las paredes laterales de la SET como se define en la Sección 2.2.1, (cm).

- (ii) Cuando la fuerza es distribuida a través de un ancho de la SET rectangular que es mayor que 0.85 pero menor que $B - 2t$, la resistencia de diseño no podrá ser superior a ϕR_n , cuando

$$\phi = 1.0$$

$$R_n = 0.6F_y t(2t_1 + 2b_{ep}) \quad (8.1-6)$$

Donde $b_{ep} = 10b_1/(B/t) \leq b_1$

- (iii) Cuando las fuerzan de compresión coinciden en caras opuestas de las SET rectangulares, el estado límite de pandeo de la compresión de los miembros se comprobará y la resistencia de diseño no podrá ser superior a ϕR_n , donde

$$\phi = 0.90$$

$$R_n = \frac{48t^3 \sqrt{EF_y}}{h} \quad (8.1-6)$$

8.2. Fuerza Concentrada Distribuida Longitudinalmente en el centro de cara de la SET

Cuando una fuerza concentrada es distribuida longitudinalmente a lo largo del eje de la SET en el centro de cara de la misma, la resistencia de diseño ϕR_n , se determinará de la siguiente manera:

Para SET circulares,

$$\phi = 1.0$$

$$R_n = 5F_y t^2 (1 + 0.25N/D) Q_f \quad (8.2-1)$$

Para SET rectangulares,

$$\phi = 1.0$$

$$R_n = \frac{F_y t^2}{1-t_1/B} \left[\frac{2N}{B} + 4\sqrt{1-t_1/B} \right] Q_f \quad (8.2-2)$$

Donde t_1 es el espesor de la placa de carga.

8.3. Fuerza Axial Concentrada en el Extremo de una SET Rectangular sellada

Cuando una fuerza concentrada actúa en el extremo de una SET sellada y a lo largo del eje de la SET, la resistencia de diseño se determinará para cada pared cargada como sigue. El estado límite de cedencia local en las paredes deberá ser verificado tanto por fuerzas de tracción como compresión y el estado límite de aplastamiento de las paredes deberá ser verificado para fuerzas a compresión.

Para cedencia local de las paredes,

$$\phi = 1.0$$

$$R_n = (5t_1 + N)F_y t \leq BF_y t \quad (8.3-1)$$

Por aplastamiento de las paredes,

$$\phi = 0.75$$

$$R_n = 0.80t^2 \left[1 + 3 \left(\frac{N}{B/2} \right) \left(\frac{t}{t_1} \right)^{1.5} \right] \sqrt{E F_y (t_1/t)} \quad (8.3-2)$$

Donde

t_1 = Espesor de cap plate.

N = Longitud de soporte de las cargas a través del ancho de la SET, (cm).

9. CONEXIONES Y CONECTORES

9.1. Provisiones Generales para Conexiones y Conectores.

Las provisiones de las Especificaciones LRFD, Sección J1.1 hasta la Sección J1.11 y las provisiones para pernos y partes roscadas en las Especificaciones LRFD, en su sección J3.1 hasta la Sección J3.11 aplicarán con las adiciones y modificaciones siguientes:

1. A través de Pernos

Cuando las conexiones son hechas usando pernos que pasan completamente a través de una SET no rigidizada, los pernos serán instalados sólo en la condición de apriete ajustado y las conexiones se considerarán para ser conexiones del tipo por aplastamiento. La resistencia de aplastamiento para las paredes cargadas es ϕR_n , donde:

$$\phi = 0.75$$

$$R_n = 1.8F_y dt \quad (9.1-1)$$

Donde:

F_y = Resistencia mínima específica en el punto cedente de las SET, (kg/cm²).

d = Diámetro del perno, (cm)

t = Espesor de las paredes de la SET, (cm)

2. Conectores especiales

La resistencia de diseño para conectores especiales, diferentes a los pernos considerados en las Especificaciones LRFD, Tabla J3.2, se verifica mediante ensayos.

3. Conectores a Tracción

Cuando pernos y otros conectores a tracción son fijados a las paredes de las SET, la resistencia de las paredes será determinada por un análisis racional.

9.2. Soldaduras

La no uniformidad de la transferencia de cargas a lo largo de una línea de soldadura, debido a las diferencias de la flexibilidad relativa de las paredes de las SET, en conexiones entre SET y conexiones similares, será considerada al proporcionar tales conexiones. En tales casos, la resistencia de la soldadura de filete se determinará en las Especificaciones LRFD Sección J2.4, excluyendo la alternativa del Apéndice J2.4 y la longitud efectiva de la soldadura L_e de las soldaduras de filete y ranura será limitada de la siguiente manera:

En conexiones T, Y y conexiones en cruz con SET rectangulares como se define en la Sección 9.4

$$L_e = 2H_b + B_b \quad \text{para } \theta \leq 50 \text{ grados} \quad (9.2-1)$$

$$L_e = 2H_b \quad \text{para } \theta \geq 60 \text{ grados} \quad (9.2-2)$$

La interpolación lineal será usada al determinar L_e para valores de θ entre 50 y 60 grados.

En las brechas entre conexiones Tipo K con SET rectangulares como se definen en la Sección 9.4

$$L_e = 2H_b + 2B_b \quad \text{para } \theta \leq 50 \text{ grados} \quad (9.2-3)$$

$$L_e = 2H_b + B_b \quad \text{para } \theta \geq 60 \text{ grados} \quad (9.2-4)$$

La interpolación lineal será usada al determinar L_e para valores de θ entre 50 y 60 grados.

Cuando una lámina transversal es soldada a la cara de un miembro de la SET.

$$L_e = 2 \frac{10F_y t}{(B/t)F_{y1}t_1} b_1 \leq 2b_1 \quad (9.2-5)$$

Donde:

H_b = Ancho de la pared del miembro secundario que es paralelo al eje del cordón, (cm).

B_b = Ancho de la pared del miembro secundario que es transversal al eje del cordón, (cm).

ϕ = Ángulo menor entre el miembro secundario y el cordón.

B = Ancho de la pared del cordón al cual la lámina es fijada, (cm).

b_1 = Ancho de la lámina fijada, (cm).

t = Espesor de la pared del cordón, (cm).

t_1 = Espesor de la lámina fijada, (cm).

F_y = Resistencia cedente del acero de la SET, (Kg/cm²).

F_{y1} = Resistencia cedente de la lámina, (Kg/cm²).

En lugar de lo anterior, se permiten otros criterios racionales.

9.3. Otros Requerimientos para conectores.

Las provisiones de las Especificaciones LRFD, de la Sección J4. Hasta la J10., aplicarán con las siguientes adiciones y modificaciones.

1. Resistencia 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 de la SET será tomada como ϕR_n donde

$$\phi = 0.75$$

$$R_n = 0.6F_u t L \quad (9.3-1)$$

Donde

t = Espesor de las paredes de la SET, (cm).

L = Longitud de la soldadura, (cm).

2. Resistencia a la Ruptura por Tracción.

La resistencia de diseño a la ruptura por corte a lo largo de una trayectoria adyacente a una soldadura de filete en las paredes de la SET se tomará como ϕR_n donde

$$\phi = 0.75$$

$$R_n = F_u t L \quad (9.3-2)$$

Donde

t = Espesor de las paredes de la SET, (cm).

L = Longitud de la soldadura, (cm).

3. Resistencia a la Ruptura por Punzonamiento de Corte.

Cuando una lámina que es paralela al eje longitudinal de una SET y se proyecta desde la pared, esté sometida a una carga que es paralela pero excéntrica o tiene un componente perpendicular a las paredes de las SET,

$$\phi_t f t_p \leq 1.2 \phi_v F_u t \quad (9.3-3)$$

Donde

$$\phi_v = 0.75$$

$$\phi_t = 0.90$$

f = Máximo esfuerzo en la lámina perpendicular a la pared de la SET, (Kg/cm²).

t_p = Espesor de la lámina, (cm).

F_u = Esfuerzo mínimo a tracción especificada de las SET, (Kg/cm²).

t = Espesor de las paredes de las SET, (cm).

4. Conexiones Excéntricas.

Para armaduras que están hechas con SET, que están conectadas por miembros secundarios soldados a los cordones, las excentricidades dentro de los límites de aplicabilidad de la Sección 9.4 se permitirán sin considerar los momentos resultantes para el diseño de las conexiones, excepto en las aplicaciones con fatiga. Para las aplicaciones con fatiga, referirse a la AWS D 1.1.

9.4. Conexiones entre SET en Armaduras.

Las conexiones entre SET en armaduras están definidas como conexiones que consisten de uno a más miembros secundarios que están directamente soldados a un cordón continuo que pasa a través de las conexiones y serán clasificadas como sigue:

Cuando las cargas tipo punzonado en un miembro secundario es equilibrada por corte tipo vigas en el cordón, las conexiones serán clasificadas como conexiones T, cuando el miembro secundario es perpendicular al cordón y como una conexión Y cuando sea lo contrario.

Cuando las cargas tipo punzonado en un miembro secundario están esencialmente equilibradas por cargas en otros miembros secundarios en el mismo lado de la junta, la conexión deberá ser clasificada como una conexión K.

Cuando las cargas tipo punzonado son transmitidas a través del cordón y es equilibrada por miembros secundarios en el lado opuesto, la conexión será clasificada como una conexión en cruz.

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

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 las provisiones de AWS D 1.1, otros procedimientos de diseño, ensayo, o análisis racionales

1. Definición de parámetros.

β = Es la relación de anchos; la relación del diámetro de miembros secundarios al diámetro del cordón = D_b/B para SET circulares, y la relación del ancho total del miembro secundario al ancho del cordón = B_b/B para SET rectangulares.

B_{eff} = 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 = $D/2t$ para SET circulares; la relación de una mitad del ancho al espesor de la pared = $B/2t$ para SET rectangulares.

η = Parámetro de la longitud de la carga, aplicable solamente para SET 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 , donde $N = H_b/sen\theta$ y θ es el ángulo entre el miembro secundario y el cordón.

ζ = Relación de abertura, la relación de la abertura entre los miembros secundarios de una conexión K al ancho del cordón = g/D para SET circulares, = g/B para SET rectangulares.

2. Criterio para SET Circulares.

Las resistencias de diseño del miembro secundario ϕP_n y ϕM_n para cargas axiales y flexión en el miembro secundario respectivamente, serán determinadas a partir de los estados límites de la plastificación de las paredes del cordón, de la ruptura por corte por punzonado y el colapso general, lo que sea aplicable.

Se considerará la interacción entre los esfuerzos debidos a las fuerzas en los cordones y las fuerzas locales en las conexiones de los miembros secundarios. El parámetro de interacción entre esfuerzos en los cordones Q_f será determinado como:

$$Q = 1.0 - \lambda\gamma U^2 \quad (9.4-1)$$

Donde U es la relación de utilización dada por:

$$U^2 = \left(\frac{P_u}{A_g f_y}\right)^2 + \left(\frac{M_u}{S f_y}\right)^2 \quad (9.4-2)$$

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

= 0.044 para flexión en el plano del miembro secundario.

= 0.018 para flexión del plano del miembro secundario.

P_u = Resistencia requerida a carga axial en el cordón, (Kg).

A_g = Área total del cordón, (cm²).

f_y = Resistencia cedente del cordón, (Kg/cm²).

M_u = La mayor resistencia a flexión requerida en el cordón y en la conexión, (Kg-
mts).

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

2a. Límites de Aplicabilidad

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

- 7) Excentricidad de la junta: $-0.55D \leq e \leq 0.35D$, donde D es el diámetro del cordón y e es el desplazamiento positivo de los miembros secundarios.
- 8) Ángulo del miembro secundario: $\theta \geq 30^\circ$.
- 9) Rigidez de la pared: relación del diámetro al espesor de la pared menor o igual a 50 para cordones o igual a 40 para cordones en conexiones en cruz.
- 10) Relación de ancho: $0.2 < D_b/D \leq 1.0$
- 11) Abertura: g mayor o igual que la suma de los espesores de las paredes de los miembros secundarios.

2b. Miembros Secundarios con Cargas Axiales

Para conexiones T, Y y K, la resistencia de diseño del miembro secundario ϕP_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. Para conexiones en cruz 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 general

Para el estado límite de plastificación de las paredes del cordón

$$\phi = 0.80$$

$$P_n \text{ sen } \theta = t^2 F_y [6\pi\beta Q_q] Q_f \quad (9.4-3)$$

Donde:

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

(ii) Para $\beta \leq 0.6$, $Q_\beta = 1.0$

- (iii) Para $\beta > 0.6$, $Q_\beta = \frac{0.3}{\beta(1-0.833\beta)}$
 $\alpha =$ parámetro de ovalización del cordón
 $= 1.7$ para conexiones T y Y
 $= 1.0 + 0.7 g/D_b$, $1 \leq \alpha < 1.7$ para conexiones K
 $= 2.4$ para conexiones en cruz o transversales

Para el estado límite de ruptura al corte por punzonado,

$$\phi = 0.95$$

$$P_n \text{ sen } \theta = \pi D_b t (0.6 F_y) \quad (9.4-4)$$

Para el estado límite de colapso general

$$\phi = 0.80$$

$$P_n \text{ sen } \theta = 1.8 t^2 F_y (1.9 + 7.2 \beta) Q_\beta Q_f \quad (9.4-5)$$

2c. Miembros Secundarios con Flexión

Para conexiones T, Y, K abiertas y conexiones en cruz, 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.

