CONTENIDO GENERAL

CAPÍTULO 1 12
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 12
1-1. Planteamiento del problema 12
1-2. Objetivo de la investigación 13
1-2.1. Objetivo General 13
1-2.2. Objetivos Específicos 13
1-3. Justificación 13
1-4. Alcances y limitaciones 14
1-5. Antecedentes de la investigación 14
CAPÍTULO 2 16
MARCO DE REFERENCIA CONCEPTUAL 16
2-1. Definición de Tubos Estructurales. 16
2-2. Ventajas de las SET 16
2-3. Propiedades del Acero 17
2-4. Diseño de Conexiones 18
2-5. Tipos de Conexiones entre SET y Cerchas 19
2-6. Tipos de Juntas 21
2-7. Tipos de Soldaduras 22
2-8. Consideraciones de Soldadura para Secciones Tubulares (SET) 24
2-9. Cerchas o Celosías 25
2-10. Cerchas Tipo Howe 25
2-11. Cerchas Tipo Pratt 26
2-12. Cercha Tipo Warren 27
2-13. Plantillas para el Corte de las SET 28
2-14. Métodos para la Elaboración de la Plantilla 28
2-14.1 Método Gráfico 28
2-14.2 Método Analítico 30

2-15. Ensamblaje 32
2-16. Elementos de Refuerzo 33
2-16.1 Cartelas 33
2-16.2 Camisas o Collares 35
CAPÍTULO 3 37
MARCO METODOLÓGICO 37
3-1. Tipo de investigación 37
3-2. Diseño de la investigación 37
3-3. Procedimiento 38
3-4. Fases de la investigación 40
3-5. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de datos 40
CAPÍTULO 4 41
DIMENSIONES Y PROPIEDADES MECÁNICAS Y GEOMÉTRICA DE LOS SET 41
4-1. Dimensiones y Propiedades Estáticas de los Tubos Estructurales CONDUVEN ECO 41
4-1.1. Sección circular 41
4-1.2. Sección Cuadrada 42
4-1.3. Sección Rectangular 42
4-2. Propiedades estáticas para el Diseño Estructural 46
4-2.1. Manual de Diseño de Estructuras de Acero con Perfiles Tubulares. 46
4-2.2. Fórmulas que toman en cuenta el radio de las esquinas y el espesor total 50
CAPITULO 5 54
PROCEDIMIENTO DE DISEÑO 54
5-1. Consideraciones Generales 54
5-2. Procedimiento de Diseño (de acuerdo con el AISC LRFD-HSS) 54
5-2.1. Límites de Aplicabilidad 54
5-2.2. Miembros solicitados a Tracción 58
5-2.3. Miembros solicitados a compresión. 62
5-2.4. Estados limites 73

CAPITULO 6 84
DISEÑO DE CONEXIONES Y ANALISIS DE RESULTADOS 84
6-1. Características de las Cerchas 84
6-2. Solicitaciones Actuantes 84
6-3. Evaluación de pesos 85
6-4. Fuerzas Axiales. 87
6-5. Diseños de Conexiones Típicas para Cerchas Espaciales con elementos Tubulares. 87
6-5.1. Conexión Típica T–T con cordón principal superior en compresión 88
6-5.2. Conexión típica T-T con cordón principal superior en compresión 94
6-5.3. Conexión típica Y-Y con cordón principal superior en compresión 100
6-5.4. Conexión típica Y-Y con cordón principal superior en compresión 110
6-5.5. Conexión Típica K –K con cordón principal superior en compresión 118
6-5.6. Conexión típica K-K con cordón principal superior en tracción 126
6-6. Análisis de resultados 133
CAPITULO 7 137
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 137
Conclusiones 137
Recomendaciones 138
BIBLIOGRAFÍA 140

CONTENIDO DE TABLAS

TABLA 2- 1. VALORES MÍNIMOS DE RESISTENCIA SEGÚN ASTM A500 17
TABLA 2- 2. PROPIEDADES DE INTERÉS 18
TABLA 2- 3.ESPESOR MÍNIMO DE LA GARGANTA EFECTIVA DE LA SOLDADURA DE RANURA DE PENETRACIÓN PARCIAL 22
TABLA 2- 4.TAMAÑO MÍNIMO DE LA SOLDADURA DE FILETE 23
TABLA 2- 5. RESISTENCIA A LA SOLDADURA 24
TABLA 2- 6. PROPIEDADES DE LOS ÁNGULOS POLARES PARA 12 POSICIONES 31
TABLA 2- 7.PROPIEDADES DE LOS ÁNGULOS POLARES PARA 16 POSICIONES 31

TABLA 4- 1. DIMENSIONES NOMINALES DE PERFILES TUBULARES CONDUVEN ECO SECCIÓN CIRCULAR. SEGÚN EL ASTM 500/A 500M-07 43
TABLA 4- 2.DIMENSIONES NOMINALES DE PERFILES TUBULARES CONDUVEN ECO SECCIÓN CUADRADA SEGÚN ASTM 500/1 500M-07 44
TABLA 4- 3. DIMENSIONES NOMINALES DE PERFILES TUBULARES CONDUVEN ECO SECCIÓN RECTANGULAR. SEGÚN ASTM 500/A 500M-07 45
TABLA 4- 4. PROPIEDADES ESTÁTICAS DE PERFILES TUBULARES CONDUVEN ECO. SECCIÓN CIRCULAR 47
TABLA 4- 5. PROPIEDADES ESTÁTICAS DE PERFILES TUBULARES CONDUVEN ECO. SECCIÓN CUADRADA 48
TABLA 4- 6. PROPIEDADES ESTÁTICAS DE PERFILES TUBULARES CONDUVEN ECO. SECCIÓN RECTANGULAR. 49
TABLA 4- 7. PROPIEDADES ESTÁTICAS DE PERFILES TUBULARES CONDUVEN ECO. SECCIÓN RECTANGULAR. CONSIDERANDO EL RADIO DE LAS ESQUINAS. 51
TABLA 4- 8. .PROPIEDADES ESTÁTICAS DE PERFILES TUBULARES CONDUVEN ECO. SECCIÓN CIRCULAR. CONSIDERANDO EL RADIO INTERNO Y EXTERNO. 52
TABLA 4- 9.PROPIEDADES ESTÁTICAS DE PERFILES TUBULARES CONDUVEN ECO. SECCIÓN CUADRADA. CONSIDERANDO EL RADIO DE LAS ESQUINAS. 53

TABLA 5- 1.CAPACIDAD DE MIEMBROS A TRACCIÓN CONDUVEN ECO- SECCIÓN RECTANGULAR. 59
TABLA 5- 2.CAPACIDAD DE MIEMBROS A TRACCIÓN CONDUVEN ECO- SECCIÓN CUADRADA 60
TABLA 5- 3. CAPACIDAD DE MIEMBROS A TRACCIÓN CONDUVEN ECO- SECCIÓN CIRCULAR 61
TABLA 5- 4.LÍMITES DE LA RELACIÓN ANCHO-ESPESOR DE LOS ELEMENTOS COMPRIMIDOS PARA PERFILES TUBULARES SEGÚN ESPECIFICACIONES ANSI/AISC 360-05 64
TABLA 5- 5. RELACIÓN DE ESBELTEZ DE LOS PERFILES CONDUVEN ECO SEGÚN EL AISC 65
TABLA 5- 6. CAPACIDAD DE MIEMBROS A COMPRESIÓN CONDUVEN ECO- SECCIÓN CUADRADA 70
TABLA 5- 7. CAPACIDAD DE MIEMBROS A COMPRESIÓN CONDUVEN ECO- SECCIÓN CIRCULAR. 70
TABLA 5- 8. CAPACIDAD DE MIEMBROS A COMPRESIÓN CONDUVEN ECO- SECCIÓN RECTANGULAR 71

TABLA 6- 1.COMBINACIONES DE CERCHAS ESPACIALES TIPO PRATT 86
TABLA 6- 2. COMBINACIONES DE CERCHAS ESPACIALES TIPO HOWE 86
TABLA 6- 3.COMBINACIONES DE CERCHAS ESPACIALES TIPO WARREN 87
TABLA 6- 4. COMBINACIONES DE CERCHAS PLANAS 87
TABLA 6- 5. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS PARA SECCIONES CUADRADAS CONDUVEN ECO 89
TABLA 6- 6. FUERZAS AXIALES TOTALES CONEXIÓN T-T 90
TABLA 6- 7. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS PARA SECCIONES CIRCULARES CONDUVEN ECO 96
TABLA 6- 8. FUERZAS AXIALES TOTALES CONEXIÓN T-T 96
TABLA 6- 9.PROPIEDADES GEOMÉTRICAS PARA SECCIONES CUADRADAS CONDUVEN ECO 102
TABLA 6- 10.FUERZAS AXIALES TOTALES CONEXIÓN Y-Y 102
TABLA 6- 11. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS PARA SECCIONES CIRCULARES CONDUVEN ECO 112
TABLA 6- 12.FUERZAS AXIALES TOTALES CONEXIÓN Y-Y 112
TABLA 6- 13. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS PARA SECCIONES CIRCULARES CONDUVEN ECO 120
TABLA 6- 14. FUERZAS AXIALES TOTALES CONEXIÓN K-K 120
TABLA 6- 15. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS PARA SECCIONES CUADRADAS CONDUVEN ECO 127
TABLA 6- 16.FUERZAS AXIALES TOTALES CONEXIÓN K-K 127

CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 2- 1. CONEXIÓN TIPO T 19
ILUSTRACIÓN 2- 2. CONEXIÓN TIPO Y 20
ILUSTRACIÓN 2- 3. CONEXIÓN TIPO K 20
ILUSTRACIÓN 2- 4. CONEXIONES MULTIPLANOS 21
ILUSTRACIÓN 2- 5. TIPOS DE JUNTA 21
ILUSTRACIÓN 2- 6.CERCHA HOWE TRIANGULAR 25
ILUSTRACIÓN 2- 7.CERCHA HOWE HORIZONTAL 26
ILUSTRACIÓN 2- 8.CERCHA PRATT TRIANGULAR 26
ILUSTRACIÓN 2- 9.CERCHA PRATT HORIZONTAL 27
ILUSTRACIÓN 2- 10.CERCHA WARREN 27
ILUSTRACIÓN 2- 11.MÉTODO GRAFICO 29
ILUSTRACIÓN 2- 12.PLANTILLA PARA CONEXIÓN TIPO T 29
ILUSTRACIÓN 2- 13.PLANTILLA PARA CONEXIÓN TIPO Y 30
ILUSTRACIÓN 2- 14.ORDEN DE ENSAMBLAJE 32
ILUSTRACIÓN 2- 15.UNIÓN DE MIEMBROS A TRACCIÓN Y COMPRESIÓN AL CORDÓN PRINCIPAL 32
ILUSTRACIÓN 2- 16.CARTELA SOLDADA PARA PROPORCIONAR LONGITUD ADICIONAL DE SOLDADURA DE FILETE A LAS SET. 33
ILUSTRACIÓN 2- 17.CARTELA QUE PERMITE TRANSMITIR TODA LA CARGA AL MIEMBRO PRINCIPAL 34
ILUSTRACIÓN 2- 18.CARTELA SOLDADA QUE PROPORCIONA FUERZA A TRAVÉS DEL CORDÓN PRINCIPAL CUANDO OTROS MIEMBROS ESTÁN CONECTADOS A LOS LADOS DEL MISMO. 35
ILUSTRACIÓN 2- 19.CORDÓN PRINCIPAL AL QUE SE CONECTAN DISTINTOS MIEMBROS SECUNDARIOS 35
ILUSTRACIÓN 2- 20.CAMISA O COLLAR QUE AUMENTA EL ESPESOR DEL MIEMBRO PRINCIPAL CUANDO ESTE NO ES ADECUADO. 36
ILUSTRACIÓN 2- 21.CONCENTRACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ESFUERZOS EN CONEXIONES EN LAS SET. 36

ILUSTRACIÓN 4- 1. SECCIÓN CIRCULAR 41
ILUSTRACIÓN 4- 2. SECCIÓN CUADRADA 42
ILUSTRACIÓN 4- 3. SECCIÓN RECTANGULAR. 42

ILUSTRACIÓN 6- 1. GEOMETRÍA CERCHA ESPACIAL. COMBINACIÓN TIPO PRATT. (6-5.1) 88
ILUSTRACIÓN 6- 2. VISTA LATERAL GEOMETRÍA TIPO PRATT. (6-5.1) 88
ILUSTRACIÓN 6- 3. VISTA FRONTAL. PERFILES CONDUVEN ECO ADOPTADOS. (6-5.1) 89
ILUSTRACIÓN 6- 4. CONEXIÓN TIPO T. SET CUADRADA. (6-5.1) 90
ILUSTRACIÓN 6- 5. GEOMETRÍA CERCHA ESPACIAL. COMBINACIÓN TIPO PRATT. (6-5.2) 94
ILUSTRACIÓN 6- 6. VISTA LATERAL GEOMETRÍA TIPO PRATT. (6-5.2) 95
ILUSTRACIÓN 6- 7. CONEXIÓN TIPO T. SET CIRCULAR. (6-5.2) 97
ILUSTRACIÓN 6- 8. GEOMETRÍA CERCHA ESPACIAL. COMBINACIÓN TIPO HOWE. (6-5.3) 100
ILUSTRACIÓN 6- 9. VISTA LATERAL. GEOMETRÍA TIPO HOWE. (6-5.3) 101

ILUSTRACIÓN 6- 10. VISTA FRONTAL. PERFILES CONDUVEN ECO ADOPTADOS. (6-5.3)....101
ILUSTRACIÓN 6- 11. CONEXIÓN TIPO Y1. SET RECTANGULAR. (6-5.3)....103
ILUSTRACIÓN 6- 12. CONEXIÓN TIPO Y2. SET RECTANGULAR. (6-5.3)....107
ILUSTRACIÓN 6- 13. GEOMETRÍA CERCHA ESPACIAL. COMBINACIÓN TIPO HOWE. (6-5.4)....110
ILUSTRACIÓN 6- 14. VISTA LATERAL. GEOMETRÍA TIPO HOWE. (6-5.4)....111
ILUSTRACIÓN 6- 15. VISTA FRONTAL. PERFILES CONDUVEN ECO ADOPTADOS. (6-5.4)....111
ILUSTRACIÓN 6- 16. CONEXIÓN TIPO Y1. SET CIRCULAR. (6-5.4)....113
ILUSTRACIÓN 6- 17. CONEXIÓN TIPO Y2. SET CIRCULAR. (6-5.4)....116
ILUSTRACIÓN 6- 18. GEOMETRÍA CERCHA ESPACIAL. COMBINACIÓN TIPO HOWE. (6-5.5)....118
ILUSTRACIÓN 6- 19. VISTA LATERAL. GEOMETRÍA TIPO HOWE. (6-5.5)....119
ILUSTRACIÓN 6- 20. VISTA FRONTAL. PERFILES CONDUVEN ECO ADOPTADOS. (6-5.5)....119
ILUSTRACIÓN 6- 21. CONEXIÓN TIPO K. SET CUADRADA. (6-5.5)....121
ILUSTRACIÓN 6- 22. GEOMETRÍA CERCHA ESPACIAL. COMBINACIÓN TIPO WARREN. (6-5.6)....126
ILUSTRACIÓN 6- 23. VISTA LATERAL. GEOMETRÍA TIPO WARREN. (6-5.6)....126
ILUSTRACIÓN 6- 24. VISTA FRONTAL. PERFILES CONDUVEN ECO ADOPTADOS. (6-5.6)....126
ILUSTRACIÓN 6- 25. CONEXION TIPO K1. SET CUADRADA. (6-5.6)....128
ILUSTRACIÓN 6- 26.CONEXION TIPO K2. SET CUADRADA. (6-5.6)....129

DISEÑO DE CONEXIONES TÍPICAS PARA CERCHAS ESPACIALES CON ELEMENTOS TUBULARES

Trabajo Especial de Grado

Autores:

Br. Johanna Maldonado / Br. Germán Pinto

Tutor:

Ing. José Manuel Velásquez

Octubre 2012

SINOPSIS

En nuestro país cada día ha aumentado el uso de cerchas espaciales, ya sea por las exigencias de un determinado proyecto, o por los beneficios y ventajas que tiene este sistema estructural. Una cercha es un sistema estructural que distribuye las cargas a los soportes por una disposición lineal de varios miembros colocados en un solo plano. Una característica fundamental del sistema estructural de cercha es la flexibilidad de los diseños, ya que permite la ubicación de las paredes internas en un área totalmente libre sin apoyo intermedio, permitiendo remodelaciones futuras sin comprometer la estructura de la edificación. Por otro lado proporciona una solución práctica y económica debido a la ligereza en cuanto al peso y a su gran resistencia, además es una solución estética de gran importancia ya que estas adquieren elegancia con una transparencia visual y un cuerpo sin obstrucciones.

El diseño de conexiones en estructuras de acero, resulta ser uno de los factores de mayor importancia en el diseño de las estructura, ya que se ha determinado a través de los criterios de diseño desarrollados con base a resultados experimentales, que la inadecuada ejecución podría ser la causa de la posible falla parcial o total de la estructura.

El uso de miembros tubulares para el diseño de conexiones típicas en cerchas espaciales es un proceso que demanda cuidado y dedicación, ya que requiere tiempo para los cálculos y verificaciones necesarias, tomando en cuenta que el comportamiento de las conexiones para perfiles tubulares en general no tiene análisis teórico.

Por tales motivos, se consideró como objetivo principal de este Trabajo Especial de Grado el ***Diseñar Conexiones Típicas para Cerchas Espaciales con Miembros Tubulares de Acero***. Para el cumplimiento de este objetivo, la investigación se definió como *Analítica* basada en la descripción y verificación de las consideraciones establecidas por las especificaciones LRFD (*Load and Resistance Factor Design for Steel Hollow Structural Sections*) correspondiente a Marzo de 2005 y a la 24 ^{va} edición de la Guía de Diseño Hollow Structural Secctions Connections del año 2010, ambas del *American Institute of Steel Construction,* (AISC), así bibliografías especializadas en el tema, con el fin de determinar los parámetros que deben ser tomados en cuenta para el diseño de conexiones típicas en cerchas espaciales con perfiles tubulares.

Finalmente el lector obtendrá una valiosa herramienta, que proporciona ejemplos de conexiones típicas, adaptados a los perfiles Conduven ECO, fabricados en Venezuela, siguiendo las especificaciones LRFD.

Palabras Claves: Conexiones, cerchas espaciales, sección estructural tubulares.

INTRODUCCIÓN

El uso de miembros tubulares para el diseño de conexiones típicas en cerchas, requiere una serie de cálculos y verificaciones necesarias, ya que el comportamiento en las conexiones para secciones tubulares regularmente es una actividad compleja, no siendo posible el análisis teórico, es por ello que se hace necesario un estudio analítico, comprobando el cumplimiento de los parámetros establecidos por las normas correspondientes.

Este Trabajo Especial de Grado (TEG), tiene como objetivo principal DISEÑAR CONEXIONES TIPICAS PARA CERCHAS ESPACIALES CON MIEMBROS TUBULARES DE ACERO, cuya apariencia estética es una de las ventajas de estas estructuras; no insistiendo en el uso de planchas, pernos, entre otros, para el desarrollo de los ejemplos presentados en la investigación, ya que estos disminuyen su perfección, limpieza y atractivo visual de los acabados, siendo el enfoque principal las soldaduras.

Para un mayor entendimiento del contenido, estructuramos este trabajo especial de grado de la siguiente forma:

- ***Capítulo 1***, el planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos, la justificación para el avance de este trabajo, los alcances y limitaciones, así como 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.

- ***Capítulo 2***, marco de referencia conceptual, el cual contiene una serie de elementos conceptuales relacionados a la base de la investigación, con la finalidad de familiarizar al lector con el TEG.

- ***Capítulo 3,*** marco metodológico, donde se describen los procedimientos realizados, para lograr los objetivos planteados, facilitando al lector seguir un orden cronológico del proceso de investigación.

- ***Capítulo 4,*** dimensiones y propiedades geométricas y mecánicas de las SET (SET: Sección Estructural Tubular lo que las especificaciones LRFD denomina HSS: Hollow Structural Sections), se describen los tipos de SET, se ilustran las tablas de dimensiones de los perfiles existentes actualmente en Venezuela y las tablas de propiedades mecánicas y geométricas, de los elementos tubulares, considerando distintos criterios.

- ***Capítulo 5,*** procedimientos de diseño, se detallan de manera genérica el procedimiento de diseño en conexiones típicas para cerchas espaciales, clasificándolo según el tipo de SET (circulares, rectangulares y cuadradas) y le tipo de conexión (K, T, Y y CRUZ)

- ***Capítulo 6,*** diseño de conexiones, se presenta distintos ejemplos de conexiones en cerchas espaciales, con elementos tubulares, ilustrando cada modelo con una explicación detallada, de las consideraciones que se deben tomar en cuenta al momento del diseño, para garantizar la eficiencia de la estructura. También se indican los análisis de resultados obtenidos de los ejemplos realizados.

- ***Capítulo 7,*** conclusiones alcanzadas, luego del desarrollo de este trabajo de investigación, partiendo de los objetivos planteados al inicio, conjuntamente se presentan recomendaciones para futuros trabajos relacionados con este tema.

Adicionalmente, se incluyen las referencias bibliográficas consultadas para el desarrollo del presente trabajo, a su vez se anexará un CD con las especificaciones *Load and Resistance Factor Design for Steel Hollow Structural Sections*, ANSI/AISC 360-05, en sus versiones inglés y español.

CAPÍTULO 1
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1-1. Planteamiento del problema

Uno de los factores de mayor importancia en las estructuras de acero, es el diseño de las conexiones, debido a que se ha determinado a través de resultados experimentales que la ejecución inadecuada de las conexiones puede ser causa de la falla parcial o total de la estructura.

Basado en lo anterior se deben analizar de forma meticulosa las posibles fallas que puedan producirse en los miembros y soldaduras, por lo que se deben diseñar dichas conexiones de manera tal que sean capaces de resistir las solicitaciones a las cuales están siendo sometidas, cuyo diseño, por razones conceptuales y de comportamiento no está especificado en la norma venezolana "COVENIN MINDUR 1618:1998 "*Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Limites*".

Las especificaciones *Load and Resistance Factor Design for Steel Hollow Structural Sections ANSI/AISC 360-05* están dirigidas al diseño de secciones con estructuras tubulares (circulares, cuadradas y rectangulares), donde la mayor complejidad en cuanto a corte, soldaduras y ensamblajes se encuentra en el caso de las secciones estructurales tubulares circulares. Aunque en el caso de cerchas no es de gran relevancia, es importante resaltar que estas especificaciones, no contemplan solicitaciones debidas a fatiga ni viento.

1-2. Objetivo de la investigación

1-2.1. Objetivo General

Diseñar conexiones típicas para cerchas espaciales con elementos tubulares de acero.

1-2.2. Objetivos Específicos

- Verificación de las bibliografías y normas existentes relacionadas con el diseño de conexiones típicas para cerchas con elementos tubulares de acero.

- Comprobar que los perfiles Conduven ECO fabricados en Venezuela cumplen con los requisitos establecidos en las especificaciones *Load and Resistance Factor Design for Steel Hollow Structural Sections*del, ANSI/AISC 360-05.

- Desarrollar procedimientos de diseño de conexiones con elementos tubulares en cerchas espaciales, de acuerdo con las especificaciones *Load and Resistance Factor Design for Steel Hollow Structural Sections,* apoyados en la Guía #24 de Diseño *Hollow Structural Section Connections,* ambas del AISC, con actualizaciones en los años 2005 y 2010 respectivamente.

- Desarrollar ejemplos con diseños de conexiones típicas para cerchas espaciales con secciones tubulares, aplicando las especificaciones *Load and Resistance Factor Design for Steel Hollow Structural Sections*, la Guía #24 de Diseño *Hollow Structural Section Connections* del AISC, utilizando perfiles Conduven ECO.

1-3. Justificación

El diseño de las conexiones en estructuras de acero para cerchas, exige un estudio y análisis riguroso, principalmente en el caso de Secciones Estructurales Tubulares (SET)

circulares, ya que esto representa la intersección de superficies curvas, lo cual amerita especial cuidado 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, no se toman en consideración, pues minimizan la apariencia estética y limpieza de la conexión.

El uso de este tipo de secciones se ha incrementado a través del tiempo por razones de estética y limpieza, debido a que sus caras lisas permiten hacer uniones indirectas tubo a tubo añadiendo versatilidad en el diseño y belleza en los acabados.

Por lo tanto, sería de gran utilidad para el ingeniero contar con ejemplos de conexiones típicas en cerchas espaciales, con perfiles estructurales Conduven ECO (únicos actualmente en Venezuela), basándose en las especificaciones *Load and Resistance Factor Design for Steel Hollow Structural Sections*, ANSI/AISC 360-05, tomando en cuenta que la normativa venezolana no contempla el diseño de conexiones.

1-4. Alcances 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 el únicamente los siguientes aspectos en cuanto al diseño:

- Conexiones con elementos tubulares de acero para cerchas espaciales (combinaciones de cerchas planas tipo Pratt, Howe y Warren)
- Diseños utilizando perfiles Conduven ECO
- Conexiones soldadas:
  - ✓ Soldadura de filete y soldadura de ranura

1-5. Antecedentes de la investigación

Como antecedente principal se encuentra el Trabajo Especial Grado de María González y Victoria Osteicoechea (2010) el cual lleva por título, *Diseño de conexiones típicas*

para cerchas con elementos tubulares; como herramienta para su trabajo realizaron la Versión en Español de las especificaciones "*Load and Resistance Factor Design for Steel Hollow Structural Sections*".