(a) Para el estado límite de plastificación de las paredes del cordón,

$$\phi = 0.80$$

$$M_n \text{ sen } \theta = t^2 F_y [D_b/4] [6\pi\beta Q_\beta] Q_f \quad (9.4-6)$$

Donde:

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

(i) Para $\beta \leq 0.6$, $Q_\beta = 1.0$

(ii) Para $\beta > 0.6$, $Q_\beta = \frac{0.3}{\beta(1-0.833\beta)}$

$\alpha =$ parámetro de ovalización del cordón
 $= 0.67$ para pandeo en el plano
 $= 1.5$ para pandeo fuera del plano

Para combinaciones con pandeo dentro y fuera del plano, α será determinado por interpolación y Q_f se determinará interpolando los valores de λ .

(b) Para el estado límite de ruptura al corte por punzonado,

$$\phi = 0.95$$

$$M_n \text{sen} \theta = D_b^2 t (0.6 F_y) \quad (9.4-7)$$

2d. Miembros Secundarios con Cargas Axiales y Flexión combinadas

La interacción de cargas axiales y flexión combinada en conexiones entre SET de armaduras, deben cumplir el siguiente requerimiento:

$$\left(\frac{P_u}{\phi P_n} \right)^{1.75} + \frac{M_u}{\phi M_n} \leq 1.0 \quad (9.4-8)$$

Donde:

P_u = resistencia axial requerida del miembro secundario, (Kg)

M_u = resistencia a flexión requerida del miembro secundario, (Kg-m)

3. Criterio para SET Rectangular

La resistencia axial de diseño del miembro secundario ϕP_n y la resistencia flexional 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, la ruptura al corte por punzonado, resistencia de las paredes laterales y la distribución desigual de cargas como se aplica a continuación.

La interacción de esfuerzos debido a las fuerzas del cordón principal y fuerzas locales en la conexión de los miembros secundarios, será considerada a través del parámetro Q_f , donde:

$$\begin{aligned} Q_f &= 1 \text{ cuando el cordón principal está en tensión} \\ &= 1.3 - 0.4U/\beta \leq 1 \quad (9.4-9a) \\ &\text{en conexiones T, Y y conexiones en cruz cuando el cordón principal} \\ &\text{está en compresión.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 1.3 - 0.4U/\beta_{eff} \leq 1 \quad (9.4-9b) \\ &\text{en conexiones K cuando el cordón principal está en compresión} \end{aligned}$$

Donde:

$$U = \left| \frac{P_u}{A_g F_y} \right| + \left| \frac{M_u}{S F_y} \right| \quad (9.4-10)$$

Donde:

P_u = resistencia axial requerida del cordón, (Kg)

M_u = resistencia flexional requerida del cordón, (Kg-m)

3a. 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: $-0.55H \leq e \leq 0.25H$, donde H es la profundidad del cordón 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 pared a su espesor menor o igual a 35 para cordones y miembros secundarios, también menor o igual a $1.25\sqrt{E/F_{yb}}$ 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 ≤ 2.0
- (6) Ductilidad $F_y/F_u \leq 0.8$
- (7) Otros límites aplican para criterios específicos

3b. Miembros Secundarios con Cargas Axiales en Conexiones T, Y y en Cruz

Para conexiones T, Y y en cruz, 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, resistencia de la pared y la desigual distribución de carga. En adición a los límites de aplicabilidad en la Sección 9.4.3a, β no debe ser menor que 0.25.

(a) Para el estado límite de plastificación de la pared del cordón,

$$\phi = 1.0$$

$$P_n \text{ sen } \theta = F_y t^2 \left[\frac{2\eta}{1-\beta} + \frac{4}{\sqrt{(1-\beta)}} \right] Q_f \quad (9.4-11)$$

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

(b) Para el estado límite de ruptura al corte por punzonado,

$$\phi = 0.95$$

$$P_n \text{ sen } \theta = 0.6F_y t B (2\eta + 2\beta_{eop}) \quad (9.4-12)$$

En la ecuación anterior, el parámetro efectivo por punzonado exterior $\beta_{eop} = 5\beta/\gamma$ no deberá exceder del valor de β .

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

- (c) 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 requiere verificación a menos que los cordones y el miembro secundario tengan el mismo ancho ($\beta = 1.0$).

- (i) Para el estado límite de cedencia local,

$$\begin{aligned} \phi &= 1.0 \text{ para una bifurcación a tracción} \\ &= 0.8 \text{ para una bifurcación a compresión} \end{aligned}$$

$$P_n \text{ sen } \theta = 2tF_y(5k + N) \quad (9.4-13)$$

Donde:

k = radio externo de la esquina de la SET, el cual será tomado como $1.5t$ si no es conocido, (cm)
 N = longitud de soporte de la carga a lo largo de la de la SET, $H_b/\text{sen}\theta$, (cm)
 H_b = altura del miembro secundario o bifurcación, (cm)

- (ii) Para el estado límite de aplastamiento de las paredes laterales, en conexiones T y Y,

$$\phi = 0.75$$

$$P_n \text{ sen } \theta = 1.6t^2[1 + 3N/H]\sqrt{EF_y}Q_f \quad (9.4-14)$$

- (iii) Para el estado límite de aplastamiento de las paredes laterales en las conexiones en cruz,

$$\phi = 0.80$$

$$P_n \text{ sen } \theta = \left[\frac{48t^3}{H-4t} \right] \sqrt{EF_y} Q_f \quad (9.4-15)$$

(d) Para el estado límite de distribución desigual de carga,

$$\phi = 0.95$$

$$P_n = F_{yb} t_b [2H_b + 2b_{eoi} - 4t_b] \quad (9.4-16)$$

Donde:

$$b_{eoi} = \frac{10}{B/t} \frac{F_y t}{F_{yb} t_b} B_b \leq B_b \quad (9.4-17)$$

F_{yb} = resistencia cedente del miembro secundario, (Kg/cm²)

t_b = espesor del miembro secundario, (cm)

Este estado límite no requiere ser verificado cuando $\beta < 0.85$.

3c. Miembros Secundarios con Cargas Axiales en Conexiones K

Para conexiones tipo K, la resistencia de diseño para cada miembro secundario ϕP_n será el menor valor obtenido de acuerdo a los estados límites de plastificación de la pared del cordón, ruptura al corte por punzonado, cedencia al corte y distribución desigual de carga. En adición a los estados límites de aplicabilidad en la Sección 9.4.3a, los siguientes límites podrán ser aplicados:

- 5) $B_b/B \geq 0.1 + \gamma/50$
- 6) $\beta_{eff} \geq 0.35$
- 7) $\xi \geq 0.5(1 - \beta_{eff})$
- 8) El menor $B_b > 0.63$ veces el mayor B_b

(a) Para el estado límite de plastificación de la pared del cordón,

$$\phi = 0.90$$

$$P_n \text{ sen } \theta = F_y t^2 [9.8 \beta_{eff} \sqrt{\gamma}] Q_f \quad (9.4-18)$$

(b) Para el estado límite de ruptura al corte por punzonado,

$$\phi = 0.95$$

$$P_n \text{ sen } \theta = (0.6 F_y) t B [2\eta + \beta + \beta_{eop}] \quad (9.4-19)$$

Este límite sólo requiere ser verificado si $B_b < B - 2t$ o si el miembro secundario no es de sección cuadrada.

- (c) Para el estado límite de cedencia al corte del cordón en la abertura. La resistencia de diseño será verificada de acuerdo a la Sección 5.2.
- (d) Para el estado límite de distribución desigual de carga,

$$\phi = 0.95$$

$$P_n = F_{yb} t_b [2H_b + B_b + b_{eoi} - 4t_b] \quad (9.4-20)$$

Donde:

$$b_{eoi} = \frac{10}{B/t} \frac{F_y t}{F_{yb} t_b} B_b \leq B_b \quad (9.4-21)$$

Este límite sólo requiere ser verificado si el miembro secundario no es de sección cuadrada.

3d. Miembros Secundarios a Flexión

Los momentos primarios a flexión M_u , debido a cargas aplicadas, vigas en voladizo, desplazamiento lateral de pórticos no arriostrados y otras fuentes serán considerados en el diseño como una carga axial adicional de tracción o compresión.

$$P_{ua} = \frac{M_u}{c \text{sen} \theta} \quad (9.4-22)$$

Donde:

$$\begin{aligned} c &= N/4 \text{ para flexión en el plano} \\ &= B_b/4 \text{ para flexión fuera del plano} \end{aligned}$$

10. REQUERIMIENTOS GENERALES PARA LA FABRICACIÓN DE LAS SET

Los siguientes requerimientos se cumplirán en adición a los requerimientos de las Especificaciones LRFD en el Capítulo M.

- (1) Cuando el agua puede colarse dentro de una SET, bien sea durante la construcción o durante el servicio, la SET deberá sellarse, proporcionando un orificio de drenaje en la base, o protegidas por otros medios adecuado.
- (2) Las SET serán limpiadas con un solvente adecuado si la pintura está detallada en las Especificaciones LRFD, en la Sección M3.1
- (3) Las SET serán limpiadas con un solvente adecuado en la localización de las soldaduras

COMENTARIOS

1. PROVISIONES GENERALES

1.1. Alcance

Para propósitos de estas especificaciones, las SET son definidas como secciones estructurales tubulares de acero con un espesor de pared constante y sección circular, cuadrada, rectangular o en cruz también constante a lo largo de la longitud miembro, las SET son manufacturadas por encofrados de planchas para tubos (banda o placa) a la forma deseada y uniones de bordes con una soldadura continua. Aunque el termino tubería está comúnmente asociado a miembros circulares que son usados para transportar fluidos, solo productos de tuberías de acero que son usados para propósitos estructurales son incluidos en las definiciones de SET. La información publicada está disponible describiendo los detalles de los diferentes métodos utilizados para la fabricación de SET (STI, 1996; Graham, 1965).

Debido que los requerimientos de diseño para garantizar los sistemas de presión de confinamiento son más estrictos que los de los miembros estructurales, esta Especificación no aplica a miembros cuya presión de confinamiento sea esencial. Algunas otras aplicaciones potenciales también están excluidos del alcance de esta Especificación: (1) Formas cilíndricas enterradas en las cuales la interacción del suelo es un factor importante en la resistencia requerida; (2) SET rígidas; (3) SET compuestas; (4) SET en aplicaciones de fatiga. Sin embargo, la intención no es que las conexiones entre SET, que también rigidizan las secciones en cruz, sean excluidas del alcance de esta Especificación.

Los productos fabricados que no son de SET, tales como tuberías y conchas o paredes rígidas, están excluidos del alcance de esta Especificación. Éstos son definidos como miembros que son establecidos para la formación de placas y unidos con una o más soldaduras longitudinales, realizadas fuera de talleres ni en acuerdo con una especificación de producto. Sin embargo, sin duda es posible fabricar tuberías largas y paredes de la misma calidad que las obtenidas comúnmente con SET, ésta no es universalmente garantizada por las especificaciones estándares del producto. Debido que la resistencia al pandeo de secciones cilíndricas es muy influenciada por las imperfecciones geométricas, hay una buena justificación para excluir a tales productos del ámbito de aplicación de las presentes Especificaciones. En consecuencia, se deja a Ingeniero Estructural del Registro para determinar la idoneidad de tales productos para su uso con estas Especificaciones.

Las SET son miembros estructurales eficientes para la resistencia a compresión y fuerzas de torsión. En consecuencia, son seleccionados cada vez más en aplicaciones estructurales, tal como columnas y los miembros en cerchas planas o estructuras espaciales. Las SET generalmente tienen una relación más baja de la superficie expuesta al volumen en comparación con otras formas, que resulta

reducción de la pintura, protección contra el fuego, y el mantenimiento de gastos. Adicionalmente, su baja resistencia al flujo de fluido externo proporciona una ventaja distinguible para armaduras que están expuestas al viento o a la corriente del agua. El uso de las SET se ha limitado en el pasado por la dificultad en las conexiones, pero la tecnología de fabricación moderna ha superado esta desventaja.

Esta especificación combina las directrices de diseño de varias fuentes. La base principal de las recomendaciones es la filosofía de diseño y criterios contenidos en la Especificación LRFD. Debido a que gran parte de la especificación LRFD refleja el comportamiento de los miembros de ala ancha, se han introducido modificaciones donde las SET demuestran que se comportan de manera diferente o cuando la interpretación de criterios LRFD a las aplicaciones de SET se puede aclarar o simplificar. Tales modificaciones son explicadas en el Comentario. Los criterios también han sido modificados para estar presente en una forma adimensional.

En áreas donde la especificación LRFD contiene poca orientación directa para el diseño de edificios con SET, tal como conexiones, la investigación básica, y criterios de otras fuentes han sido utilizados. Muchas de las investigaciones básicas son tomadas desde los programas del CIDECT (*Comite International pour le Developpement et l'Etude de la Construction Tabulaire*), los cuales han patrocinado numerosos proyectos en Europa y Canadá relativo a la construcción con SET. Éstos se han incorporado en esta Especificación con modificaciones para proporcionar ventajas de diseño que son comparables con las Especificaciones LRFD. En consecuencia, las presentes Especificaciones se destinan para el diseño de miembros estructurales en la construcción en estructuras de edificios que normalmente se encuentran en la práctica de la ingeniería estructural y en la experiencia. Cuando la incertidumbre general en la carga o la calidad del control es sustancialmente diferente, esta Especificación no aplica.