Otro antecedente es el Trabajo Especial de Grado de Renate Aiquel y Samantha Fernandez (2003) el cual lleva por título, *Criterios de Diseño para Elementos de Acero con Sección Tubular*; en el cual realizaron un estudio preliminar acerca del uso de Secciones Estructurales Tubulares en diferentes estructuras y edificaciones, tomando en cuenta el Método de los Estados Limites referido a las especificaciones *Load and Resistance Factor Design for Steel Hollow Structural Sections*, incluyendo además el Capítulo 23 sobre Soldaduras de la Norma COVENIN MINDUR 1618:1998 " *Estructuras de Acero para Edificaciones. Métodos de los Estados Limites*".

CAPÍTULO 2
MARCO DE REFERENCIA CONCEPTUAL

En el presente capitulo 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, yal como una breve reseña sobre el tipo de secciones a emplear, tipos de conexiones, referencias de diversos estilos de cerchas y orden de ensamblaje requerido para la culminación de la conexión entre los múltiples miembros.

2-1. Definición de Tubos Estructurales.

Los tubos estructurales Conduven ECO son perfiles tubulares formados en frio con costura longitudinal, fabricados con acero estructural de alta resistencia ASTM A572 Grado 50, siguiendo principalmente las especificaciones ASTM A500 Grado C.

Las Secciones Estructurales Tubulares (SET) 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.

2-2. Ventajas de las SET

- ✓ **Apariencia Estética**

  Presentan un aspecto muy apropiado. El acabado de las SET se hace atractivo para el usuario por lo que pueden ser exhibidas en su totalidad, siempre y cuando las conexiones sean soldadas ya que estas generan mejor impacto visual.

✓ **Minimización del Área Superficial**

Las secciones cerradas, debido su forma regular de caras lisas y esquinas redondeadas, permiten aplicar fácilmente pinturas, son cómodas para la limpieza y los detalles del acabado reduciendo en gran medida cualquier tipo de desperdicios.

2-3. Propiedades del Acero

(Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares, 2011)

En concordancia con los lineamientos establecidos en la norma venezolana COVENIN 1618 -1998, los valores a emplear en el diseño de la tensión de cedencia (F_y) y resistencia de agotamiento a la tracción (F_u), serán los mínimos valores especificados en las correspondientes normas y especificaciones de los materiales considerados.

TABLA 2- 1. Valores Mínimos de Resistencia según ASTM A500

Perfil Tubular	Grado	F_y (kgf/ cm^2)	F_u (kgf/ cm^2)
Circular	A	2.320	3.170
	B	2.955	4.080
	C	3.230	3.360
Cuadrado / Rectangular	A	2.740	3.170
	B	3.230	4.080
	C	3.515	4.360

Fuente: (Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares, 2011)

TABLA 2- 2. Propiedades de Interés

Módulo de elasticidad	**$E = 2{,}1 \times 10^6$ kgf/ cm^2**
Módulo de corte	**$G = 0{,}808 \times 10^6$ kgf/ cm^2**
Coeficiente de Poisson	**□ = 0,30**
Peso unitario	**$\rho = 7.850$ kgf/ m^3**
Coeficiente de dilatación térmica lineal	**□ = 11,7 x 10^6 / ^{o}C**

Fuente:(Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares, 2011)

2-4. Diseño de Conexiones

La capacidad de toda estructura metálica está basada principalmente en la resistencia de sus conexiones. Por esta razón se debe tener precaución al momento de modelarlas, diseñarlas y construirlas, debido a que las mismas se encargan de distribuir las fuerzas de un miembro a otro generando así estabilidad en el sistema.

Las conexiones regularmente están clasificadas en tres tipos, simples, semirrígidas y rígidas, las cuales serán descritas a continuación:

- ✓ **Conexiones simples o flexibles:** son aquellas que no transmiten momentos de continuidad.
- ✓ **Conexiones semirrígidas**: estas resultan intermedias entre las flexibles y las perfectamente rígidas.
- ✓ **Conexiones rígidas**: esta idealización supone que la conexión tiene suficiente rigidez para mantener inalterado el ángulo original entre los miembros que se interceptan, después de haber aplicado las cargas.

2-5. Tipos de Conexiones entre SET y Cerchas

(Diseño de conexiones típicas para cerchas con elementos tubulares, 2010)

Las conexiones de SET a SET en armaduras, están definidos como conexiones que constan de uno o más miembros, directamente soldados a un cordón continúo que pasa lo largo de las conexiones y se clasifican de la siguiente manera:

- ✓ **Conexión Tipo T**

Es aquella donde la carga tipo punzonada en un miembro secundario, es equilibrada por corte en el cordón principal, y a su vez es perpendicular a este.

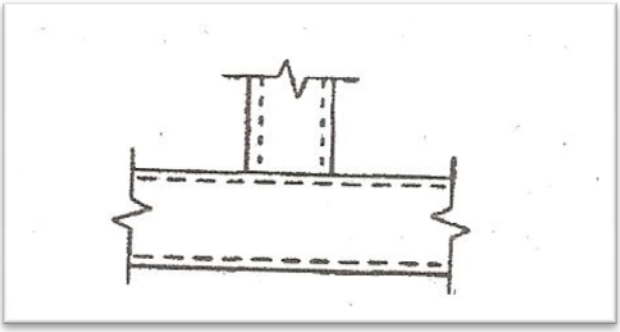


Ilustración 2- 1. Conexión tipo T

Fuente: *(Load and Resistance Factor Design Especification for Steel Hollow Structural Sections, 2005)*

- ✓ **Conexión tipo Y**

Es aquella donde la carga tipo punzonada es un miembro secundario es equilibrada por corte en el cordón principal y cuyo ángulo es diferente a 90° grados.

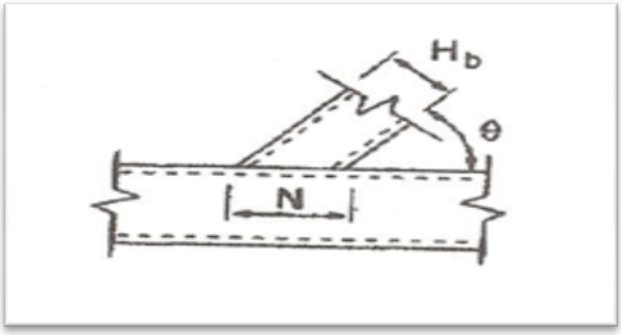


Ilustración 2- 2. Conexión tipo Y

Fuente: *(Load and Resistance Factor Design Especification for Steel Hollow Structural Sections, 2005)*

- ✓ **Conexión tipo K**

Es aquella donde la carga tipo punzada en un miembro secundario estén equilibradas por cargas distribuidas en otros miembros secundarios, ubicados en el mismo lado de la junta.

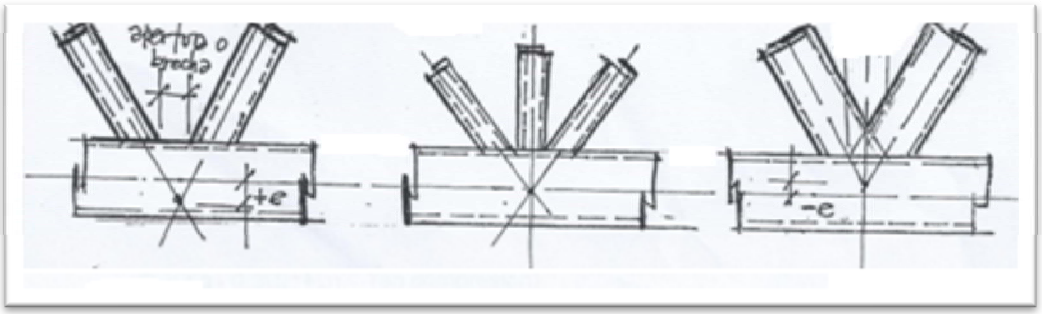


Ilustración 2- 3. Conexión tipo K

Fuente: Elaboración propia

- ✓ **Conexiones Multiplanos**

Este tipo de conexiones se presentan frecuentemente en estructuras tridimensionales, tales como torres, vigas triangulares o cuadrangulares, entre otros. Dependiendo de los tipos de conexiones que se configuren en cada plano se designa como conexiones de tipo KK, TT, YY, entre otros.

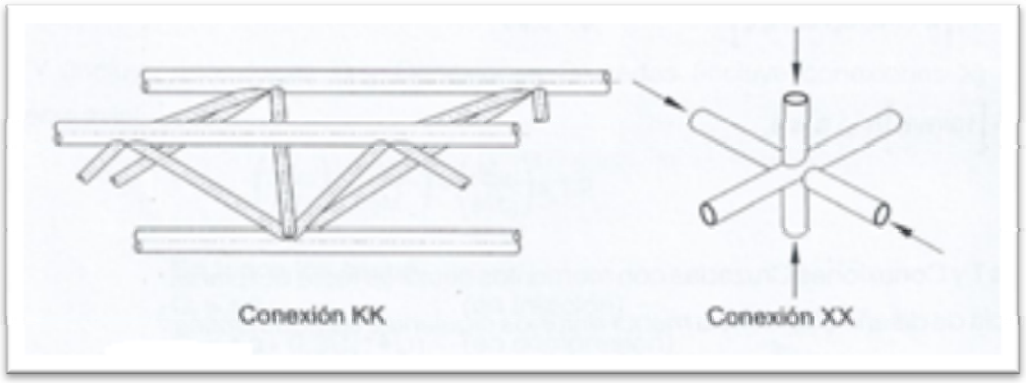


Ilustración 2- 4. Conexiones Multiplanos
Fuente: (Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares, 2011)

2-6. Tipos de Juntas

(Diseño de conexiones típicas para cerchas con elementos tubulares, 2010).

Los tipos más comunes de juntas para los Tubos Estructurales Conduven ECO, las juntas a tope y las juntas en T. Para soldadura entre piezas de bajo espesor la junta puede lograrse sin preparación de extremos, mientras que para espesores hasta 16mm se recomienda el biselado en V de los extremos.

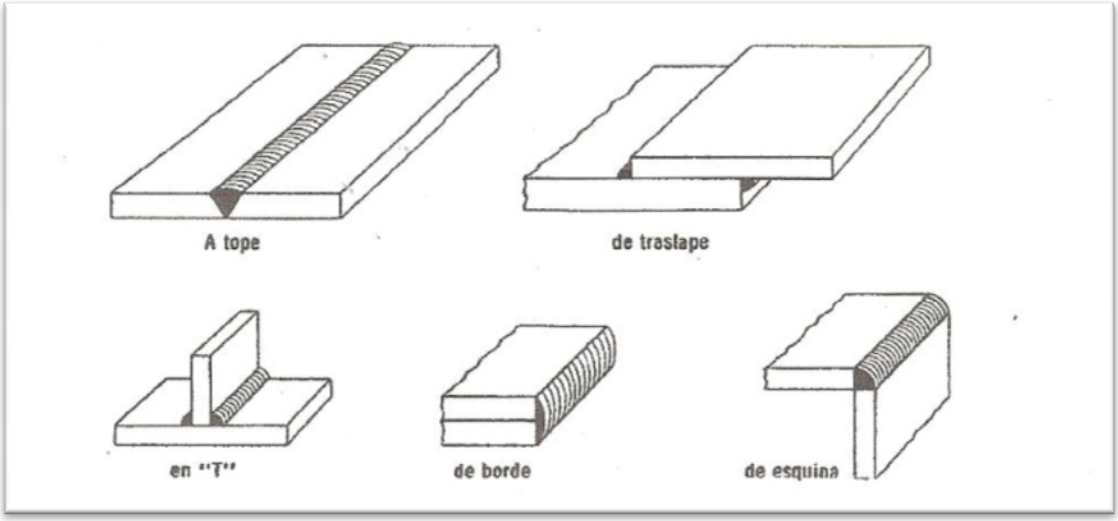


Ilustración 2- 5. Tipos de junta
Fuente: (Proyectos Estructurales de Acero (Primera edición), 1991)

2-7. Tipos de Soldaduras

Los tipos más comunes de soldaduras para los Tubos Estructurales Conduven ECO, son: la soldadura de filete y la soldadura de ranura. La soldadura de filete normalmente es más económica que la soldadura de ranura. Sin embargo, para el caso de los perfiles tubulares, la soldadura de ranura posee gran utilidad y practicidad, debido a que se aprovecha las esquinas redondeadas del perfil, cuadrado y rectangular, y de la forma del circular.

- ✓ **Soldadura de ranura**: Este tipo de soldaduras son de gran utilidad cuando se hacen empalmes entre tubulares y cuando se aprovecha el radio de esquina (zona convexa) del tubular para depositar el material de aporte de la unión ya sea con una plancha o con otro perfil tubular.

El área efectiva de la soldadura de ranura, se considerara como la longitud efectiva de la soldadura de ranura por el espesor de la garganta efectiva, y la máxima longitud de la soldadura de ranura será el ancho total de la parte unida.

TABLA 2- 3.Espesor mínimo de la garganta efectiva de la soldadura de ranura de penetración parcial

Espesor del material de la parte mas gruesa a unir. mm (pulg)	Tamaño minimo 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
De 19 a 398 (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
Mayores de 152 (6")	16

Fuente: (Estructuras de Acero para Edificaciones: Métodos de los Estados Límites (primera revisión), 1998)

- ✓ **Soldadura de filete**: Este tipo de soldadura son de gran utilidad, cuando se requiere unir piezas en T o el refuerzo de la pared de un tubular cuadrado o rectangular y también cuando se requiere reforzar una soldadura se ranura.

  El área efectiva de la soldadura de filete será el producto de la longitud efectiva de la soldadura por el espesor de la garganta efectiva. La tensión en el filete será considerada actuando en el área efectiva, para cualquier dirección de la fuerza aplicada.

TABLA 2- 4.Tamaño mínimo de la soldadura de filete

Espesor del material de la parte mas gruesa a unir. mm (pulg)	Tamaño minimo 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: (Estructuras de Acero para Edificaciones: Métodos de los Estados Límites (primera revisión), 1998)

TABLA 2- 5. Resistencia a la soldadura

Tipo de Soldadura y Tensiones	Material	Factor de Minoración de la resistencia Teorica θ	Resistencia Teorica F_{BM} o F_W	Metal de Aporte Requisitos (a,b)
SOLDADURA DE RANURA DE PENETRACION COMPLETA				
Tracción normal al área efectiva.	Base	0.9	Fy	Se debe utilizar el material de aporte compatible. Ver notas C para requisitos de tenacidad.
Compresión normal al área efectiva Tracción o compresión paralela al eje de la soldaudra	Base	0.9	Fy	Se puede utilizar material de aporte con nivel de resistencia igual o menor al metal de aporte compatible
Cortante sobre el área efectiva	Base	0.9	0,60 Fy	
	Aporte	0.8	0,60 Fexx	
SOLDADURA DE RANURA DE PENETRACION PARCIAL				
Compresión normal al área efectiva Tracción o compresión paralela al eje de la soldaudra	Base	0.9	Fy	Se puede utilizar material de aporte con nivel de resistencia igual o menor al metal de aporte compatiblr
Cortante paralelo al eje de soldadura	Base Soldadura	0.75	0,60 Fexx	
Tracción normal al área efectiva.	Base	0.9	Fy	
	Soldadura	0.8	0,60 Fexx	
SOLDADURA DE FILETE				
Cortante sobre el área efectiva	Base	0.75	0,60 Fexx	Se debe utilizar nivel de resistencia igual o menor al metal de aporte compatible. Ver nota para requisitos de tenacidad
	Soldadura	0.75		
Tracción o compresión paralela al eje de la soldadura	Base	0.9	Fy	

Fuente: (Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares, 2011)

2-8. Consideraciones de Soldadura para Secciones Tubulares (SET)

Las soldaduras abocinadas son las más comunes para realizar juntas con secciones tubulares, debido a la posibilidad de que las esquinas del SET sean parte de la junta soldada.

El arreglo más sencillo para soldaduras se presenta con secciones de igual espesor de pared. Sin embargo, cuando el radio de esquina aumenta, debido al espesor de pared o a las tolerancias de fabricación, puede ser necesario ajustar la configuración de perfil, rellenar con metal de aporte (soldadura) o el uso de acero de respaldo.

Es conveniente destacar que las conexiones entre tubulares (tubo a tubo), poseen diferentes factores que influyen en la resistencia de la unión o conexión, tales como: la soldadura, la falla local por pandeo, colapso general del miembro y el desgarramiento laminar. Por tal motivo, la soldadura en si no es solo el factor que limita la resistencia de la unión o conexión. Por esta razón, deben tomarse en cuenta todos esos factores incluso desde el principio del pre dimensionado de los miembros para el diseño de conexiones tubo a tubo.

2-9. Cerchas o Celosías

Una cercha es una estructura longitudinal, que transporta cargas sobrepuestas a los apoyos. Su eficiencia es mejor que una viga equivalente que lleva la misma carga en el mismo lapso de tiempo, además de ser más ligero. Las cargas viajan a través de los miembros destacando las fuerzas axiales en una sola dirección, a tracción (+) o compresión (-). A continuación presentan las Cerchas típicas:

2-10. Cerchas Tipo Howe

(SimplifiedTruss Design, 1981)

- ✓ **Cercha Howe Triangular:** Se caracterizan por 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.

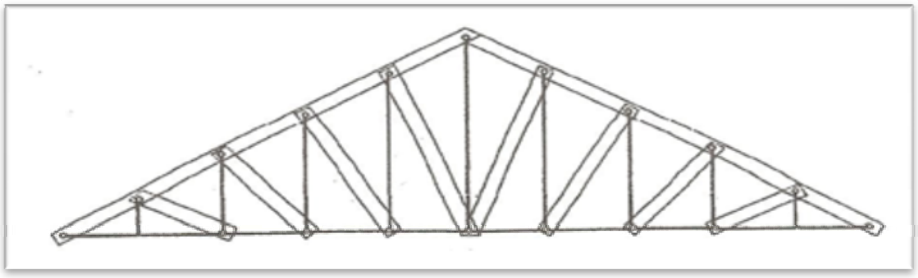


Ilustración 2- 6.Cercha Howe Triangular

Fuente: (SimplifiedTruss Design, 1981)

- ✓ **Cercha Howe Horizontal:** Se caracterizan por que los miembros a tracción entre los dos cordones principales son verticales, mientras que los miembros a compresión diagonales no necesariamente son paralelos entre sí.

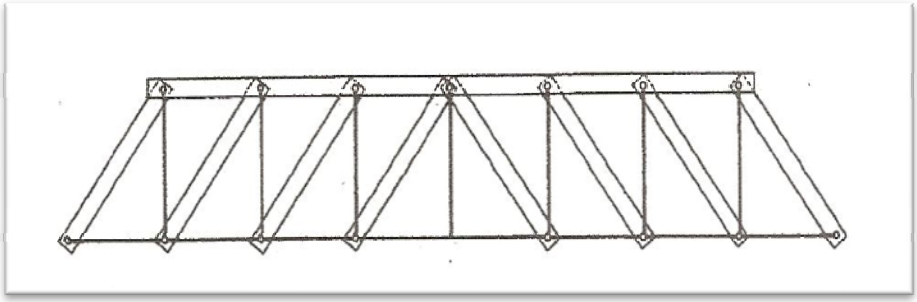


Ilustración 2- 7.Cercha Howe Horizontal

Fuente: (SimplifiedTruss Design, 1981)Cercha tipo Pratt

2-11. Cerchas Tipo Pratt

(SimplifiedTruss Design, 1981)

- ✓ **Cercha Pratt Triangular:** Se caracterizan por que los miembros a compresión entre los dos cordones principales son todos verticales, mientras que los miembros a tracción diagonales no necesariamente son paralelos entre sí.

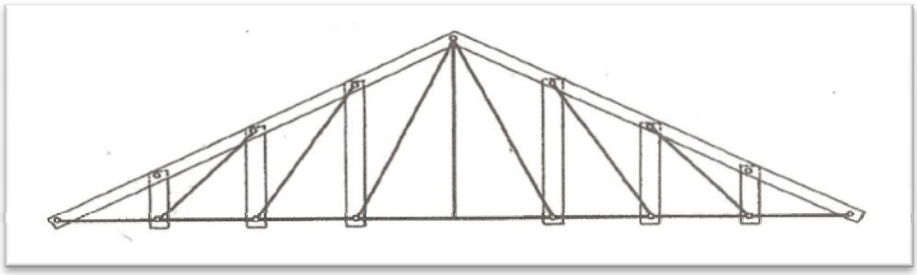


Ilustración 2- 8.Cercha Pratt Triangular

Fuente: (SimplifiedTruss Design, 1981)

- ✓ **Cercha Pratt Horiontal:** Se caracterizan por que los miembros a compresión entre los dos cordones principales son verticales, mientras que los miembros a tracción diagonales son todos paralelos entre sí.

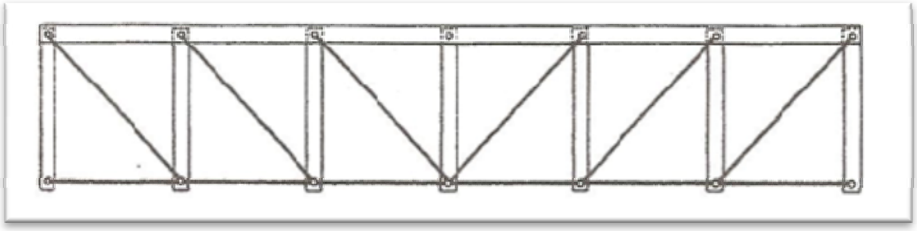


Ilustración 2- 9.Cercha Pratt Horizontal

Fuente: (SimplifiedTruss Design, 1981)

2-12. Cercha Tipo Warren

(SimplifiedTruss Design, 1981)

Se caracterizan por la igualdad de longitud de todos los miembros de la parte inferior y superior, los miembros de compresión y tracción son paralelos entre sí, regularmente los triángulos son de tipo equilátero.

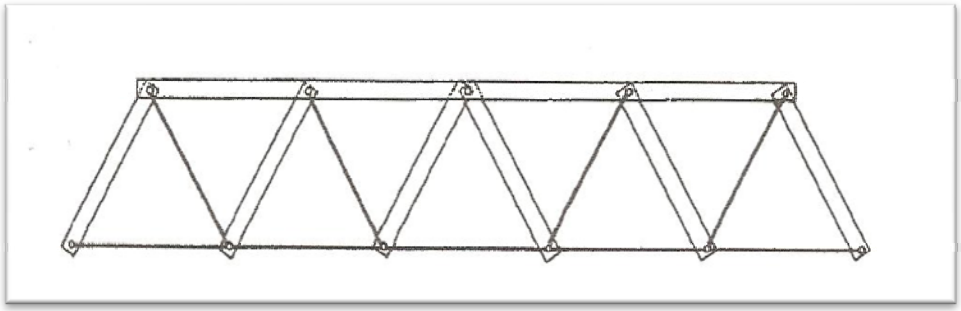


Ilustración 2- 10.Cercha Warren

Fuente: (SimplifiedTruss Design, 1981)

2-13. Plantillas para el Corte de las SET

Cuando se realiza el modelado de las SET circulares, se requiere un mayor trabajo ya que estas no presentan una superficie plana; por tal motivo es necesaria la implementación de plantillas que definan el trazado de la curva por donde será cortado el perfil tubular, para así lograr un buen ensamblaje de la junta, mejor fijación y por consiguiente un funcionamiento óptimo.

Las plantillas se ubican alrededor del perfil a que será cortado y se transcriben en el miembro realizando las marcas generalmente con tiza; posteriormente se realiza el corte al tubo mediante un soplete obteniendo así la curva adecuada para la conexión.

2-14. Métodos para la Elaboración de la Plantilla

Existen dos métodos que permiten elaborar la platilla, los cuales abarcan todas las conexiones posibles en cualquier ángulo de posición y cualquier combinación de SET.

2-14.1 Método Gráfico

- ✓ Dibujar una vista lateral de la conexión, (ilustración 2-11)
- ✓ Dibujar una vista en un extremo de la conexión,(ilustración 2-11)
- ✓ Dividir el Tubo "A" en partes iguales y enumerarlas. Dibujar líneas desde cada punto paralelas al eje del Tubo "A".
- ✓ Donde las líneas paralelas al Tubo "A" intercepten al Tubo "B", como en la ilustración 2-11 marcar el punto D.
- ✓ Desde el punto D, dibujar líneas paralelas al eje del tubo más grande "B".
- ✓ Donde estas líneas paralelas al eje del Tubo "B" intercepten las líneas paralelas correspondientes al Tubo "A", obteniendo el punto E. Nombrar este punto de acuerdo a la división realizada anteriormente en el Tubo "A".
- ✓ Dibujar una línea de longitud igual al perímetro del diámetro externo del Tubo "A" y dividir en partes iguales.

✓ Trazar una línea de corte Z-Z que sea perpendicular al eje del Tubo "A" y medir la distancia "h" que existe entre la línea de corte Z-Z y la intersección de las paralelas ya antes trazadas.