Cuando SET son usadas en el sistema de fuerza sísmica en edificaciones ubicadas en regiones con alto índice sísmico, los requerimientos de la AISC *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* (AISC, 1997) y el Suplemento No. 2 de la AISC *Seismic Provisions* (AISC, 2000) son aplicables.

1.2. Material

ASTM A53 Grado B se incluye como una especificación de material aprobado por las SET, ya que es el producto con mayor disponibilidad en los Estados Unidos. Otros productos para SET en América de Norte tienen propiedades y características similares a los productos aprobados por la ASTM que son producidos en Canadá bajo el CAN/CSA-G40.21-M, "Structural Quality Steels". Además, los tubos de acero se producen a otras Especificaciones que satisfacen la resistencia, ductilidad, soldabilidad y los requerimientos de los materiales señalados en la Sección 1.2, pero pueden tener requisitos adicionales para entallar la tenacidad o ensayos de presión. La cedencia mínima especificada y la resistencia a la tracción se resumen en la Tabla C1.2-1 para diferentes especificaciones de los materiales y grados de SET.

Las SET circulares pueden obtenerse fácilmente en la mayoría de las especificaciones de materiales y calidades en la Tabla C1.2-1, aunque el material atmosférico-corrosión resistente (ASTM A618 y A847) puede requerir un orden especial. Para SET rectangulares, ASTM A500 Grado B es el material comúnmente más disponible, y un orden especial sería requerido para cualquier otro material. Dependiendo de su tamaño, SET circulares pueden ser obtenidas soldadas o sin costura. En Norte América, sin embargo, todas las SET rectangulares ASTM A500, para propósitos estructurales son soldadas. Las SET rectangulares difieren con secciones tipo caja en que ellos tienen espesor uniforme excepto para algunos espesores en las esquinas redondeadas.

Specification	Grade	F_y , ksi (MPa)	F_u , ksi (MPa)
ASTM A53	B	35 (240)	60 (415)
ASTM A500 (round)	A	33 (228)	45 (311)
	B	42 (290)	58 (400)
	C	46 (317)	62 (428)
ASTM A500 (rectangular)	A	39 (269)	45 (311)
	B	46 (317)	58 (400)
	C	50 (345)	62 (428)
ASTM A501	–	36 (248)	58 (400)
ASTM A618 (round)	I and II	50 (345)	70 (483)
	III	50 (345)	65 (448)
ASTM A847	–	50 (345)	70 (483)
CAN/CSA G40.21	350W	51 (350)	65 (450)

El material ASTM A500 Grado A no satisface la ductilidad “límite de aplicabilidad” para conexiones directas en la Sección 9.4.3a. Estos límites requieren que $F_y/F_u \leq 0.8$. En la determinación de otros materiales que cumplen con el límite de la ductilidad, es importante señalar que el material ASTM A500 permite la cedencia determinada por el 0,2%, ó por el método compensado, el alargamiento del 0,5% de la carga. Desde entonces, los materiales ASTM A500 son formados en frío y tienen curvas redondeadas esfuerzo-deformación sin escalón de rendimiento cedente, este último método indica las resistencias cedentes superiores al 0,2% acordado. El límite de la ductilidad se pretende aplicar a las resistencias cedentes determinadas por 0,2% de compensación. Sin embargo, los informes de talleres pueden indicar el rendimiento de la elongación bajo carga EBC, aumentando las preocupaciones de que el material no tiene ductilidad adecuada. Ensayos de tracción suplementarios pueden ser necesarios para determinar el rendimiento o cedencia de 0,2% acordado.

Aunque el material ASTM A501 incluye SET rectangular, las SET rectangulares formadas en caliente no son producidas actualmente en los Estados Unidos.

CAN/CSA G40.21 incluye formación en caliente Clase H y formaciones en frío Clase C. sin embargo, SET rectangulares Clase H son producidos por acabado en caliente manufacturados por formación en frío. Las SET formadas en caliente tienen niveles relativamente bajos de esfuerzo residual, lo que mejora su rendimiento en la compresión y puede proporcionar una mejor ductilidad en las esquinas la SET rectangular.

La tolerancia del ASTM A500 permite un espesor de pared que no es superior a más/menos el 10 por ciento del valor nominal. Debido a la placa y tira electro-resistente-soldado (ERS), las SET son producidas con una tolerancia con espesor mucho menor. Fabricantes en los Estados Unidos producen considerablemente SET ERS con un espesor de pared que sea próximo al límite de espesor de pared inferior. En consecuencia, la AISC y STI *Steel Tube Institute of North America* recomiendan que 0.93 veces el espesor de pared nominal deberá ser usados para los cálculos relativos a las propiedades de diseño de ingeniería de SET ERS. Estos resultados traducen en una variación masiva similar a la encontrada en otras formas estructurales. Las SET Sumergidas-soldadura-arco (SSA) son producidas con un espesor de pared próximo al espesor nominal y no requiere ninguna reducción. El diseño del espesor de pared y las propiedades de la sección basados en este espesor se han tabulado en la AISC y en las publicaciones del STI desde 1997.

1.3. Cargas y Combinaciones de Cargas

En muchos casos, los miembros en un sistema estructural no tienen ninguna influencia sobre el tipo o magnitud de las cargas que deben ser considerados en el diseño. Esto es cierto para las cargas muertas, cargas vivas, cargas de impacto. Las fuerzas horizontales de grúa, cuando están presentes, y las fuerzas del viento en estructuras cerradas tampoco están influenciadas por el tipo de miembros utilizados en el sistema estructural. En consecuencia, se hace referencia en esta Especificación al código de construcción aplicable o ASCE 7. Estos son, sin embargo, dos situaciones en las cuales el uso de SET pueden permitir una reducción de las fuerzas de diseño que deben ser considerados: fuerzas del viento sobre estructuras expuestas y presiones creadas por la naturaleza cerrada de SET.

Las fuerzas del viento sobre estructuras expuestas pueden ocurrir bien sea en la configuración estructural final o durante la construcción. La forma de SET circulares tienen menor resistencia al flujo de fluidos que formas con elementos planos (e.g., formas W) y por lo tanto reduce la fuerza del viento. La determinación general de las presiones del viento es tomada del código de construcción aplicable o ASCE 7 cuando el código de construcción no aplica. La determinación de las fuerzas del viento sobre estructuras expuestas es un problema complejo que implica la relación de solidaridad, blindaje y ángulo del viento. En ausencia de otras provisiones de reducción de las fuerzas del viento que consideran la forma el miembro, las provisiones de esta Especificación pueden ser utilizadas.

Las fuerzas del viento sobre perfiles expuestos son proporcionales al coeficiente de arrastre C , el cual varía con el tipo de perfil. El valor de C para forma cuadrada con

esquinas agudas es 2.03. Investigaciones (Hayus, 1968) indican que las esquinas redondeadas de SET cuadradas reducen este coeficiente de arrastre. Como se muestra en la Figura C1.3-1, futuras reducciones ocurren cuando SET rectangulares están orientadas con el lado corto perpendicular al viento. Sin embargo, C varía considerablemente con la orientación de la sección relativa al viento y con el número de Reynolds. Los valores máximos de C como se indica en las partes planas de las curvas de la Figura C1.3-1 proporcionan valores conservadores para su uso en el diseño. En la Tabla C1.3-1 se muestra una lista con estos valores junto con su magnitud relativa normalizada por 2.03, el cual es el valor de C para SET cuadradas. La Figura y la Tabla incluyen también el valor de C correspondiente para SET circulares. En este caso, una reducción de un tercio (factor de dos tercios) de la fuerza sobre una superficie plana se justifica.

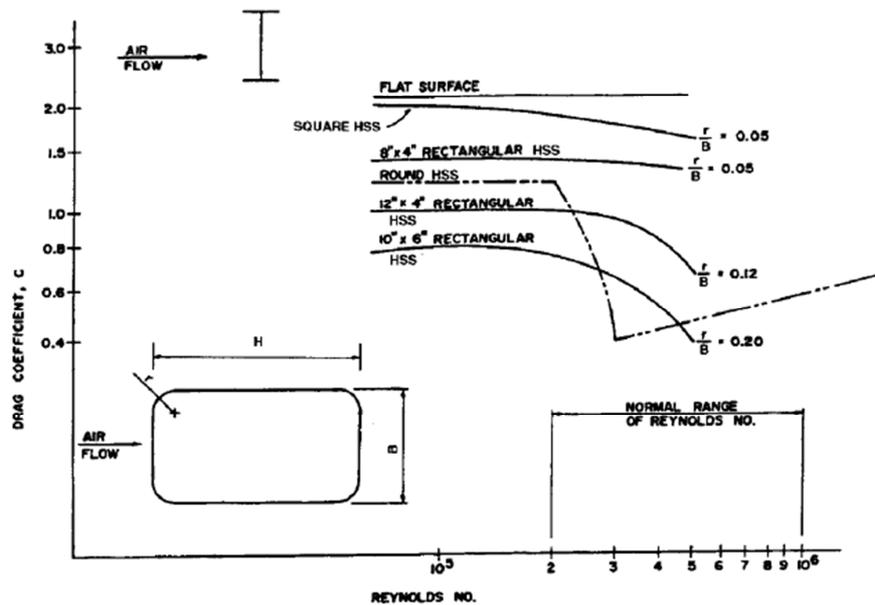


Fig. C1.3-1. Variación de Coeficiente de Arrastre

TABLE C1.3-1 Drag Coefficients			
Section	Corner Radius	C	$C/2.03$
Square HSS	$0.05B$	2.03	1.00
Round HSS	—	1.25	0.62
8-in. \times 4-in. HSS	$0.05B$	1.4	0.69
12-in. \times 4-in. HSS	$0.12B$	1.0	0.49
10-in. \times 6-in. HSS	$0.20B$	0.8	0.39

Un concepto similar de reducción puede aplicarse a la actuación del viento sobre el lado corto de una SET. Usando los dos puntos de datos para SET con las esquinas más agudas (cuadrada y 8-in. \times 4-in. para SET rectangular), un factor de reducción lineal sobre la fuerza del viento es aproximado por $0.4 + 0.6(B/H)$, en el cual la

relación del aspecto de la SET es usado como variable. De forma conservadora, la reducción que ha sido cortada en un tercio para SET circulares, a pesar de que los datos indican que con un mayor radio de esquina, C puede ser menor que el de una SET circular. Esta reducción no es para la fuerza del viento sobre el lado largo de SET rectangulares.

2. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

2.1. Área Efectiva de Miembros a Tracción

La conexión final en SET a tracción es comúnmente hecha por soldaduras alrededor del perímetro de la SET. Otra alternativa, la conexión de los extremos con cartelas también puede ser usada. Las cartelas individuales son soldadas en las ranuras longitudinales que se encuentran en una línea central de la sección en cruz. Debido que la soldadura alrededor del final de la cartela no es recomendada, el área neta y el final de la ranura en SET debe ser menor que el área gruesa o total, como se ilustra en la Figura C2.1-1. Un par de cartelas pueden ser soldadas en sitios opuestos de una SET rectangular con soldadura de ranura biselada.

Para finalizar las conexiones de estos tres tipos, las provisiones generales de la Especificación LRFD Sección B3 son simplificadas y la excentricidad en la conexión \bar{x} puede ser definida explícitamente. Estos tipos de conexiones con cartelas y las definiciones de \bar{x} y L son ilustrados en la Figura C2.1-2.

2.2. Pandeo Local

Los parámetros de esbeltez de la pared y los límites de esbeltez λ_p y λ_r en la Tabla C2.1-1 son tomados de las Especificación LRFD Sección B5, pero han sido presentadas en forma adimensional. El diseño del espesor de pared como se define en la Sección 1.2.2 es usada para determinar la esbeltez.

Los límites de las paredes para SET rectangular en compresión uniforme han sido usados en Especificaciones AISC desde 1969. Éstos son basados en el trabajo de Winter (1947) donde miembros rígidos adyacentes en compresión en secciones caja de espesor uniforme, son observadas para proporcionar restricción torsional despreciable a lo largo de sus bordes de esquina. El límite por análisis plástico λ_p es adoptado desde CSA (1994). Los límites de esbeltez son los mismos usados para miembros en forma de ancho-ala.