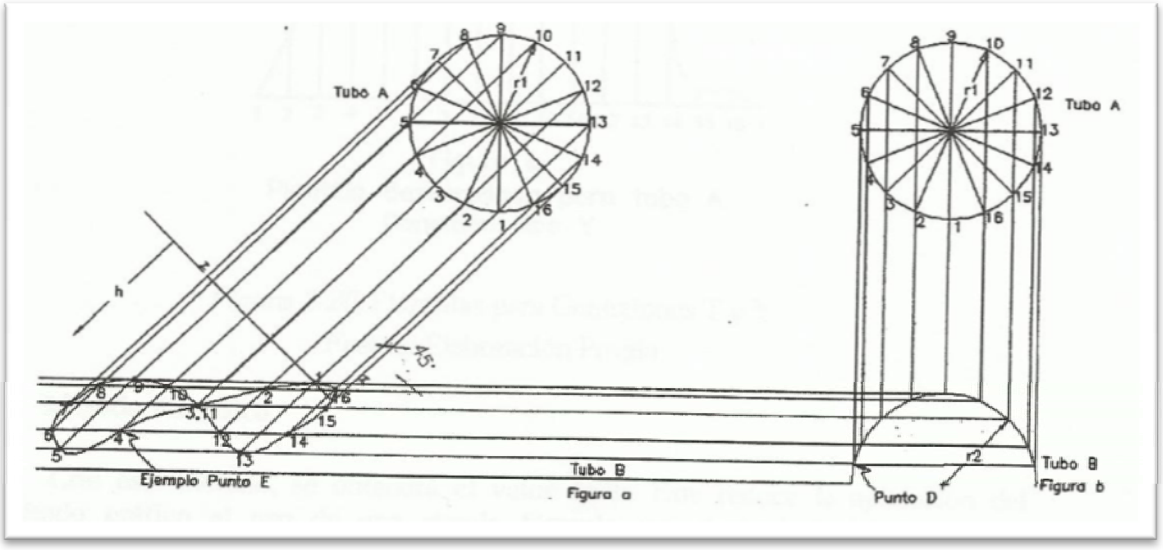


Ilustración 2- 11.Método Grafico

Fuente: (Diseño de conexiones típicas para cerchas con elementos tubulares, 2010)

Luego de realizado este procedimiento se obtiene la plantilla, la cual variara dependiendo del tipo de conexión a realizar. A continuación se presentan dos tipos de plantillas típicas.

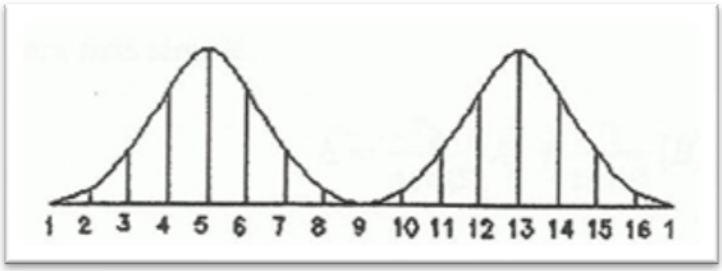


Ilustración 2- 12.Plantilla para Conexión tipo T

Fuente: (Diseño de conexiones típicas para cerchas con elementos tubulares, 2010)

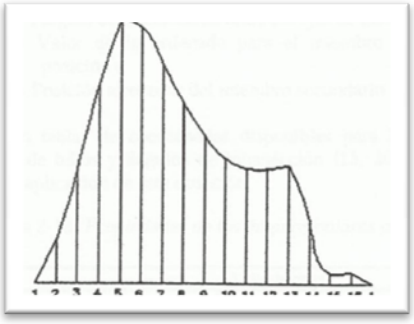


Ilustración 2- 13.Plantilla para Conexión tipo Y

Fuente: (Diseño de conexiones típicas para cerchas con elementos tubulares, 2010)

2-14.2 Método Analítico

Con el uso del método analítico se procede a obtener el valor de "h", este valor dependerá entonces del ángulo de intersección, de los radios internos y externos de los miembros que conforman la junta.

(Ec. 2-1)

Simplificando

(Ec. 2-2)

Dónde

= Radio interno del miembro secundario.

= Radio externo del cordon principal.

□ = Angulo de intersección entre los ejes de los tubos.

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

α = Posición alrededor del miembro secundario.

TABLA 2- 6. Propiedades de los ángulos polares para 12 posiciones

Posición	A	sen α	$sen^2\alpha$	1-cosα
1	0	0,000	0,00	0,00
2	30	0,500	0.25	0.134
3	60	0.866	0.75	0,50
4	90	1,000	1,00	1,00
5	120	0.866	0.75	1,50
6	150	0,500	0.25	1866,00
7	180	0,000	0,00	2,00
8	210	-0,500	0.25	1866,00
9	240	-1,000	1,00	1,50
10	270	-1,000	1,00	1,00
11	300	-0.866	0.75	0,50
12	330	-0,500	0.25	0.134
1	360	0,000	0,00	0,00

Fuente: (Design of Welded Structures, 1996)

TABLA 2- 7.Propiedades de los ángulos polares para 16 posiciones

Posición	A	sen α	$sen^2\alpha$	1-cosα
1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	22.5	0,38	0,15	0,08
3	45,00	0,71	0,50	0,29
4	67,50	0,92	0,85	0,62
5	90,00	1,00	1,00	1,00
6	112,50	0,92	0,85	13827,00
7	135,00	0,71	0,50	17071,00
8	157,50	0,38	0,15	19239,00
9	180,00	0,00	0,00	2,00
10	202,50	-0,38	0,15	19239,00
11	225,00	-0,71	0,50	17071,00
12	247,50	-0,92	0,85	13827,00
13	270,00	-1,00	1,00	1,00
14	292,50	-0,92	0,85	0,62
15	315,00	-0,71	0,50	0,29
16	337,50	-0,38	0,15	0,08
1	360,00	0,00	0,00	0,00

Fuente: (Design of Welded Structures, 1996)

2-15. Ensamblaje

El montaje de las secciones requiere un análisis previo que permita determinar que miembros estarán sometidos a fuerzas de compresión y cuales estarán sometidos a fuerzas de tracción.

Cuando los miembros se cruzan en una conexión, generalmente el miembro que se encuentra sometido a fuerzas de tracción es el primero en ser soldado completamente rodeando el contorno del cordón principal para que posteriormente el miembro sometido a fuerzas de compresión sea solapado.

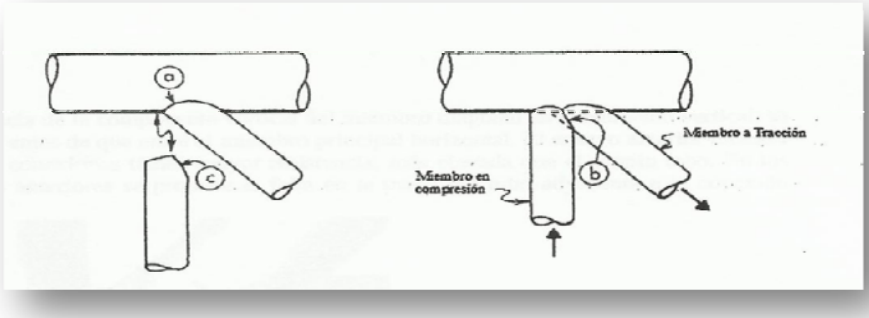


Ilustración 2- 14.Orden de Ensamblaje
Fuente: (Design of Welded Structures, 1996)

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

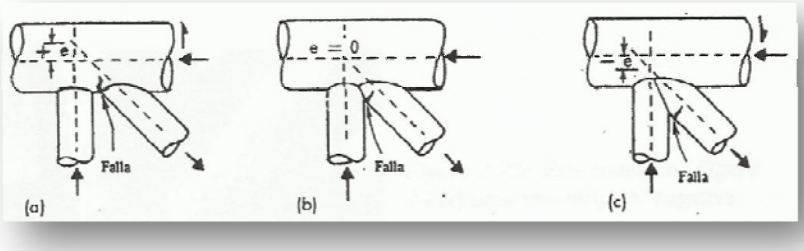


Ilustración 2- 15.Unión de Miembros a Tracción y Compresión al Cordón Principal
Fuente: (Design of Welded Structures, 1996)

En la Ilustración 2-15 Se puede apreciar que a mayor excentricidad negativa existe un mayor solapamiento de los miembros secundarios y una mayor rigidez del miembro principal. Por consiguiente, a mayor solapamiento de los miembros secundarios, la transferencia de la componente vertical del miembro diagonal, se producirá antes de que entre en el miembro principal horizontal. También se puede notar que este tipo de conexiones tienen mayor resistencia y que en los tres casos, la falla ocurre en los tubos adyacentes a la conexión soldada.

2-16. Elementos de Refuerzo

Generalmente en el diseño de las conexiones de cerchas que estén destinadas a cuidar la ligereza, elegancia y transparencia visual que genera un cuerpo estructural sin obstrucciones no son usuales los elementos de refuerzos.

2-16.1 Cartelas

Las cartelas o planchas de unión son empleadas generalmente en las conexiones entre SET, debido a las siguientes razones:

- Proporcionan longitud adicional de soldadura de filete a los miembros tubulares, lo que aporta mayor soporte y resistencia de la misma.

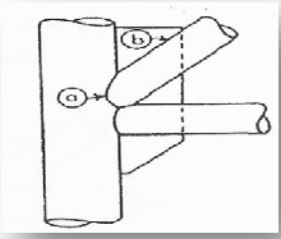


Ilustración 2- 16.Cartela soldada para proporcionar longitud adicional de soldadura de filete a las SET.

Fuente: (Design of Welded Structures, 1996)

- Cuando otros miembros están conectados a los lados del cordón principal, la cartela proporciona una transferencia directa de la fuerza. Esto puede realizarse, siempre y cuando el miembro principal posea una relación grosor/espesor baja.

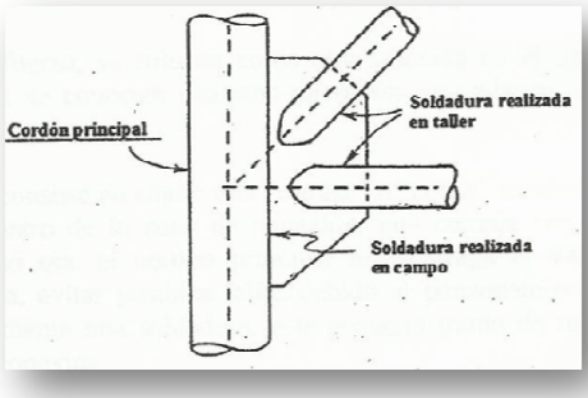


Ilustración 2- 17.Cartela que permite transmitir toda la carga al miembro principal

Fuente: (Design of Welded Structures, 1996)

- Cuando otros miembros están conectados a los lados del cordón principal, la cartela proporciona transferencia directa de la fuerza a través del mismo. Esto solo puede aplicarse si se considera que el miembro principal tiene relación grosor/espesor baja.

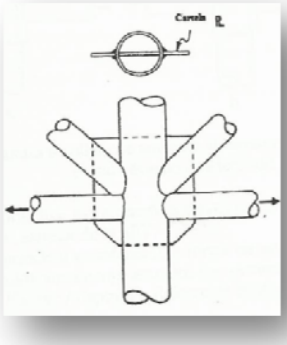


Ilustración 2- 18.Cartela soldada que proporciona fuerza a través del cordón principal cuando otros miembros están conectados a los lados del mismo.

Fuente: (Design of Welded Structures, 1996)

2-16.2 Camisas o Collares

Estos elementos de refuerzo son utilizados como solución en el caso donde al cordón principal se conectan distintos miembros secundarios.

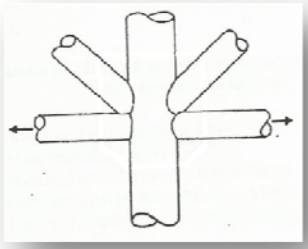


Ilustración 2- 19.Cordón principal al que se conectan distintos miembros secundarios

Fuente: (Design of Welded Structures, 1996)

El procedimiento a seguir consiste en añadir un "collar" alrededor del miembro principal dentro de la zona de conexión; cumpliendo siempre con el espesor requerido. En caso de que el cordón principal no cumpla con el valor mínimo. La función principal de dicho "collar" o "camisa" es evitar posibles fallas debido al punzonamiento.

Generalmente los miembros que son adjuntados al cordón principal deben ser soldados para proporcionar la longitud efectiva requerida y deben ser colocados de la siguiente manera:

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

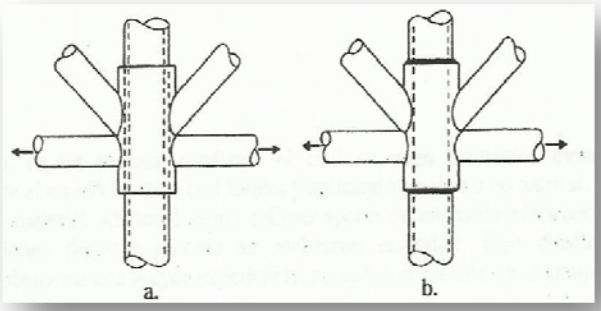


Ilustración 2- 20.Camisa o collar que aumenta el espesor del miembro principal cuando este no es adecuado.