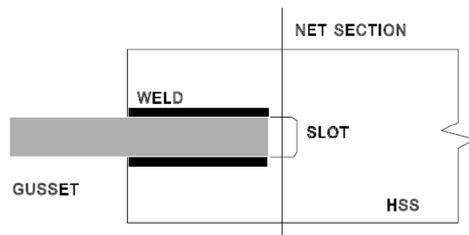


Fig. C2.1-1. Área Neta a través de la ranura para la cartela individual

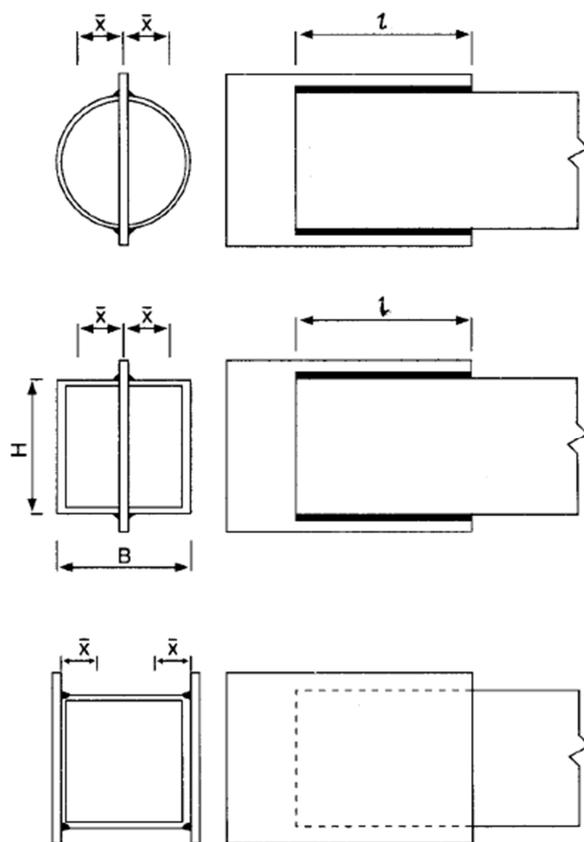


Fig. C2.1-2. Determinación de \bar{l}

El límite λ_r para SET circulares en compresión fue usado primero por AISC en la AISC Especificación ASD 1978. Fue recomendado por Schilling (1965) basado en la investigación de Cornell University que produjo provisiones en las Especificaciones Formación en frío de AISI en 1968 (Winter, 1968). El mismo límite se utilizó también para definir una forma compacta a la flexión en la Especificación de 1978 de la AISC ASD. Sin embargo, los límites para λ_p y λ_r fueron modificados en la AISC, Especificación LRFD 1986 basados en la investigación experimental sobre SET circulares en flexión (Sherman, 1985;

Galambos, 1988). A excepción del uso de SET circulares con $D/t > 0.448 E/F_y$, fue también recomendado por Schilling (1965).

Los menores valores de λ_r son especificados para el diseño alto en sismos en la *AISC Seismic Provisions for Structural Steel Buildings* (AISC, 1997; AISC, 2000), basado en ensayos (Lui & Goel, 1987) que demuestran que SET rectangulares con riostras sujetas a la carga axial fracturada catastróficamente bajo pocos ciclos relativos si forman pandeo local. Esto fue confirmado más recientemente en ensayos (Sherman, 1995) donde riostras de SET rectangular sostenidas sobre 500 ciclos cuando no se forma pandeo local, aunque generalmente ocurrió pandeo en la columnas, pero falló en menos de 40 ciclos cuando se desarrolla pandeo local. El sismo λ_r está basado sobre ensayos (Lui & Goel, 1987) de SET que tuvieron un b/t pequeño y de esta forma ejecutaron riostras satisfactoriamente para miembros con esbeltez razonables en columnas. Rellenando las SET rectangulares con concreto pobre (concreto mezclado con una baja porción de cemento) han mostrado rigidez efectiva las paredes de la SET y se mejora el ciclo de ejecución.

3. MIEMBROS A TRACCIÓN

3.1. Resistencia de Diseño a Tracción

A excepción de las SET que son sometidas a inversiones de cargas cíclicas, no hay información de que los factores que rigen la resistencia de SET a tracción difieren de los factores de otros perfiles estructurales. Por lo tanto, los criterios de la Sección 3.1 son idénticos a los expuestos en la Sección D1 en la Especificación LRFD. Sin embargo, debido al número de diferentes tipos de conexiones que se practican en las SET son limitadas, la determinación del área neta efectiva A_e puede ser simplificada como en la Sección 2.1.

4. COLUMNAS Y OTROS MIEMBROS A COMPRESIÓN

4.1. Longitud Efectiva y Limitaciones de Esbeltez

La alta resistencia a la torsión y rigidez de SET proporciona restricción mayor para los miembros de la estructura cuando se comparan con las que ofrecen otras formas estructurales. Por ejemplo, la conexión entre un miembro secundario de SET y el cordón principal de una SET es comúnmente hecha con una soldadura continua alrededor del perímetro del miembro secundario. En tal conexión, el cordón proporciona entonces una restricción final considerable tanto en el plano y fuera del plano de la armadura; el miembro secundario de la SET también proporciona un grado de restricción lateral contra la rotación del cordón principal. En ambos casos, se aprovecha la restricción final usando las longitudes efectivas de la Sección 4.1.1(a). El uso de K igual a 0.75 para miembros secundarios y 0.9 para el cordón principal entre los puntos de arriostamiento está basado sobre las recomendaciones de las investigaciones del CIDECT (Rondal, 1992).

Es importante señalar que a pesar de la presencia de una restricción final, todavía es razonable asumir que las conexiones en cerchas están articuladas. Los momentos secundarios debido la fijación final pueden ser despreciados a menos que la excentricidad de la junta exceda los límites de aplicabilidad de la Sección 9.4 o la fatiga es una consideración del diseño. Para aplicaciones de fatiga, referirse a AWS D1.1.

Las provisiones para estructuras no arriostradas y estructuras arriostradas son tomadas desde la Especificación LRFD. Los valores de K para miembros en compresión en armaduras pueden ser determinados desde los alineamientos gráficos y ecuaciones correspondientes en el Comentario de la Especificación LRFD.

4.2. Resistencia de Diseño a Compresión

La resistencia a la compresión axial de una SET está influenciada por su método de producción, forma, y dimensiones y se complica aún más por las grandes diferencias entre predicciones teóricas y resultados experimentales para pandeo local, en especial para SET circulares. En vez de repetir las excelentes discusiones que se pueden encontrar en otros lugares relacionados al comportamiento de varias secciones huecas en cruz (Schilling, 1965; McGuire, 1968; Galambos, 1988; y Sherman, 1992), los resultados y bases para las ecuaciones de diseño están explicadas en este documento. Algunas de las consideraciones principales que deben incluirse en criterios comprensivos para:

1. Al igual que con cualquier miembro de pared delgada de sección cruz constante, ya sea el pandeo por flexión o pandeo local pueden ser controlados por los estados límites. La resistencia al pandeo por flexión bajo cargas axiales está gobernado por la relación de esbeltez KL/r , la resistencia cedente F_y , esfuerzo residual, e inicial fuera de rectitud. El pandeo local en SET rectangulares se basa en los principios de la teoría de pandeo de la placa y se rige por el cuadrado de la relación ancho-espesor. En secciones circulares muy cortas, el pandeo local es similar al de una placa infinitamente amplia y la relación de la longitud con el espesor es de primordial importancia. Para secciones circulares largas, la configuración de pandeo local consta de ondas aproximadamente cuadradas a lo largo y alrededor de la circunferencia y la resistencia es una función de la relación del diámetro con el espesor. La resistencia al pandeo local de secciones circulares delgadas es extremadamente sensible a la distorsión inicial de la superficie cilíndrica perfecta. Debido a las SET fabricadas generalmente tienen menor distorsión inicial que la de un cilindro similar fabricado, el pandeo local generalmente ocurre a una mayor carga.
2. La resistencia de miembros cortos en compresión se rige por el pandeo local, mientras la resistencia de miembros largos a compresión está gobernada por

pandeo flexional. En los miembros a compresión de longitud intermedia, existe una interacción entre el pandeo local y flexional.

3. SET rectangulares formadas en frío a partir de SET circulares tienen una curva tensión-deformación circular debido a los esfuerzos residuales a través del espesor que varía entre $0.4F_y$ a $0.8F_y$. Esto reduce la resistencia al pandeo local de miembros intermedios-largos por debajo en comparación con SET formadas en caliente con resistencia a la cedencia similar. Los esfuerzos residuales no son tan grandes en SET circulares formadas en frío y se desprecian en SET formadas en caliente.
4. SET fabricadas tienden a tener una e inicial fuera de rectitud, que incrementa la resistencia de SET de longitud intermedia-larga relativo a otras formas.

Debido que muchas SET tienen relación de esbeltez de pared que exceden λ_r , las ecuaciones para pandeo flexional incluye la interacción con el pandeo local como se tiene en el Apéndice B de la Especificación LRFD. En efecto, el factor reducción Q del pandeo local, minimiza el esfuerzo cedente tanto en la ecuación de pandeo flexional inelástico como en la esbeltez λ_c . Su influencia está ilustrada en la Figura C4.2-1. Por supuesto, si λ es menor o igual a λ_r , el factor reducción Q del pandeo local es igual a la unidad y las ecuaciones reducen las ecuaciones de pandeo flexional del Capítulo E de la Especificación LRFD.

Para SET circulares, Q tiene su origen en el esfuerzo crítico de los datos del ensayo de pandeo local con ajustes conservadores en una de las Primeras Especificaciones de AISI (Winter, 1968). Las constantes se han ajustado también para formas adimensionales y el formato de la resistencia de diseño en lugar de un formato de esfuerzo admisible.

La ecuación de ancho efectivo utilizada para obtener Q para SET rectangulares es también desde las primeras Especificaciones AISI Winter, 1968). Las constantes en esta ecuación fueron establecidas para secciones transversales cerradas con espesor uniforme. Las ecuaciones de pandeo flexional y ϕ_c igual a 0.85 son iguales a aquellos usados en la Especificación LRFD y pueden ser usados para todas las SET. Sin embargo, para SET formadas en caliente o SET de ASTM A500 Grado D, las cuales tienen menor esfuerzo residual pero generalmente no están disponible en los Estados Unidos, un factor de alta resistencia podría justificarse y daría factores que son comparables con aquellos de otras especificaciones que usan múltiples curvas de columnas. Esto está basado sobre los ensayos extensos de los programas del CIDECT en Europa y estudios severos menos amplios en Norte América, como se muestra en la Tabla C4.2-1. Una gran cantidad de datos del CIDECT para SET son costura no está incluido. Los datos de ensayo para SET en compresión axial están ilustrados en la Figura C4.2-2 para SET circulares y en la Figura C4.2-3 para SET rectangulares. La curva para la resistencia nominal de la columna en LRFD ($\phi = 1.0$) está superpuesta sobre las Figuras. La carga de cedencia utilizada para las ordenadas adimensionales es el área de la sección transversal por la tracción de la

resistencia cedente, el cual fue determinado por el 0.2% del método compensado para SET formadas en frío que exhiben curvas de esfuerzo-deformación

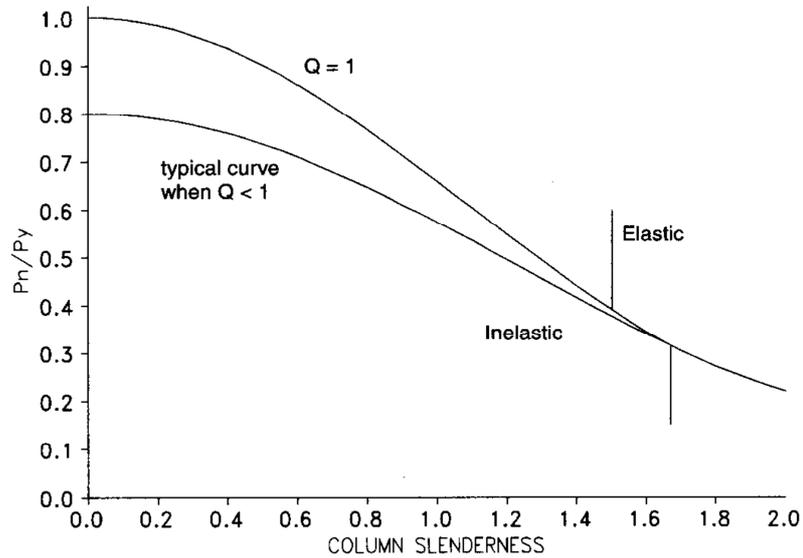


Fig. C4.2-1. Influencia de Q sobre la resistencia de la columna

Table C4.2-1 Summary of Test Programs on HSS Columns			
Round HSS			
Type	Symbol in Figure C4.2-2	Reference	No. of Tests
Hot-Formed	□	CIDECT #	10
Cold-Formed	■	CIDECT #	65
		Sherman, 1980	4
Fabricated Pipe	⊗	Chen, 1977	10
		Yang, 1987	6
Rectangular HSS			
Type	Symbol in Figure C4.2-2	Reference	No. of Tests
Hot-Formed	□	CIDECT #	88
		Estuar, 1965	10
Cold-Formed	■	CIDECT #	132
		Bjorhovde, 1979	1
		Key, 1985	11
Cold-Formed Stress Relieved	⊗	Bjorhovde, 1979	19
		Sherman, 1969	2
# No reference cited for CIDECT data.			

redondeadas. En las figuras, los cuadrados sólidos representan datos de ensayos sobre SET formadas en frío mientras que los cuadrados abiertos representan las SET

formadas en caliente. Los asteriscos representan casos especiales de tubos fabricados en la Figura C4.2-2 el esfuerzo aliviado en SET rectangulares en la Figura C4.2-3. Observe que SET rectangulares de ASTM A500 formadas en frío que alivian esfuerzos a 849°F (450°C) tiene resistencias similares a las SET formadas en caliente.

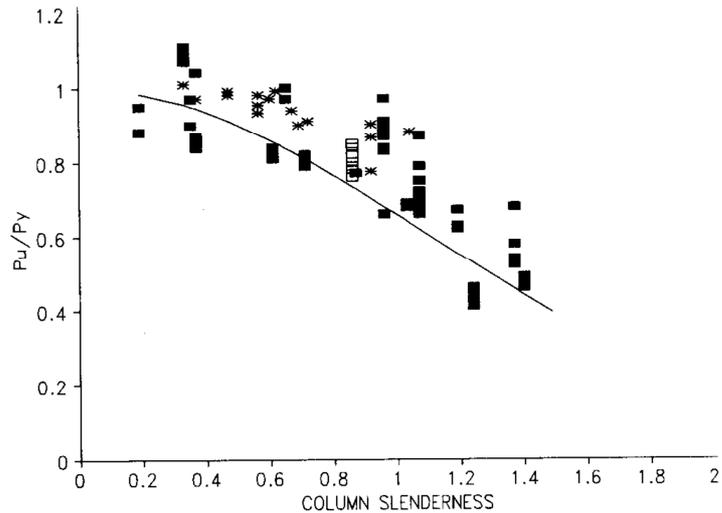


Fig. C4.2-2. Datos del Ensayo para SET circulares

5. VIGAS Y OTROS MIEMBROS SOMETIDOS A FLEXIÓN

5.1. Diseño de Resistencia a flexión

Las disposiciones para la resistencia a la flexión nominal de las HSS incluyen los estados límites de cedencia, pandeo local inelástico y elástico. SET rectangulares, circulares y cuadradas inclinadas sobre el eje menor no están sujetas a pandeo torsional. Además, para SET rectangulares inclinadas sobre el eje mayor, el estado límite de pandeo torsional no está incluido en esta Especificación a pesar de las provisiones de la Especificación de LRFD que reducen la resistencia a la flexión cuando la longitud sin soporte lateral excede los límites.

Debido a la alta resistencia a la torsión de la sección transversal cerrada, las longitudes críticas sin soporte lateral L_p y L_r que corresponden al desarrollo del momento plástico y momento cedente respectivamente, son muy grandes. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 5.1-1, una SET 20x4x5/16, que tiene una de las mayores relaciones de profundidad de ancho estándar, tiene L_p de 8.7 ft y L_r de 137 ft determinado de acuerdo la Especificación de LRFD. Un límite de deformación extrema podría corresponder a la relación de longitud-profundidad de 24 o una longitud de 40 ft para este miembro. Mediante la reducción especificada

lineal entre momento plástico y momento cedente de pandeo torsional, el momento plástico es reducido por solo el 7% de la longitud. En la mayoría de los diseños prácticos donde los momentos de gradiente C_b son también un factor, la reducción será insignificante.

Los modos de falla y comportamientos post-pandeo de SET circulares pueden agruparse en tres categorías (Galambos, 1998; Sherman, 1992).

- (a) Para D/t bajos, ocurre largo escalón de relajamiento en el momento de rotación curva. La sección Transversal gradualmente ovalizada, eventualmente forma pandeo localizado, y el momento resistente decae lentamente. La resistencia a la flexión podrá ser superior al momento plástico teórico debido al endurecimiento por deformación.

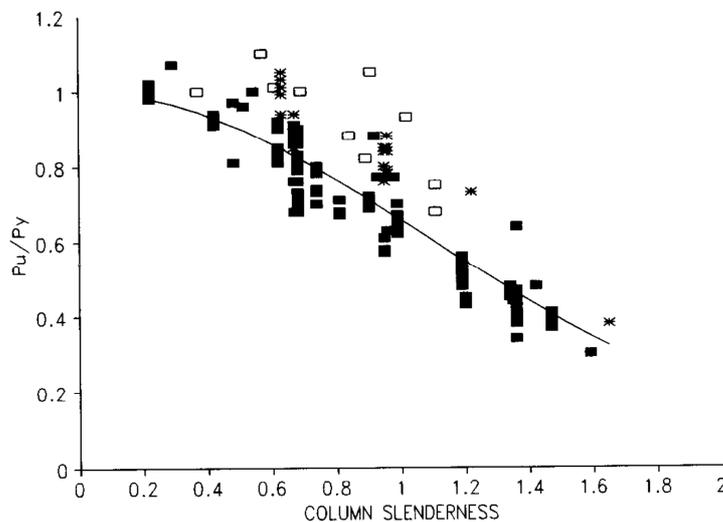


Fig. C4.2-3. Datos de Prueba para SET Rectangulares.

- (b) Para D/t intermedios, el momento plástico es casi alcanzado pero un desarrollo de pandeo local y momento resistente de desintegra lentamente con poco o ningún escalón de relajamiento.
- (c) Para D/T mayores, se forman múltiples ondas por pandeo con muy poca ovalización y poca resistencia a la flexión

El criterio de resistencia a la flexión para SET circulares refleja estos tres comportamientos y se basan en cinco programas experimentales de tubos sin costura formados en caliente y eléctricamente soldados. Los criterios son los mismos que los de la Especificación de LRFD en su Apéndice F.

Los criterios para el pandeo local de SET rectangulares también son los mismos que los de la Especificación de LRFD en su Apéndice F. La ecuación del ancho efectivo del ala en compresión donde b/t excede λr es el mismo que el usado para SET rectangulares en compresión axial salvo que el esfuerzo se toma como límite de elasticidad. Esto implica que el esfuerzo en las esquinas del ala en compresión esta

en cedencia cuando la resistencia a la rotura post-pandeo del borde es alcanzado. Cuando se utiliza el ancho efectivo, la resistencia a la flexión nominal es determinada desde el módulo de sección efectivo hasta la compresión del ala con la distancia desde el eje neutro desplazado. Una estimación ligeramente conservadora de la resistencia de la tensión nominal se puede obtener mediante el uso del ancho efectivo para compresión y ala en tensión lo cual mantiene la simetría de la sección transversal y simplifica el cálculo.

El factor de forma (Z/S) para SET esta generalmente entre 1.15 y 1.4. Por lo tanto, el límite máximo del M_p de $1.5M_y$ en la Especificación de LRFD, Capítulo F se cumple para SET y no es necesario comprobar explícitamente.

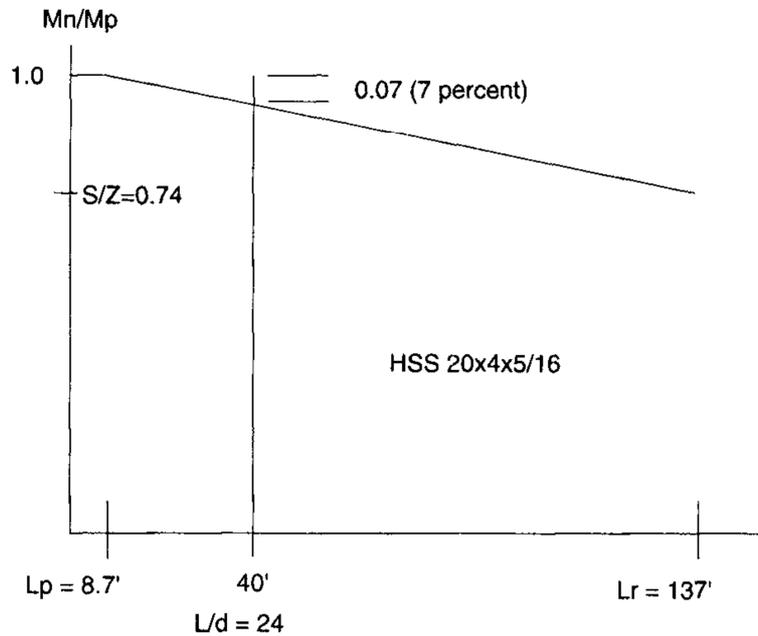


Fig. C5.1-1. Pandeo Lateral de SET Rectangulares.

A fin de utilizar el análisis plástico para el diseño, las SET deben tener suficiente capacidad de rotación en el momento plástico para el desarrollo de la articulación. Esto requiere una sección transversal compacta para evitar el pandeo prematuro local y soporte lateral para SET rectangulares que se doblan sobre el eje mayor para prevenir pandeo lateral-torsional en las proximidades de la articulación. Los requisitos para L_{pd} son tomados de la Especificación de LRFD. Las disposiciones para la esbeltez de pared que definen la sección compacta son más restrictivas que λ_p , que define cuando M_p se puede lograr sin tener en cuenta la capacidad de rotación. Esto es debido a factores de forma altos para las SET en relación ancho de ala formas donde λ_p también se aplica al análisis plástico. El más restrictivo valor D/t para SET circulares es también usado en la Especificación de LRFD, y el

límite b/t para SET rectangulares se basa en pruebas para secciones formadas en frío (Karol, 1972), que son los más usados en Norte América.

5.2. Diseño de Resistencia al Corte

Existe poca información disponible sobre SET circulares sometidos a corte transversal y las recomendaciones se basan en criterios de pandeo local de los cilindros sometidos a torsión.

Sin embargo, dado que la torsión es generalmente constante a lo largo de todo el miembro y el corte transversal usualmente tiene un gradiente, se recomienda tomar el esfuerzo crítico de corte transversal como 1.3 veces el esfuerzo crítico por torsión (Galambos, 1998; Brockenbrough y Johnston, 1981). Las ecuaciones de torsión se aplican sobre toda la longitud del miembro, pero para corte transversal es razonable usar una longitud de la ubicación de corte cero. Solo delgadas SET requieren una reducción en la resistencia al corte basado en el primer rendimiento de corte. Incluso en este caso domina el diseño de vigas de SET circulares para el caso de secciones delgadas con poca capacidad.

En la ecuación de la resistencia al corte nominal V_n de SET circulares, se asume que el esfuerzo cortante se encuentra en el eje neutro, que es calculado como VQ/Ib , esta en F_{cr} . Para una sección circular delgada con radio R y espesor t , I es $\pi R^3 t$, el primer momento de área Q es $2R^2 t$, y $b = 2t$. Esto da el esfuerzo en el centro de gravedad como $V/(\pi R t)$, en el que el denominador es reconocido como la mitad del área de una SET circular.

Las provisiones para la resistencia al corte nominal de una SET rectangular son las mismas que para los miembros no rígidos en la Especificación de LRFD. Para SET rectangulares, la resistencia al corte nominal considera los dos miembros en la sección.

6. MIEMBROS EN TORSION

Las SET son usadas frecuentemente para construcciones con pórticos espaciales y en otras ocasiones en que los momentos de torsión deben ser resistidos por los miembros. Debido a sus secciones cerradas, una SET es mucho más eficiente en la resistencia a la torsión que una sección abierta como una forma W o canal. Mientras que las tensiones tangenciales y normales debido a la deformación suelen ser importantes en secciones transversales abiertas, estas son insignificantes en secciones transversales cerradas y el momento de torsión total puede asumirse a ser resistido por el esfuerzo cortante torsional puro, que a veces se llaman esfuerzo de torsión San Venant.

En las SET, el esfuerzo cortante torsional puro se supone que se distribuya uniformemente y es igual al momento de torsión T_u dividido por una constante C

para la sección transversal. En un formato de estado límite, el momento de torsión nominal resistido es la constante de corte multiplicada por el esfuerzo cortante crítico F_{cr}

Para una SET circular, la constante cortante torsional C es igual al momento polar de la inercia dividida por el radio:

$$C = \frac{\pi(D^4 - D_i^4)}{32D/2} = \frac{\pi(D-t)^2 t}{2} \quad (C6-1)$$

Donde D_i es el Diámetro interno.

Para una SET rectangular, la constante cortante torsional se obtiene como $2tA_0$ usando la analogía de membrana (Timoshenko, 1956), donde A_0 es el área delimitada por la línea media de la sección. Conservadoramente suponiendo un radio de esquina exterior que es igual a $2t$, el radio de esquina línea media es $1.5t$, y

$$A_0 = (B - t)(H - t) \frac{9(4-\pi)}{4} t^2 \quad (C6-2)$$

Tal que su cedencia

$$C = 2(B - t)(H - t)t - 4.5(4 - \pi)t^3 \quad (C6.3)$$

El factor de resistencia y resistencia nominal usadas para torsión son las mismas usadas para esfuerzo cortante de flexión.

Cuando consideramos pandeo local en SET circulares sometidas a torsión, la mayoría de los de los elementos estructurales serán largos o de longitud moderada y el criterio para cilindros cortos no aplicará. La resistencia elástica de pandeo local de cilindros largos no se ve afectada por condiciones de extremo, y el esfuerzo crítico es dado por Galambos (1998) como:

$$F_{cr} = \frac{K_t E}{(D/t)^2} \quad (C6-4)$$

El valor teórico de K_t is 0,73, pero un valor de 0,6 es recomendado para dar cuenta de las imperfecciones iniciales. Una ecuación para el esfuerzo critico local elástico para SET circulares de longitud moderada ($L > 5.1 D^2/t$) donde los bordes en los extremos no son fijos contra la rotación esta dada por Schilling (1965) y Galambos (1998) como:

$$F_{cr} = \frac{1.23E}{\sqrt{L/D}(D/t)^{5/4}} \quad (C6-5)$$

Esta ecuación incluye un 15% de reducción a cuenta de las imperfecciones iniciales.