Fuente: (Design of Welded Structures, 1996)

- Las planchas de unión también son usadas en conexiones con SET ya que estas tienden a rigidizar el miembro principal concentrando la tensión del mismo al final de la plancha.

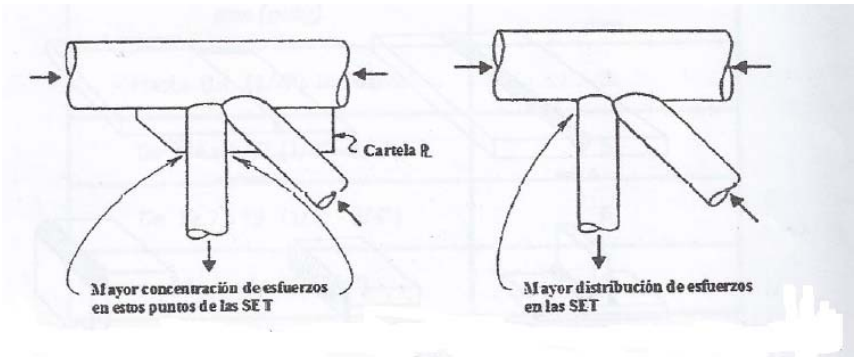


Ilustración 2- 21.Concentración y distribución de esfuerzos en conexiones en las SET.

Fuente: (Design of Welded Structures, 1996)

CAPÍTULO 3
MARCO METODOLÓGICO

3-1. Tipo de investigación

Según Hurtado de Barrera (2007), el tipo de investigación se define con base en el objetivo general, mientras que los diseños de investigación se definen con base en el procedimiento. La autora enumera diez tipos de investigación, los cuales sirvieron de base para establecer la tipología del presente TEG.

La investigación, es de tipo analítica:

"Es aquella que intenta identificar las sinergias o los aspectos menos evidentes, de los eventos analizados. En algunos casos se manifiesta como contrastación de un evento con otro, o la medida en que un evento contiene o se ajusta a ciertos criterios, por ejemplo, un ser con un deber ser, o una situación practica con unos criterios teórico, por ejemplo, es identificar hasta que puntos los principios aplicados en un trabajo practico, corresponden con las normativas o los procedimientos adecuados ".

Este Trabajo Especial de Grado se ajusta a esta definición, ya que se busca diseñar conexiones típicas para cerchas espaciales con elementos tubulares de acero, con la finalidad de explicar el procedimiento de diseño cumpliendo con las normativas adecuadas.

3-2. Diseño de la investigación.

Según Hurtado de Barrera (2007) El diseño de la investigación es denominado *Documental*, ya que las fuentes no son vivas, y son tomadas de documentos, trabajos especiales de grado, bibliografías, entre otras. También es considerado *Univariable,* pues se concentra solo en tipo de cerchas (espaciales)

En términos generales se puede considerar un *Documental y Univariable*:

"En este tipo de diseño el investigador no tiene posibilidad de manipular los procesos, aunque intenta corroborar el efecto de tales procesos sobre uno o más efectos, solo que esos procesos casuales ya están definidos y quedan fuera del alcance del investigador

3-3. Procedimiento

a) Se verificaron todas las ediciones existente de las especificaciones *Load and Resistance Factor Design for Steel Hollow Structural Sections* ANSI/AICS 360-05, con la finalidad de utilizar la última actualización, para adaptarla a los materiales fabricados en Venezuela.

b) Se analizaron las tablas de dimensiones y propiedades de los perfiles Conduven ECO, verificando que las mismas cumplían con las especificaciones *Load and Resistance Factor design for Steel Hollow Structural Secttions* ANSI/AISC 360-05, sin embargo se observó en sus cálculos que en dichas tablas no se consideraban los radios de las esquinas para secciones rectangulares y cuadradas y para secciones circulares consideraban un radio promedio.

c) Se dedujeron formulas, para calcular nuevamente las tablas de propiedades estáticas y mecánicas de los perfiles Conduven ECO, considerando el radio de las esquinas y el espesor neto de la sección.

d) Posteriormente se validaron los resultados obtenidos de las tablas, eligiendo al azar perfiles de la India, Alemania y Canadá, ya que estas consideraban el radio de las esquinas y espesor neto.

e) Se desarrolló de manera genérica y esquemática los procedimiento de diseño para conexiones tipo Y, K, T y CRUZ en cerchas espaciales con elementos tubulares de

acero según las especificaciones *Load and Resistance Factor Design for Steel Hollow Structural Sections* ANSI/AISC 360-05

- ✓ En primer lugar se describieron las especificaciones para los límites de aplicación que se deben verificar para cada tipo de conexión, clasificándolos según la set correspondiente.
- ✓ Luego se detallaron las verificaciones que se deben cumplir para miembros a tracción.
- ✓ Con el área obtenida en la tablas de propiedades estáticas y mecánicas de los perfiles Conduven ECO, considerando los radios de las esquinas y el espesor total, se recalcularon las tablas para miembro a tracción.
- ✓ A continuación se elaboraron los procedimientos que se deben cumplir para miembros en compresión.
- ✓ Para los perfiles Conduven ECO, se analizaron las relaciones de ancho-espesor, determinando cuál de ellas eran no compactas o esbeltas, plasmando esta información en una nueva tabla.
- ✓ Posteriormente se calcularon nuevamente las tablas de compresión para los perfiles Conduven ECO , considerando el tipo de sección (no compacta y esbelta) y variando la relación de esbeltez *(KL/r)*
- ✓ Finalmente se detallaron las verificaciones que se deben realizar para cumplir con los estados límites de cada uno de las conexiones, dividiéndolos según el tipo de SET.

f) Se escogieron diferentes combinaciones de cerchas típicas tanto espaciales como planas y se determinaron sus pesos, con la finalidad de definir una tendencia de cuál de ellas es más eficiente en cuanto a la cantidad de acero requerida.

g) Se analizaron los pesos obtenidos, comparándolos entre sí, eligiendo los más livianos para cada tipo de cercha espacial, para ser utilizados en el diseño de las conexiones.

h) Una vez elegido las cerchas espaciales más eficientes en cuanto a peso, se modelaron las mismas en el programa SAP2000 (14) y se obtuvo la distribución de cargas (tracción y compresión), que fueron usadas en el diseño de las conexiones.

i) Por último, se realizaron los ejemplos de conexione típicas (K, Y y T), para cada tipo de cerchas (Pratt, Howe y Warren) y SET (Cuadrado, Rectangular y Circular), siguiendo el procedimiento de diseño antes descrito.

3-4. Fases de la investigación

- La fase organizativa, consistió en la identificación del tema y la narración de un breve ensayo describiendo la investigación.
- La fase investigativa, consistió en definir el planteamiento del problema, descripción de los objetivos que se llevaron a cabo, justificación, limitaciones del estudio, revisión de la literatura y referencia teóricas aplicables para la resolución del problema planteado.
- La fase aplicada, consistió en la descripción de la metodología a seguir para el cumplimiento de los objetivos planteados, señalando los instrumentos y técnicas empleadas. Conjuntamente se procedió a realizar ejemplos de diseños de conexiones con elementos tubulares de acero en cerchas espaciales.
- La fase de integración, se refirió al desarrollo de conclusiones y recomendaciones derivadas de la investigación.

3-5. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de datos

El Trabajo Especial de Grado, es de tipo *analítico,* ya que la recolección de datos estuvo basado en la revisión bibliográfica, referentes al diseño de conexiones con secciones estructurales tubulares. Esta revisión consistió en el estudio y análisis de fuentes documentales, normativas vigentes, guías de diseño, catálogos de propiedades de materiales e internet.

CAPÍTULO 4
DIMENSIONES Y PROPIEDADES MECÁNICAS Y GEOMÉTRICA DE LOS SET

En el desarrollo de la investigación, se utilizaron los perfiles Conduven ECO. A continuación, se muestran las tablas de dimensiones y propiedades mecánicas y geométricas de secciones tubulares para facilitar el entendimiento de los cálculos y las consideraciones tomadas en los ejemplos.

4-1. Dimensiones y Propiedades Estáticas de los Tubos Estructurales CONDUVEN ECO

4-1.1. Sección circular

Este tipo de secciones poseen una tensión de cedencia $\mathbf{F_y = 3500\ kgf/cm^2}$ y una tensión a la flexión $\mathbf{F_b = 0{,}72\ F_y}$ los valores de inercia, radio de giro y torsión permite soportar grandes cargas axiales; por lo que generalmente son recomendadas para miembros a carga axial.

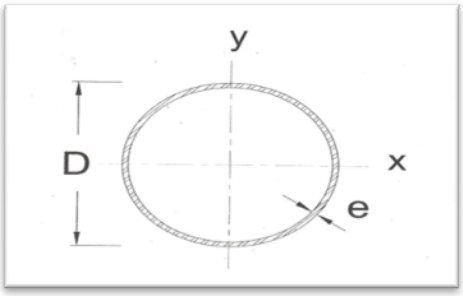


Ilustración 4- 1. Sección Circular

Fuente: (Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares, 2011)

4-1.2. Sección Cuadrada

Estas secciones poseen una tensión de cedencia $\mathbf{F_y = 3500\ kgf/cm^2}$ y una tensión a la flexión $\mathbf{F_b = 0{,}72\ F_y}$ que permiten soportar grandes cargas axiales; por lo que se recomienda para las columnas, momentos moderados y (KL) grandes.

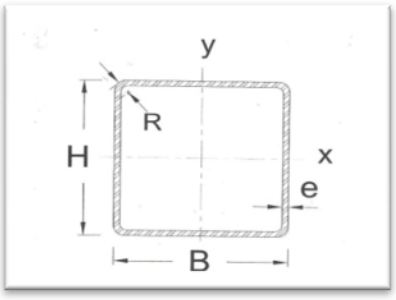


Ilustración 4- 2. Sección Cuadrada.

Fuente: (Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares, 2011)

4-1.3. Sección Rectangular

Este tipo de secciones poseen gran resistencia a la flexión, permitiendo un excelente aprovechamiento del material, con una tensión de cedencia $\mathbf{F_y = 3500\ kgf/cm^2}$ una tensión a la flexión $\mathbf{F_b = 0{,}72\ F_y}$ que siendo eficientes a la compresión axial y su uso recomendado es para vigas, momentos grandes, cargas axiales moderadas y (KL) pequeños.

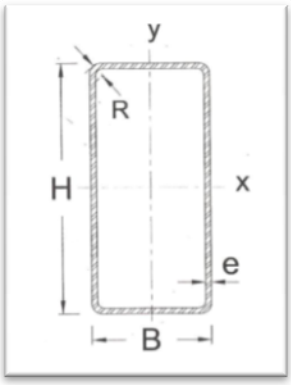


Ilustración 4- 3. Sección rectangular.

Fuente: (Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares, 2011)

A continuación se presentan las tablas de dimensiones nominales de perfiles tubulares Conduven ECO para secciones circulares, cuadradas y rectangulares, ilustradas en el Manual Diseño de Estructuras de Acero con Perfiles Tubulares, las cuales se toman como herramienta principal para cálculo de propiedades de los perfiles.

TABLA 4- 1. Dimensiones nominales de perfiles tubulares Conduven ECO Sección Circular. Según el ASTM 500/A 500M-07

Designación Comercial		Diámetro Externo D	Espesor Nominal e	Sección Nominal A	Sección Nominal P	Grados	
						Serie Tubos Estructurales Conduven ECO (2)	Serie Tubos Estructurales Estándar (*)
NPS (1)		mm	mm	cm²	Kg/m		
	3	76,20	2,25	5,23	4,10	C	A y B
	3 1/2	88,90	2,25	6,12	4,81	C	A y B
	4 1/2	114,30	2,50	8,78	6,89	C	A y B
	5	127,00	3,00	11,69	9,17	C	A y B
(*)	5	127,00	6,00	22,81	17,90	C	A y B
	5 1/2	139,70	3,40	14,56	11,43	C	A y B
	6	152,40	4,00	18,65	14,64	C	A y B
(*)	6	152,40	7,20	32,84	25,78	C	A y B
	6 5/8	168,30	4,30	22,15	17,39	C	A y B
(*)	6 5/8	168,30	8,00	40,29	31,63	C	A y B
(*)	7 5/8	193,70	4,50	26,75	20,99	C	A y B
(*)	7 5/8	193,70	9,20	53,33	41,86	C	A y B
(*)	8 5/8	219,10	5,50	36,91	28,97	C	A y B
(*)	8 5/8	219,10	10,50	68,81	54,02	C	A y B
(*)	9 5/8	244,50	5,50	41,30	32,41	C	A y B
(*)	9 5/8	244,50	7,00	52,23	41,00	C	A y B
(*)	9 5/8	244,50	10,50	77,19	60,59	C	A y B
(*)	10 3/4	273,10	7,00	58,52	45,93	C	A y B
(*)	10 3/4	273,10	9,00	74,67	58,61	C	A y B
(*)	12 3/4	323,85	9,00	89,02	69,88	C	A y B
(*)	12 3/4	323,85	11,00	108,11	84,87	C	A y B

Fuente: **(Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares, 2011)**

TABLA 4- 2.Dimensiones nominales de perfiles tubulares Conduven ECO Sección Cuadrada Según ASTM 500/1 500M-07

Designación Comercial H x B	Espesor Nominal e	Radio Externo R	Sección Nominal A	Sección Nominal P	Grados	
					Serie Tubos Estructurales Conduven ECO (2)	Serie Tubos Estructurales Estándar (*)
DN (1)	mm	mm	cm²	Kg/m		
60 x 60	2,25	6,75	5,02	3,94	C	A y B
70 x 70	2,25	6,75	5,92	4,65	C	A y B
90 x 90	2,50	7,50	8,54	6,70	C	A y B
100 x 100	3,00	9,00	11,33	8,89	C	A y B
(*) 100 x 100	6,00	18,00	21,32	16,74	C	A y B
110 x 110	3,40	10,20	14,10	11,07	C	A y B
120 x 120	4,00	12,00	18,01	14,14	C	A y B
(*) 120 x 120	7,20	21,60	30,71	24,10	C	A y B
135 x 135	4,30	12,90	21,85	17,15	C	A y B
(*) 135 x 135	8,00	24,00	38,44	30,18	C	A y B
(*) 155 x 155	4,50	13,50	26,39	20,72	C	A y B
(*) 155 x 155	9,20	27,60	50,75	39,84	C	A y B
(*) 175 x 175	5,50	16,50	36,25	28,46	C	A y B
(*) 175 x 175	10,50	31,50	65,30	51,26	C	A y B
(*) 200 x 200	5,50	16,50	41,75	32,77	C	A y B
(*) 200 x 200	7,00	21,00	52,36	41,10	C	A y B
(*) 200 x 200	10,50	31,50	75,80	59,51	C	A y B
(*) 220 x 220	7,00	21,00	57,96	45,50	C	A y B
(*) 220 x 220	9,00	27,00	73,18	57,45	C	A y B
(*) 260 x 260	9,00	27,00	87,58	68,75	C	A y B
(*) 260 x 260	11,00	33,00	105,40	82,74	C	A y B

Fuente: **(Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares, 2011)**

TABLA 4- 3. Dimensiones nominales de perfiles tubulares Conduven ECO Sección Rectangular. Según ASTM 500/A 500M-07

Designación Comercial H x B	Espesor Nominal e	Radio Externo R	Sección Nominal A	Sección Nominal P	Grados	
					Serie Tubos Estructurales Conduven ECO (2)	Serie Tubos Estructurales Estándar (*)
DN (1)	mm	mm	cm²	Kg/m		
80 x 40	2,25	6,75	5,02	3,94	C	A y B
100 x 40	2,25	6,75	5,92	4,65	C	A y B
120 x 60	2,50	7,50	8,54	6,70	C	A y B
140 x 60	3,00	9,00	11,33	8,89	C	A y B
160 x 65	3,40	10,20	14,44	11,34	C	A y B
180 x 65	4,00	12,00	18,41	14,45	C	A y B
200 x 70	4,30	12,90	21,85	17,15	C	A y B
(*) 220 x 90	4,50	13,50	26,39	20,72	C	A y B
(*) 260 x 90	5,50	16,50	36,25	28,46	C	A y B
(*) 300 x 100	5,50	16,50	41,75	32,77	C	A y B
(*) 300 x 100	7,00	21,00	52,36	41,10	C	A y B
(*) 320 x 120	7,00	21,00	57,96	45,50	C	A y B
(*) 320 x 120	9,00	27,00	73,18	57,45	C	A y B
(*) 350 x 170	9,00	27,00	87,58	68,75	C	A y B
(*) 350 x 170	11,00	33,00	105,41	82,74	C	A y B

Fuente: **(Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares, 2011)**

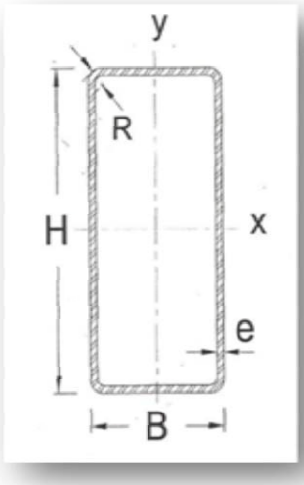
Nota:

Es importante resaltar que en las tablas de dimensiones nominales de perfiles Conduven ECO, hay un error en la nomenclatura usada para las unidades, en la columna de ¨Sección Nominal¨ las unidades correctas son (kgf/m)

4-2. Propiedades estáticas para el Diseño Estructural

4-2.1. Manual de Diseño de Estructuras de Acero con Perfiles Tubulares.

✓ Sección Cuadrada y Rectangular



$$A = 2t\ (H + B - 3{,}717t) \quad \text{4-1}$$

$$Ix = \left[\frac{(H-t)^3}{6} + \frac{(B-t)(H-t)^2}{2} - 0{,}88t\,(H-t)^2\right]t \quad \text{4-2}$$

$$Iy = \left[\frac{(B-t)^3}{6} + \frac{(H-t)(B-t)^2}{2} - 0{,}88t\,(B-t)^2\right]t \quad \text{4-3}$$

$$Sx = {}^{2Ix}/_{H} \qquad Sy = {}^{2Iy}/_{H} \quad \text{4-4}$$

$$rx = \sqrt{\frac{Ix}{A}} \qquad ry = \sqrt{\frac{Iy}{A}} \quad \text{4-5}$$

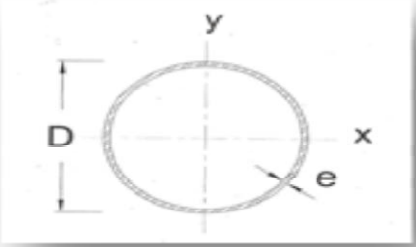
$$Zx = \left[\frac{(H-t)^2}{2} + (B-t)(H-t) - 1{,}72t\,(H-t)\right]t \quad \text{4-6}$$

$$Zy = \left[\frac{(B-t)^2}{2} + (H-t)(B-t) - 1{,}72t\,(B-t)\right]t \quad \text{4-7}$$

$$C = 2t\,(B-t)(H-t) - 6{,}88t^3 \quad \text{4-8}$$

$$J = \frac{2t\,[(B-t)(H-t) - 2{,}707t^2]^2}{(B+H-2t)} \quad \text{4-9}$$

✓ Sección Circular



$$D = [D^3 - (D-2t)^3]/6 \quad \text{4-10}$$

$$J = 2I \qquad C = 2S \quad \text{4-11}$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad \text{4-12}$$

$$S = {}^{2I}/_{D} \quad \text{4-13}$$

$$A = \pi(D-t)t \quad \text{4-14}$$

$$I = \left(\frac{\pi}{64}\right)[D^4 - (D-2t)^4] \quad \text{4-15}$$

TABLA 4- 4. Propiedades estáticas de perfiles tubulares Conduven ECO. Sección Circular

Designación Comercial	Diámetro Externo	Espesor nominal	Área diseño	Relación esbeltez	Propiedades Estáticas					
D	D	e	A		Ix = Iy	Sx = Sy	rx = ry	Zx = Zy	J	C
pulg NPS	mm	mm	cm^2	D/t	cm^4	cm^3	cm	cm^3	cm^4	cm^3
3	76,20	2,25	4,87	36,42	33,47	8,78	2,62	11,49	66,94	17,57
3 1/2	88,90	2,25	5,71	42,49	53,78	12,10	3,07	15,77	107,57	24,20
4 1/2	76,20	2,25	4,87	36,42	33,47	8,78	2,62	11,49	66,94	17,57
5	127,00	3,00	10,89	45,52	210,06	33,08	4,39	43,05	420,13	66,16
5	127,00	6,00	21,29	22,76	393,08	61,90	4,30	82,32	786,16	123,80
5 1/2	139,70	3,40	13,56	44,18	316,24	45,27	4,83	58,96	632,48	90,55
6	152,40	4,00	17,38	40,97	480,43	63,05	5,26	82,25	960,86	126,10
6	152,40	7,20	30,65	22,76	815,09	106,97	5,16	142,25	1.630,18	213,93
6 5/8	168,30	4,30	20,64	42,09	696,93	82,82	5,81	107,97	1.393,86	165,64
6 5/8	168,30	8,00	37,60	22,62	1.218,72	144,83	5,69	192,65	2.437,45	289,65
7 5/8	193,70	4,50	24,92	46,28	1.119,17	115,56	6,70	150,33	2.238,35	231,12
7 5/8	193,70	9,20	49,77	22,64	2.136,91	220,64	6,55	293,49	4.273,82	441,28
8 5/8	219,10	5,50	34,39	42,83	1.969,26	179,76	7,57	234,26	3.938,52	359,52
8 5/8	219,10	10,50	64,22	22,44	3.525,35	321,80	7,41	428,22	7.050,69	643,60
9 5/8	244,50	5,50	38,47	47,80	2.756,73	225,50	8,47	293,16	5.513,46	451,00
9 5/8	244,50	7,00	48,67	37,56	3.448,59	282,09	8,42	368,81	6.897,18	564,19
9 5/8	244,50	10,50	72,01	25,04	4.968,40	406,41	8,31	538,37	9.936,80	812,83
10 3/4	273,10	7,00	54,52	41,95	4.846,53	354,93	9,43	462,76	9.693,07	709,85
10 3/4	273,10	9,00	69,61	32,63	6.104,20	447,03	9,36	586,78	12.208,40	894,06
12 3/4	323,85	9,00	82,96	38,69	10.327,77	637,81	11,16	833,24	20.655,53	1.275,62
12 3/4	323,85	11,00	100,79	31,66	12.405,34	766,12	11,09	1.006,55	24.810,68	1.532,23

Fuente: (Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares, 2011)

TABLA 4- 5. Propiedades estáticas de perfiles tubulares Conduven ECO. Sección Cuadrada

Designación Comercial	Espesor nominal	Área diseño	Esbeltez ala	Esbeltez alma	Propiedades Estáticas					
H x B	e	A			Ix = Iy	Sx = Sy	rx = ry	Zx = Zy	J	C
mm DN	mm	cm^2	b/t	h/t	cm^4	cm^3	cm	cm^3	cm^4	cm^3
60 x 60	2,25	4,70	23,67	23,67	25,80	8,60	2,34	10,09	40,35	13,97
70 x 70	2,25	5,53	28,45	28,45	41,91	11,97	2,75	13,96	65,19	19,24
90 x 90	2,50	7,97	33,71	33,71	100,81	22,40	3,56	25,99	156,10	35,66
100 x 100	3,00	10,58	30,84	30,84	164,39	32,88	3,94	38,25	255,15	52,58
100 x 100	6,00	20,01	12,92	12,92	288,71	57,74	3,80	69,56	460,87	98,30
110 x 110	3,40	13,17	29,79	29,79	247,03	44,91	4,33	52,30	383,78	71,97
120 x 120	4,00	16,83	27,26	27,26	373,45	62,24	4,71	72,68	581,63	100,24
120 x 120	7,20	28,81	12,92	12,92	598,67	99,78	4,56	120,20	955,65	169,86
135 x 135	4,30	20,41	28,76	28,76	575,20	85,22	5,31	99,34	894,50	136,82
135 x 135	8,00	36,06	13,15	13,15	950,24	140,78	5,13	169,45	1.515,94	239,29
155 x 155	4,50	24,64	32,04	32,04	922,00	118,97	6,12	138,24	1.429,61	189,87
155 x 155	9,20	47,61	13,12	13,12	1.653,25	213,32	5,89	256,80	2.637,68	362,67
175 x 175	5,50	33,86	29,21	29,21	1.605,49	183,48	6,89	213,79	2.495,61	294,33
175 x 175	10,50	61,27	12,92	12,92	2.707,78	309,46	6,65	372,81	4.322,42	526,81
200 x 200	5,50	38,98	34,10	34,10	2.436,56	243,66	7,91	282,63	3.771,90	387,62
200 x 200	7,00	48,93	25,72	25,72	3.004,25	300,43	7,84	351,48	4.686,96	485,55
200 x 200	10,50	71,03	15,48	15,48	4.178,12	417,81	7,67	498,88	6.627,14	700,37
220 x 220	7,00	54,14	28,79	28,79	4.053,03	368,46	8,65	429,51	6.302,67	591,53
220 x 220	9,00	68,45	21,28	21,28	5.012,79	455,71	8,56	536,80	7.866,32	745,70
260 x 260	9,00	81,84	26,06	26,06	8.500,05	653,85	10,19	764,63	13.255,84	1.055,90
260 x 260	11,00	98,61	20,42	20,42	10.052,33	773,26	10,10	912,34	15.795,86	1.269,03

Fuente: **(Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares, 2011)**

TABLA 4- 6. Propiedades estáticas de perfiles tubulares Conduven ECO. Sección Rectangular.