Las ecuaciones de pandeo local se trazan en la Figura C6-1 con un módulo de elasticidad igual a 29000ksi. Aunque existe alguna incoherencia referente a la división entre larga y moderadamente largas SET, de la Figura C6-1 se desprende

que la expresión para secciones con longitud moderada es válida para la mayoría de las longitudes de prácticas. Es también válido que es poco rentable descuidar el incremento de la resistencia a la torsión para miembros de longitud moderada. Por consiguiente, en esta Especificación, el efecto de longitud se incluye para las condiciones finales simples y el aumento de aproximadamente el 10% en el esfuerzo de pandeo es descuidado por los bordes fijos en los extremos. Una limitación se proporciona para que el límite elástico de corte no sea excedido.

Los criterios de esfuerzo crítico para SET rectangulares son idénticos a los criterios de esfuerzo cortante de flexión de la Sección 5.2. La distribución de corte debido a la torsión es uniforme en el más largo de los lados de una SET rectangular, que es la misma distribución que se asume que existe en una viga. Por lo tanto, es razonable que el criterio por pandeo es el mismo en ambos casos.

7. MIEMBROS SOMETIDOS A FUERZAS COMBINADAS

7.1. Diseño para Flexión y Fuerza Axial combinadas

Las provisiones para la interacción entre flexión y fuerza axial son tomadas directamente de la Especificación de LRFD en su Sección H1. Como se indica en la Especificación de LRFD Sección C1, para las estructuras diseñadas sobre la base del análisis elástico, la resistencia a la flexión necesaria M_u se determinará a partir de un análisis de segundo orden. Los efectos de segundo orden deben ser considerados no solo para los miembros viga-columna, si no también para la elaboración de otros miembros de la estructura que se conectan a la misma y las conexiones asociadas. En lugar de un análisis de segundo orden, un procedimiento de aproximación de segundo orden es permitido para determinar M_u como se detalla en la Especificación de LRFD Sección C1.

En el caso de flexión biaxial en SET circulares, que tienen el mismo módulo de sección en cualquier eje, la ecuación de interacción de la Especificación de LRFD conduce a resultados incoherentes en comparación con el diseño para un momento resultante (Pillai y Ellis, 1971). La ecuación de interacción añade los efectos de M_{ux} y M_{uy} que puede ser conservador hasta en un 40% en comparación al combinar vectorialmente. Por lo tanto, se han incluido en esta Especificación para el diseño directo basado en el momento resultante M_{ur} .

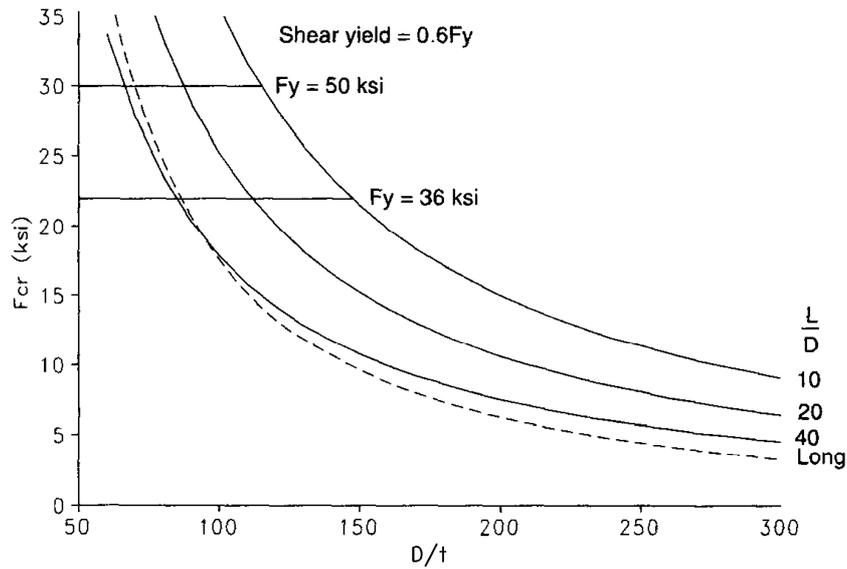


Fig. C6-1. Torsión F_{cr} para SET Circulares.

7.2. Diseño para Torsión, Cortante, Flexión y/o Fuerza Axial Combinadas.

Varias formas de ecuación de interacción se han propuesto para la combinación de cargas que producen tanto normal y esfuerzo cortante. En una forma común el esfuerzo cortante y normal son combinados elípticamente con la suma de los cuadrados (Felton y Dobbs, 1967).

$$\left(\frac{f}{F_{cr}}\right)^2 + \left(\frac{f_v}{F_{vcr}}\right)^2 \leq 1 \quad (C7.2-1)$$

En una segunda forma, la primera potencia de las tensiones normales se utiliza.

$$\left(\frac{f}{F_{cr}}\right) + \left(\frac{f_v}{F_{vcr}}\right)^2 \leq 1 \quad (C7.2-2)$$

Estas ecuaciones son trazadas en la Figura C7.2-1. Esta última ecuación es más conservadora, pero no excesivamente conservadora (Schilling, 1965) y es la base para la ecuación de interacción usada en esta Especificación en un formato de estados límites. Los efectos de fuerza axial y flexión son combinados de forma lineal y luego se combinan con el cuadrado de la combinación lineal de esfuerzo cortante de flexión y efectos de torsión. Cuando está actuando una fuerza axial la resistencia a la flexión necesaria M_u se obtiene mediante un análisis de segundo orden. Ya que la interacción se basa en una combinación de esfuerzos elásticos, la resistencia a la flexión nominal M_n está limitado al momento de cedencia.

8. FUERZAS CONCENTRADAS EN SET

Fuerzas concentradas resultantes de las líneas de cargas que son aplicadas a las SET a través de una placa o lamina, un elemento de conexión que tiene un ala o un elemento similar. La línea de carga puede ser distribuida tanto transversal como longitudinalmente como se muestra en la Figura C8.1-1.

Las SET circulares con línea de carga transversal o longitudinal fallan por distorsión plástica local de la sección. La resistencia para estas cargas está dada por Packer y

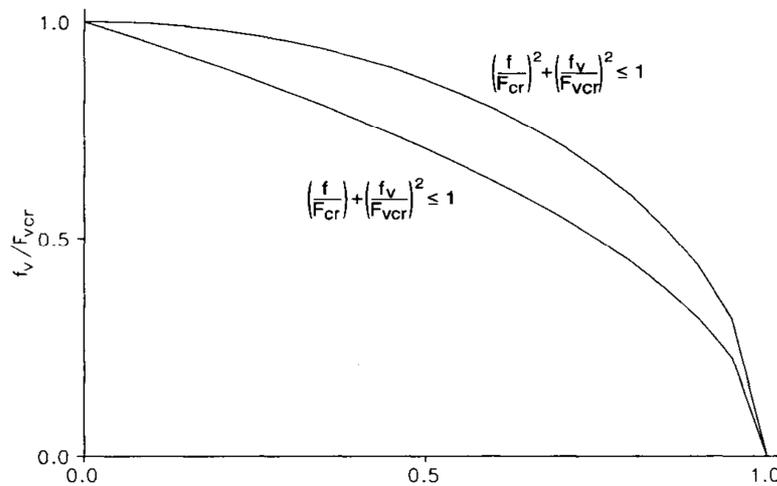


Fig. C7.2-1. Interacción de Esfuerzo de Corte y Efectos Normales

Henderson (1997), debido a esto cuenta con variaciones experimentales y teóricas, el factor de resistencia ϕ apropiado es 1.0. Cuando hay compresión de esfuerzos normales en las SET en las proximidades de la línea de carga, la resistencia a la distorsión plástica local se reduce con la aplicación del factor Q_f . En la ecuación Packer y Henderson, Q_f es determinado como una función de f , que es el esfuerzo de compresión máximo en el cordón (un número negativo). En estas Especificación, el factor Q_f para dicha ecuación ha sido modificado de modo que la magnitud del valor f sea utilizado. (Valor absoluto).

El estado límite para una SET rectangular depende del ancho de la carga en relación con el ancho de la cara cargada de la SET. Para cargas transversales, la rigidez variable a través de la cara de la SET provoca una distribución no uniforme de las fuerzas en el elemento de unión. La falla ocurre debido a una excesiva concentración de la fuerza en el ancho efectivo del elemento de conexión en la resistencia dada por Packer y Henderson (1997).

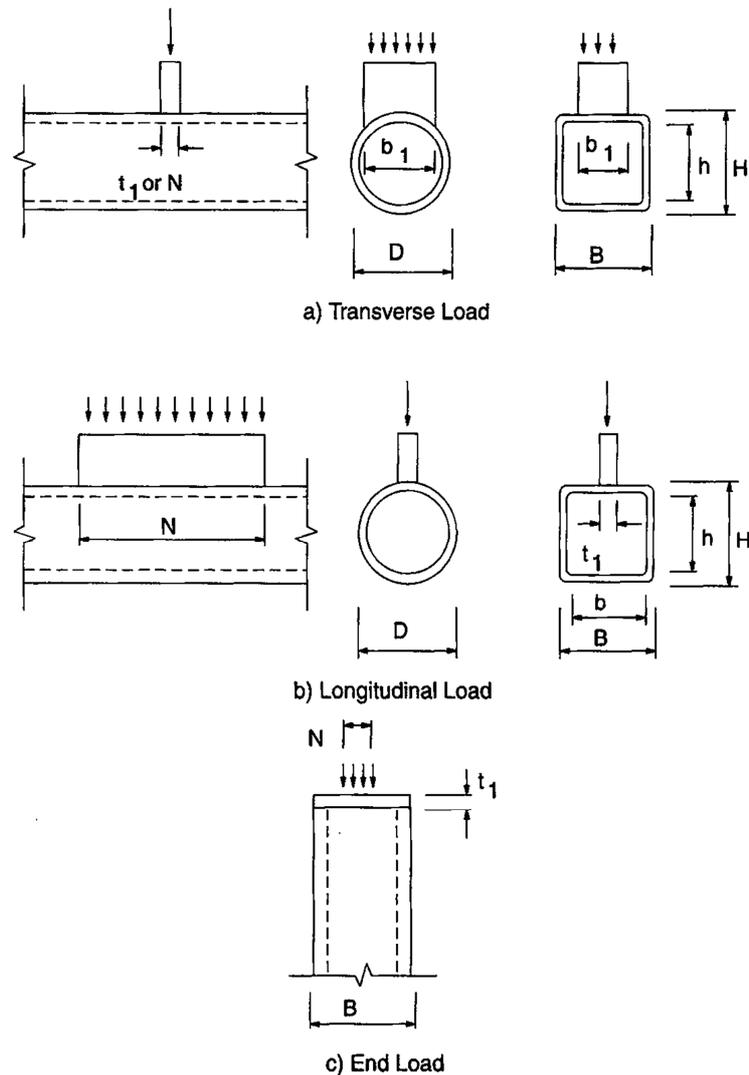


Fig. C8.1-1. Configuración de las Fuerzas Concentradas en SET.

El límite de $F_{y1}t_1b_1$ no representa el estado límite para la resistencia axial de la lámina cargada, pero limita el ancho efectivo dado por Packer y Henderson (1997) a no rebasar el ancho de la SET.

Cuando la fuerza es a través de casi todo el ancho de la SET, la concentración de la fuerza en el extremo del elemento conectado puede causar una ruptura de punzonamiento a través de las paredes de la SET. La resistencia esta dada por Packer y Henderson (1997).

Cuando la fuerza es a través de todo el ancho, la falla de las paredes laterales de la SET es posible. La resistencia para la cedencia local de las paredes laterales es tomada de la Sección K1.3 de la Especificación de LRFD, ajustado por la presencia de dos paredes laterales actuando como miembros. La resistencia para aplastamiento de las paredes laterales es compatible con la Especificación de LRFD Sección K1.4, en una forma adimensional y contabilizada para los dos paredes laterales. Lo mismo

ocurre para el criterio de pandeo por compresión de la Especificación de LRFD Sección K1.6, cuando las fuerzas de compresión son aplicadas en lados opuestos de la SET. Para el estado límite adaptado de la Especificación de LRFD son usados los mismos factores de resistencia. Cuando las reacciones concentradas están presentes en los miembros como dinteles un extremo de placa rígida eliminará las preocupaciones de la insuficiencia en las paredes laterales. En ausencia de un extremo de placa, el criterio para las fuerzas finales en LRFD Sección K1.3, K1.4 y K1.6 ajustada a dos miembros se debe usar.

En el caso de una línea de carga longitudinal donde la anchura es muy estrecha en relación al ancho de la SET. El estado límite es la distorsión local plástica de la cara de la SET y la resistencia está dada por Packer y Henderson (1997). Como en el caso de las SET circulares donde el estado límite es también la distorsión local plástica, una reducción del factor Q_f se aplica cuando la SET es sometida a compresión. Debido a que la ecuación de resistencia dada por Packer y Henderson incluye variación, el factor de resistencia ϕ es igual a 1.0.

Otro tipo de fuerza concentrada en una SET rectangular está en el extremo del tope de la columna de apoyo una viga como se muestra en la Figura C8.1-1c. Debido a que la carga es de un solo lado de la SET, la resistencia por cedencia local es tomada directamente de LRFD K1.3. El criterio por aplastamiento de la pared de la SET es tomado de la Especificación LRFD Ecuación K1-4, con la profundidad tomada como la mitad del ancho total de la SET, $B/2$. Esto se basa en un modelo en el que se supone que la fuerza se extiende 45 grados en ambas direcciones desde el punto central del ancho de la carga. La fuerza será a todo el ancho de la cara a una profundidad no mayor a $B/2$, por debajo del cual no ocurrirá desgarramiento.

9. CONEXIONES Y CONECTORES

9.1. Provisiones Generales para Conexiones y Conectores.

Debido a que las SET son frecuentemente combinadas con otras formas en estructuras utilizando corte estándar simple o conexiones a momento, las provisiones generales de la Especificación de LRFD Sección J1.1 hasta J1.11, aplicará a pesar de que éstas provisiones no son directamente aplicables a las SET.

Aunque la soldadura es el método más frecuente utilizado para conectar las SET, existen una variedad de métodos para el uso de pernos y conectores mecánicos cuando son usados pernos ASTM A325, A490 o A307 para hacer una conexión a una pared de una SET, con un extremo abierto o un agujero de acceso para instalar la tuerca para que todos los cabos de la conexión estén en contacto con el ajuste del perno, la provisión de la Especificación de LRFD Sección J3, aplica. Estas provisiones se aplican también a otras partes de una estructura que incluya SET. Sin embargo, si el perno pasa completamente a través de la SET, un intento de tracción

plena del perno deforma la sección transversal de la pared de la SET y una mínima tensión específica instalada no puede ser alcanzada sin dañar el miembro. Por lo tanto pernos pasantes solo deben ser instalados en condición de apriete. La resistencia de soporte de cada conexión tal como se indica en la sección 9.1.1 es compatible con la Sección J8 de la Especificación de LRFD. El diseñador debe tener en cuenta que algunos detalles de la conexión no distribuyen la carga por igual. Adicionalmente, algunos detalles pueden inducir a través de tensión en el perno.

Existe una variedad de pernos, métodos especiales de instalación, soldaduras y conectores especiales que pueden ser usados con las SET. Muchas de estas alternativas todavía están todavía en etapa de desarrollo y el criterio general para su uso no está disponible. En tal caso, se deben utilizar datos de ensayos para justificar su idoneidad para una aplicación particular.

Con cualquier configuración de la conexión donde los conectores transmitan una tensión de tracción a las paredes de la SET, un análisis racional debe ser usado para determinar el estado límite adecuado. Dicho análisis puede incluir un mecanismo de línea de cedencia en la pared de la SET y/o traccionado a través de las paredes de la SET, además del estado límite aplicable para los conectores sujetos a tracción.

9.2. Soldaduras

Estas provisiones se basan en provisiones similares en AWS D1.1. La resistencia de diseño de una conexión, para un miembro soldado a una pared de una SET, es una función de los parámetros geométricos de los miembros conectados. A menudo es inferior a la fuerza del miembro y en muchos casos no se puede aumentar al incrementar la resistencia de la soldadura. La soldadura, sin embargo, debe ser diseñada para proporcionar la distribución desigual de la carga a lo largo de la línea de soldadura en la resistencia requerida.

Las provisiones para la longitud efectiva incluidas en esta Sección están destinadas a proporcionar un comportamiento dúctil de la junta o a través de la prevención de la falla progresiva o “*unzipping*” de la soldadura. Las variables son como se muestran para la conexión Y de la Figura C9.4-1.

Otros enfoques racionales están disponibles en AWS D1.1, tal como el uso de soldadura de filete con un espesor de garganta efectivo de al menos 1.1 veces el espesor del miembro o el uso de filete, penetración parcial o soldadura de ranura detallada que están dimensionados para garantizar comportamiento dúctil.

9.3. Otros Requerimientos para Conexiones

Los requerimientos de la Especificación de LRFD Sección J4 hasta J10, son aplicables a las conexiones con SET, así como a otras partes de la estructura. La

notación para la resistencia a la ruptura por corte y resistencia a la ruptura por tracción en la Especificación de LRFD Sección J4, ha sido modificada cuando se aplica específicamente a las SET. Un estado límite adicional para corte por punzonamiento se ha añadido basado en las fallas que se observaron en ensayos de placa única a conexiones en SET. (Sherman, 1996).

La fuerza a tracción en una unidad de longitud de la placa es ft_p . Limitando esta fuerza a la resistencia al corte a través del espesor de la SET para los dos planos soldados en los lados de la placa,

$$\leq 2(0.6F_u)t \quad (C9.3-1)$$

La ruptura de corte por punzonamiento incluye el factor de resistencia estándar de 0.9 para cedencia y 0.75 para ruptura. Para una conexión de placa única, la tensión f es un esfuerzo de tensión que resulta de la fuerza cortante factorizada en una excentricidad. (Sherman y Ales, 1991). Un criterio simple y conservador es obtenido mediante el establecimiento de f igual a la resistencia a la cedencia de la placa F_{yp} , que es máximo valor posible. Esto se reduce a la siguiente ecuación (con factor de resistencia)

$$t_p < \frac{F_u}{F_{yp}} t \quad (C9.3-2)$$

Una excepción a la Especificación de LRFD Sección J5.1, en las conexiones excéntricas es que los momentos de flexión causada por excentricidades en conexiones entre SET en cerchas no es necesario considerar para el diseño de la conexión siempre y cuando las excentricidades están dentro de los límites de aplicación en la Sección 9.4. Estas excentricidades han sido incluidas en la base de datos sobre los que el criterio de resistencia de conexión en la Sección 9.4 se han basado.

9.4. Conexiones entre SET en cerchas

Una amplia variedad de configuraciones en la conexión es posible cuando los miembros secundarios están soldados directamente a un cordón que es continuo a través de la conexión. Los criterios de esta especificación están limitados a algunas de las configuraciones que son usadas típicamente para cerchas planas con SET en las aplicaciones de edificaciones. Las conexiones en T, Y, K y en cruz se ilustran en la Figura C9.4-1.

Las conexiones en K superpuestas no están cubiertas en esta Especificación ya que éstas son más costosas de fabricar que conexiones con desfase, en especial para SET circulares. Para estas y otras configuraciones en la conexión que no son incluidas en la Figura C9.4-1, el diseño será basado sobre los requerimientos de AWS D1.1, resultados experimentales, u otras verificaciones de procedimientos de diseño. Los

procedimientos de diseño tales como los contenidos en las recomendaciones de International Institute of Welding (IIW, 1989) en general, serían aceptables.

Los criterios utilizados para la resistencia de diseño de miembros secundarios de una conexión K están basados sobre los mecanismos de transferencia de carga en lugar de la configuración de la conexión. Los criterios para conexiones K solo aplican cuando la fuerza axial del miembro secundario está equilibrada por las fuerzas de otros miembros secundarios sobre la misma zona del cordón, los criterios para conexiones T, Y y en cruz deberán ser usados. Ejemplos de estos principios son mostrados en la Figura C9.4-2. Cuando la carga es equilibrada por una combinación de dos de los mecanismos, la resistencia de diseño es determinada por la interpolación entre los dos criterios basados en el porcentaje de la transferencia de carga por cada mecanismo.

La simbología clave para las dimensiones usadas en el criterio de diseño para conexiones entre SET en cerchas también son definidas en la en la Figura C9.4-1. Los parámetros derivados de relaciones entre estas dimensiones son incluidas además en AWS D1.1 y otras especificaciones son incluidas en la Sección 9.4.1.

Los criterios de la Sección 9.4.2 para SET circulares y de la Sección 9.4.3 para SET rectangulares han sido tomados desde AWS D1.1. El parámetro Q_f , el cual es un factor de reducción de resistencia que tiene en cuenta el nivel de esfuerzo axial y de flexión en el cordón de la conexión, es definido en ambas secciones. Los criterios son parte empírica que está basado en numerosos programas de ensayos a nivel mundial involucrando cientos de pruebas y ensayos. Dado que los criterios son, en algunos casos, el resultado del ajuste de la curva empírica, pueden no ser exactos fuera del rango de los parámetros de ensayo. AWS D1.1 no contiene un conjunto de límites de aplicabilidad para SET circulares excepto para un límite de resistencia cedente superior de 60 ksi. La lista de especificaciones de los materiales para SET en la Sección 3.1 cumple con estas limitaciones. Sin embargo, desde entonces la base de datos utilizados por diferentes especificaciones internacionales y recomendaciones de diseño es esencialmente igual, los límites de aplicabilidad dadas por Packer y Henderson (1997) para SET circulares han sido usadas en la Sección 9.4.2a.

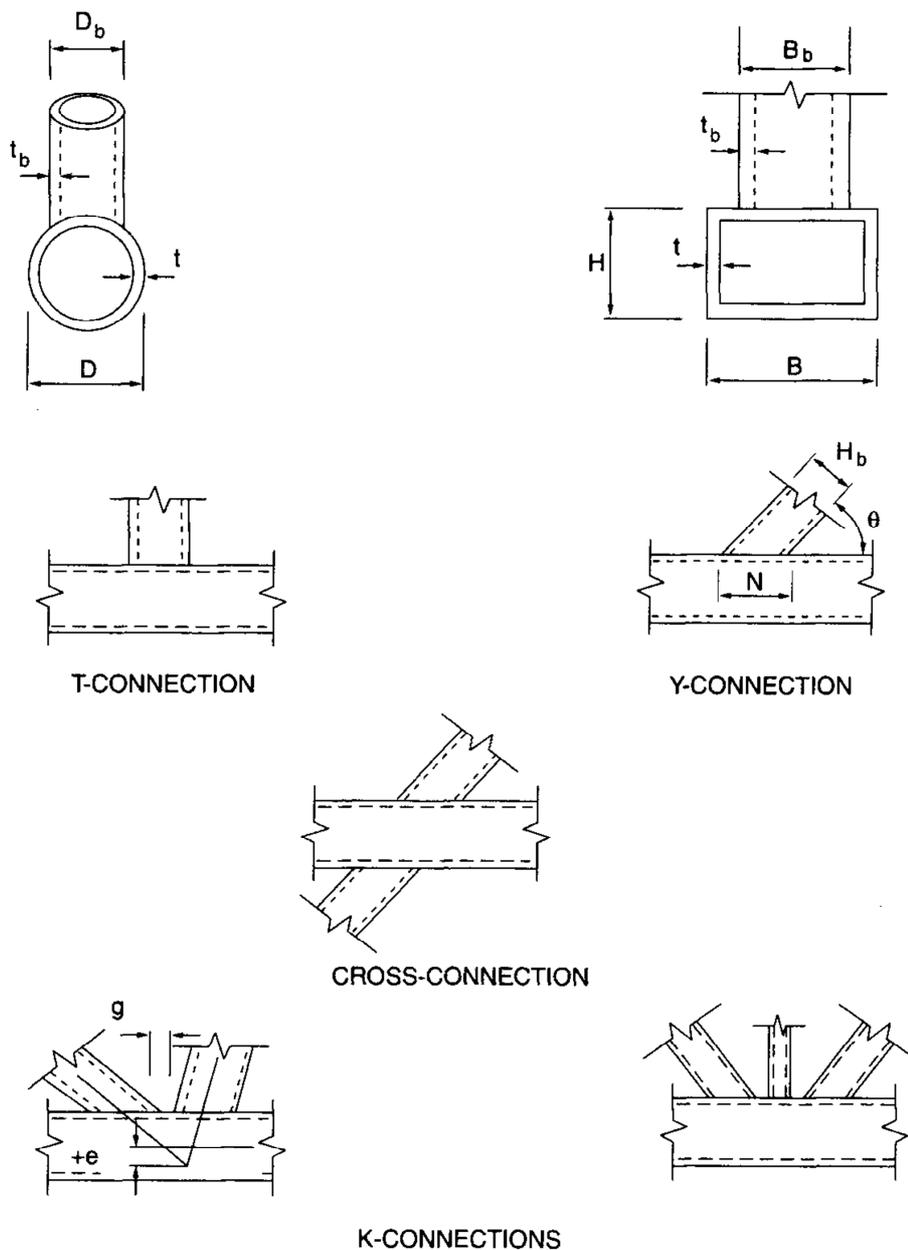


Fig. C9.4-1. Configuraciones de Conexiones entre SET en cerchas

Los criterios mostrados en la Sección 9.4.3 para SET rectangulares son similares a las de otras establecidas en las especificaciones de diseño de SET y recomendaciones en todo el mundo. Éstos incluyen los límites de aplicabilidad para conexiones con SET rectangulares en la Sección 9.4.3a. Algún otro límite ha sido especificado para conexiones T, Y y en cruz en la Sección 9.4.3b y más severos para conexiones K en la Sección 9.4.3c. Además del bajo límite para la abertura, ésta debe tener un tamaño suficiente para adaptar la soldadura de ambos miembros secundarios en la zona de la abertura o desfase. Si el límite superior para el tamaño

de la abertura se excede, controlado por el límite de excentricidad, los miembros secundarios se deben considerar por separado como conexiones T o Y.

El lugar de los criterios límites sobre la magnitud de la componente de la fuerza del miembro secundario que es perpendicular al cordón principal para varios estados límites incluyen:

- (1) Plastificación del cordón principal: los altos esfuerzos locales y distorsiones ocurren en las proximidades de la junta. Estos son los resultados de la flexión en la pared del cordón.
- (2) Ruptura al corte por punzonado: para cordones con paredes delgadas, los esfuerzos cortantes a través del espesor del cordón alrededor del perímetro del miembro secundario resultan en un desgarramiento fuera del material, el cual puede ser el control del estado límite.

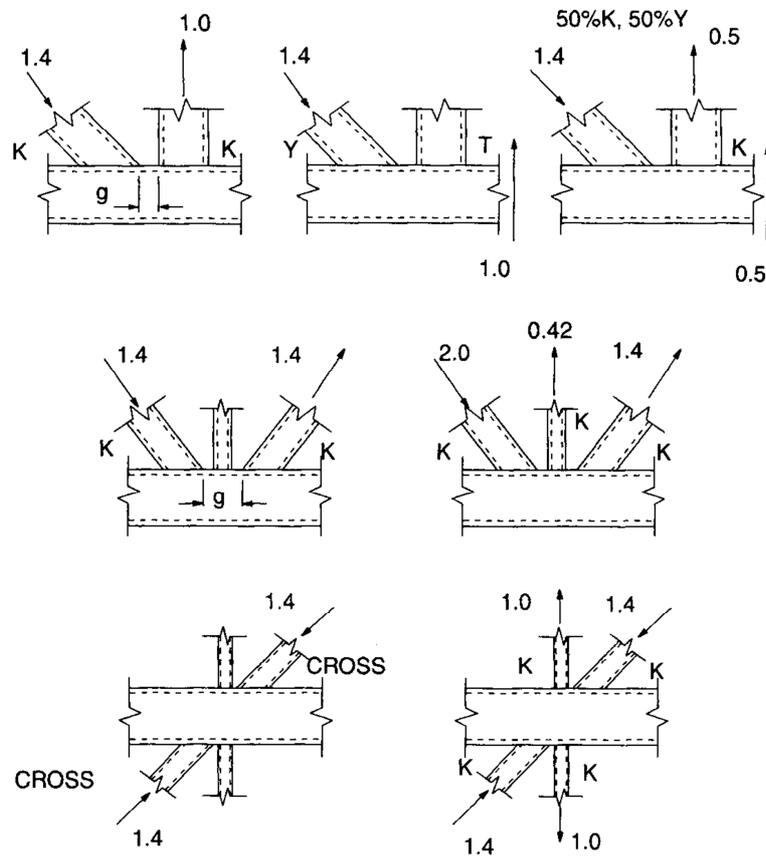


Fig. C9.4-2. Ejemplos de Clasificación de criterios de conexión (todos los miembros están inclinados a 45 grados)

- (3) Colapso general: esto es lo más común en las secciones transversales donde los miembros secundarios están en compresión o en otras situaciones cuando la carga es transferida a través del cordón. El resultado es el aplastamiento del cordón de SET circular o pandeo de la pared del cordón de SET rectangular. Los

critérios de resistência de LA PARED se mostram em nas Seções K1.3, K1.4 y K1.6. Éstos han sido modificados para a presença de dos PAREDES em a SET y los critérios de pandeo han sido expresados em forma adimensional.

- (4) Distribuição desigual de carga: em conexões donde o membro secundário es igual o casi igual al ancho do cordón principal, o incremento em a rigidez de a parede do cordón desde su centro hacia los lados concentra a transferência de fuerza do membro secundário hacia los lados do cordón y podría causar una falla prematura do membro secundário.

Los estados límites son ilustrados em a Figura C9.4-3. Em algunas situaciones, de antemano se puede determinar que un estado límite particular no aplica. Por ejemplo, a plastificación de a parede do cordón no ocurrirá em conexões T de SET rectangular cuando o membro secundário tiene o mismo o casi o mismo ancho que o cordón. Por lo tanto, los rangos de los parámetros son indicados em a Sección 9.4.3b y em a Sección 9.4.3c donde o estado límite no requiere ser verificado o chequeado.

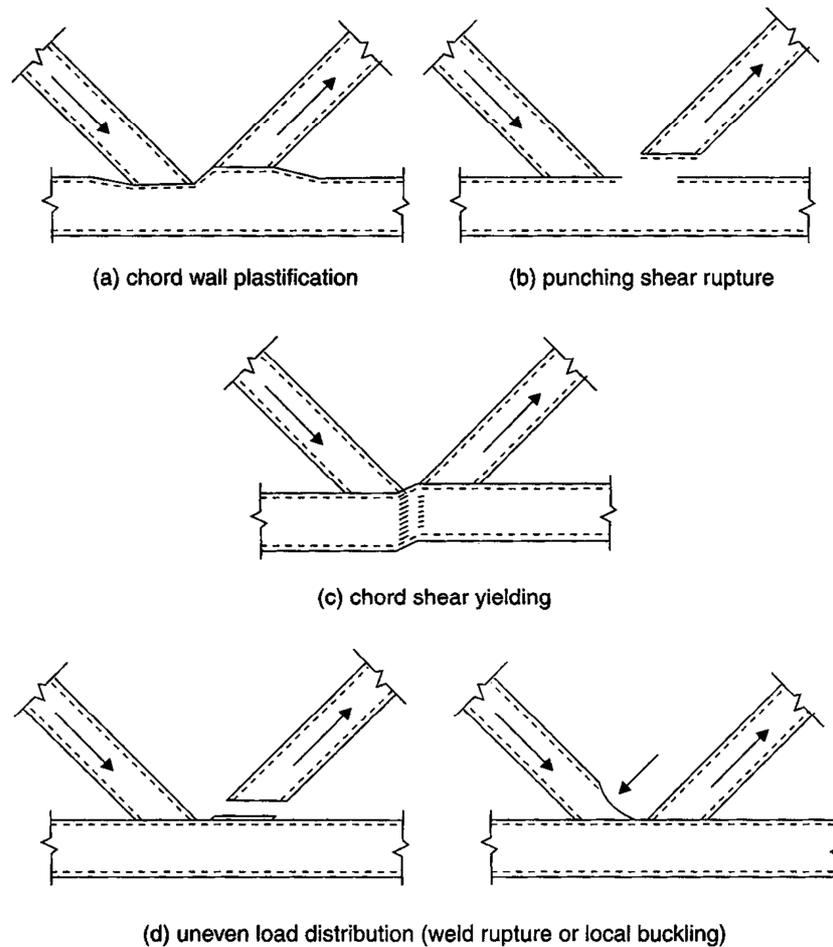


Fig. C9.4-3. Estados Límites em conexões K

En la Sección 9.4.3c, uno de esos límites es tomado de $B_b/B \geq 0.1 + \gamma/50$, el cual está basado en Packer y Henderson (1997). Esto parte de AWS D1.1, que especifica un límite de $\beta_{eff} \geq 0.1 + \gamma/50$.

A partir de los criterios donde un límite sobre la fuerza que puede transmitir un miembro secundario, no siempre es posible desarrollar toda la fuerza del miembro secundario sin reforzar el cordón principal con rigidizadores. Cabe destacar que tal reforzamiento implica una fabricación costosa. Para minimizar el costo, puede ser más conveniente maximizar la eficiencia de la conexión con respecto a la fuerza que puede desarrollar el miembro secundario. Considerar las siguientes sugerencias:

- (1) Los cordones deben ser relativamente gruesos y los miembros secundarios deben ser relativamente delgados. Esto es eficiente para la resistencia de la conexión y los miembros secundarios delgados reduce el requerimiento del tamaño de la soldadura, si la bifurcación está conectada al desarrollo de su resistencia de pared. Estos pueden ser algunos requerimientos para el diseño de los miembros a compresión, debido a su gran tamaño y paredes delgadas se forma un miembro a compresión eficiente. Esto, sin embargo, puede ser perjudicial para la resistencia de la conexión.
- (2) Todos los miembros deben tener valores de D/t o b/t por debajo del límite que los clasifique como secciones de paredes delgadas. Miembros secundarios a tracción son una posible excepción.
- (3) El ángulo entre el miembro secundario y el cordón principal debe ser mayor a 30° . Esto es eficiente para la disposición de la armadura o cercha evitando dificultades en la soldadura y los requerimientos de inspección como también incertidumbres en los criterios de diseño.
- (4) El ancho de los miembros secundarios debe mantenerse más estrecho que el ancho del cordón principal evitando dificultades en los detalles de la soldadura y la inspección en los bordes.
- (5) Las conexiones abiertas o desfasadas son preferiblemente las uniones superpuestas. Aunque estas últimas son más eficientes para la resistencia de la conexión, incrementan el costo de la fabricación debido que aumenta la dificultad en la preparación de la junta, particularmente en SET circulares.

Si la conexión es inadecuada para soportar la resistencia requerida, se puede cambiar el tamaño del cordón principal y los miembros secundarios para mejorar la eficiencia de conexión, ésta puede ser reforzada localmente, o puede usarse una junta. El refuerzo local externo o interno es costoso, cabe destacar que el refuerzo exterior puede no ser satisfactorio desde el punto de vista funcional o estético. Sin embargo, rellenando el cordón con concreto en la proximidad de la conexión es un método de refuerzo de la junta satisfactorio. Las uniones constan de un segmento en la proximidad de la conexión que tiene las mismas dimensiones externas que el

resto del cordón pero un gran espesor de pared. Esto requiere empalmes con soldaduras en los extremos al resto del cordón, el cual puede incrementar el costo de la fabricación. AWS D1.1 contiene provisiones para el diseño de juntas incluyendo longitud requerida.

La Sección 9.4.3c es tomada de AWS D1.1. La carga axial en tracción o en compresión P_{ua} debido a la flexión en miembros de cerchas está sujeta generalmente a un bajo factor de resistencia usado en la flexión en vigas. La definición de c , aunque dada en forma simplificada, es consistente con lo obtenido en AWS D1.1.

10. REQUERIMIENTOS Generales para la Fabricación de SET.

Las provisiones generales para la fabricación, montaje y control de calidad señalados en la Especificación de LRFD Capítulo M son también aplicables a las SET. Adicionalmente, las siguientes inquietudes de SET especificadas son dirigidas:

- (1) Debido a que el interior de una SET es difícil de inspeccionar, se ha expresado cierta inquietud en relación con la corrosión interna. Sin embargo, buenas prácticas de diseño pueden eliminar las inquietudes y la necesidad de una protección amplia.

La corrosión ocurre con la presencia de oxígeno y agua. En una construcción cerrada es probable que no exista suficiente reintroducción de humedad para causar corrosión severa. Por lo tanto, la protección contra corrosión interna es considerada solo cuando las SET están expuestas al agua.

En una SET sellada, la corrosión interna no puede progresar más allá del punto donde se consume el oxígeno o humedad necesaria para la oxidación química (AISC, 1970). La profundidad de la oxidación es insignificante cuando el proceso de corrosión debe detenerse, incluso cuando existe una atmósfera corrosiva al momento del cierre. Si bien existen aberturas en conexiones, la humedad y el aire pueden entrar en la SET a través de la acción capilar o por aspiración debido al vacío parcial que se crea si la SET se enfría rápidamente (Blodgett, 1967). Esto se puede evitar proporcionando la igualación de presión agujeros en lugares que hacen imposible que el agua fluya hacia la SET por gravedad.

Situaciones en las que la práctica conservadora recomendaría una capa protectora interior, abarca: (1) SET abiertas donde los cambios en el volumen de aire por ventilación o el flujo directo de agua es posible; y (2) SET abiertas sometidas a gradientes de temperaturas que puedan causar condensación. En tales casos, también puede ser prudente utilizar un mínimo de espesor de pared de 5/16.

Las SET que son fileteadas o parcialmente fileteadas con concreto no deberán ser selladas. En caso de fuego, el agua en el concreto se evapora y puede crear

una presión suficiente para reventar una SET sellada. Se debe tener cuidado para asegurar que el agua no se quede en la SET durante o después de la construcción, desde la expansión producida por el congelamiento puede crear una presión que sea suficiente para estallar una SET.

Ensamblajes de SET galvanizadas no deben estar cerradas herméticamente, porque los cambios rápidos de presión durante el proceso de galvanizado tienden a reventar los ensamblajes sellados.

- (2) Como resultado de su fabricación, generalmente está presente en la superficie externa de la SET una capa de aceite ligero. Si se especifica que debe aplicarse una pintura, la SET debe ser limpiada de esta capa de aceite con un disolvente adecuado; ver el *Steel Structures Painting Manual* (SSPC, 1991)
- (3) Para evitar la contaminación de la soldadura, la capa de aceite que generalmente se presenta después de la fabricación de la SET debe ser eliminado con un disolvente adecuado en los lugares donde se llevara a cabo la soldadura. En casos en que un revestimiento exterior se ha aplicado de fábrica , el revestimiento se debe quitar en el lugar de la soldadura o el fabricante debe ser consultado respecto a la idoneidad de la soldadura en presencia del recubrimiento.