Designación Comercial	Espesor nominal	Área diseño	Esbeltez ala	Esbeltez alma	Propiedades Estáticas									
H x B	e	A			Ix	Sx	rx	Zx	Iy	Sy	ry	Zy	J	C
mm DN	mm	cm^2	b/t	h/t	cm^4	cm^3	cm	cm^3	cm^4	cm^3	cm	cm^3	cm^4	cm^3
80 x 40	2,25	4,70	14,12	33,23	38,22	9,56	2,85	11,94	13,06	6,53	1,67	7,40	31,26	12,30
100 x 40	2,25	5,53	14,12	42,79	67,06	13,41	3,48	17,06	16,07	8,03	1,70	8,98	42,17	15,47
120 x 60	2,50	7,97	20,81	46,61	149,40	24,90	4,33	30,78	51,36	17,12	2,54	19,11	121,62	31,47
140 x 60	3,00	10,58	16,51	45,18	257,47	36,78	4,93	46,33	69,11	23,04	2,56	25,70	175,90	43,65
160 x 65	3,40	13,49	15,56	45,60	422,16	52,77	5,59	66,86	103,92	31,97	2,78	35,65	270,51	61,12
180 x 65	4,00	17,20	12,47	43,39	655,98	72,89	6,18	93,79	132,82	40,87	2,78	45,71	362,93	80,02
200 x 70	4,30	20,41	12,50	45,01	954,77	95,48	6,84	123,15	183,75	52,50	3,00	58,63	507,44	103,02
220 x 90	4,50	24,64	16,51	47,57	1.465,69	133,24	7,71	168,47	365,29	81,18	3,85	90,33	946,92	154,51
260 x 90	5,50	33,86	12,60	45,83	2.672,45	205,57	8,88	265,35	505,25	112,28	3,86	125,28	1.400,21	220,41
300 x 100	5,50	38,98	14,55	53,65	4.095,98	273,07	10,25	352,24	731,09	146,22	4,33	161,87	2.044,40	285,32
300 x 100	7,00	48,93	10,36	41,08	5.042,87	336,19	10,15	437,60	891,04	178,21	4,27	200,26	2.511,89	355,35
320 x 120	7,00	54,14	13,43	44,16	6.606,62	412,91	11,05	528,65	1.424,85	237,48	5,13	265,26	3.834,96	461,33
320 x 120	9,00	68,45	9,34	33,23	8.159,90	509,99	10,92	660,04	1.742,39	290,40	5,05	329,87	4.734,13	578,30
350 x 170	9,00	81,84	15,31	36,82	12.737,21	727,84	12,48	909,44	4.163,02	489,77	7,13	552,03	10.072,35	920,31
350 x 170	11,00	98,61	11,62	29,21	15.058,90	860,51	12,36	1.084,67	4.896,58	576,07	7,05	657,14	11.944,04	1.103,31

Fuente: **(Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares, 2011)**

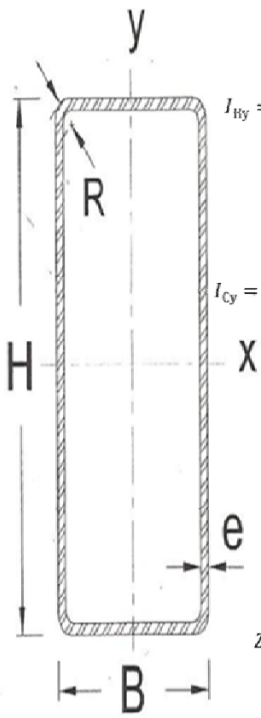
Una vez analizadas las tablas presentadas en el Manual de Diseño de Estructuras de Acero con Perfiles Tubulares, se determinó que aunque cumplen con las especificaciones "*Load and Resistance Factor Design for Steel Hollow Structural Sections* ANSI/AISC 360-05 " en el cálculo de las propiedades no se consideraron los radios de las esquinas en los perfiles cuadrados y rectangulares, en el caso de las circulares tomaron un espesor promedio de t=0,93e.

En este Trabajo Especial de Grado se consideraron los radios de las esquinas, y el espesor completo generando así nuevas fórmulas y tablas con la finalidad de obtener valores con mayor precisión. Es importante resaltar que existe una diferencia de 10% en las propiedades de los perfiles por lo que en los ejemplos serán utilizadas estas tablas.

A continuación se presentan las fórmulas desarrolladas por el Prof. Ing. José Manuel Velázquez y tablas donde se consideran las curvas de las esquinas y los espesores totales.

4-2.2. Fórmulas que toman en cuenta el radio de las esquinas y el espesor total

✓ Sección Cuadrada y Rectangular



$$b = B - 2 * R \qquad h = H - 2 * R \qquad \text{4-16}$$

$$I_{Hy} = \left[2 * \frac{(h-e)^3}{12} + h * e\,(b/2)^2\right] \qquad I_{Hx} = \left[2 * \frac{(b-e)^3}{12} + b * e\,(h/2)^2\right] \qquad \text{4-17}$$

$$I_{Vy} = \left[2 * e * \frac{(b)^3}{12}\right] \qquad I_{Vx} = \left[2 * e * \frac{(h)^3}{12}\right] \qquad \text{4-18}$$

$$I_{Cy} = \left[4 * \frac{\Pi * R^2}{4} * (b/2)^2 + 0{,}149 * (R)^3\right] \quad I_{Cy} = \left[4 * \frac{\Pi * R^2}{4} * (h/2)^2 + 0{,}149 * (R)^3\right] \qquad \text{4-19}$$

$$I_x = I_y = I_H + IV + IC \qquad \text{4-20}$$

$$Sx = 2Ix \,/\, (\tfrac{H}{2}) \qquad Sy = 2Iy \,/\, (\tfrac{B}{2}) \qquad \text{4-21}$$

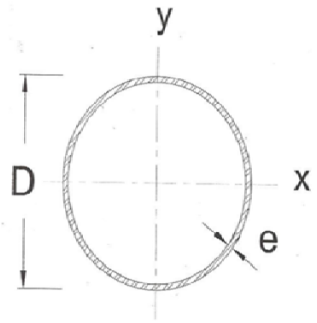
$$rx = \sqrt{\frac{Ix}{A}} \qquad ry = \sqrt{\frac{Iy}{A}} \qquad J = \frac{4\hat{A}^2}{(\frac{Po}{e})} \qquad \gamma = \frac{R^3 - (R-e)^3}{R^2(R-e)^2} \qquad \text{4-22}$$

4-23 4-24

$$Zx = \left[\frac{(H-2R)^2 e}{2} + (B-2R)(H-e)e + \Pi(R^2 - (R-e)^2)(\frac{H}{2} - R + 0{,}424\gamma)\right] \qquad \text{4-25}$$

$$Zy = \left[\frac{(B-2R)^2 e}{2} + (B-2R)(b-e)e + \Pi(R^2 - (R-e)^2)(\frac{B}{2} - R + 0{,}424 * \gamma)\right]$$

✓ Sección Circular



$$J = \frac{4\hat{A}^2}{\left(\frac{Po}{e}\right)} \quad 4\text{-}26$$

$$r = 2R/2\sqrt{2} \quad 4\text{-}27$$

$$S = \frac{\Pi e(2R)^2}{4} \quad 4\text{-}28$$

$$A = \pi e 2R \quad 4\text{-}29$$

$$Ix = Iy = \left(\frac{\pi e(2R)^2}{8}\right) \quad 4\text{-}30$$

$$ZX = Zy = \frac{\pi 2R^2}{4}(1-\beta^2)\left(\frac{2}{3}\frac{2R(1+\beta+\beta^2}{\Pi(1+\beta)}\right) \quad 4\text{-}31$$

$$\beta = 1 - 2\frac{e}{2R} \quad 4\text{-}32$$

TABLA 4- 7. Propiedades estáticas de perfiles tubulares Conduven ECO. Sección Rectangular. Considerando el radio de las esquinas.

Designación comercial	Dimensiones Comerciales		Espesor Nominal	Radio Externo	Area Diseño	Relación Esbeltez		Propiedades Estáticas								
HxB mm DN	H mm	B mm	e mm	R mm	A cm^2	Esbeltez Ala b/t	Esbeltez Alma h/t	I_x cm^4	S_x cm^3	r_x cm	Z_x cm^3	I_y cm^4	S_y cm^3	r_y cm	Z_y cm^3	J cm^4
80 x 40	80	40	2.25	6,75	5,2	11,78	29,56	33,56	8,39	2,54	12,54	12,24	6,12	1,53	7,78	34,37
100 x 40	100	40	2.25	6,75	6,1	11,78	38,44	60,17	12,03	3,14	17,98	15,45	7,73	1,59	9,48	46,21
120 x 60	120	60	2.50	7,50	8,75	18,00	42,00	139,26	23,21	3,99	32,54	49,99	16,66	2,39	20,22	133,21
140 x 60	140	60	3.00	9,00	11,64	14,00	40,67	235,08	33,58	4,49	48,90	66,89	22,30	2,40	27,16	192,64
160 x 65	160	65	3.40	10,20	14,83	13,12	41,06	387,03	48,38	5,11	70,54	102,08	31,41	2,62	37,66	334,31
180 x 65	180	65	4.00	12,00	18,96	10,25	39,00	581,94	64,66	5,54	98,76	127,30	39,17	2,59	48,19	397,28
200 x 70	200	70	4.30	12,90	22,48	10,28	40,51	851,10	85,11	6,15	129,74	176,98	50,57	2,81	61,84	555,14
220 x 90	220	90	4.50	13,50	27,09	14,00	42,89	1351,11	122,83	7,06	177,90	358,67	79,70	3,64	95,51	1036,42
260 x 90	260	90	5.50	16,50	37,29	10,36	41,27	2383,74	183,36	8,00	231,76	486,08	108,02	3,61	132,19	1531,41
300 x 100	300	100	5.50	16,50	42,79	12,18	48,55	3769,85	251,32	9,39	372,21	722,08	144,42	4,11	171,25	2232,42
300 x 100	300	100	7.00	21,00	54,04	8,29	36,86	4362,64	290,84	8,98	459,90	843,26	168,65	3,95	210,73	3216,04
320 x 120	320	120	7.00	21,00	59,64	11,14	39,71	5939,64	371,23	9,98	557,06	1381,19	230,20	4,81	279,89	4198,06
320 x 120	320	120	9.00	27,00	75,96	7,33	29,56	6792,05	424,50	9,46	690,81	1603,94	267,32	4,60	345,77	5193,29
350 x 170	350	170	9.00	27,00	90,36	12,89	32,89	11393,57	651,06	11,23	957,03	3958,99	465,76	6,62	581,70	11062,32
350 x 170	350	170	11.00	33,00	109,56	9,45	25,82	12630,75	721,76	10,74	1135,00	4438,96	522,23	6,37	688,72	13150,73

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 4- 8. .Propiedades estáticas de perfiles tubulares Conduven ECO. Sección Circular. Considerando el radio interno y externo.

Designación Comercial	Diametro Externo	Espesor Nominal	Area diseño	Relación Esbeltez	Propiedades Estáticas				
D pulg NPS	D mm	e mm	A cm^2	D/t	$I_x=I_y$ cm^4	$S_x=S_y$ cm^3	$r_x=r_y$ cm	$Z_x=Z_y$ cm^3	J cm^4
3	76,20	2,25	5,39	33,87	39,12	10,26	2,69	73,74	71,47
3 1/2	88,90	2,25	6,28	39,51	62,13	13,96	3,14	117,10	114,98
4 1/2	76,20	2,50	5,98	30,48	43,47	11,40	2,69	73,74	274,41
5	127,00	3,00	11,97	42,33	241,50	37,98	4,48	341,40	449,17
5	127,00	6,00	23,94	21,17	483,01	75,97	4,48	341,40	834,90
5 1/2	139,70	3,40	14,92	41,09	364,30	52,09	4,93	454,40	676,18
6	152,40	4,00	19,15	38,10	556,43	72,93	5,38	589,93	1074,73
6	152,40	7,20	34,47	21,17	1001,57	131,27	5,38	589,93	1731,03
6 5/8	168,30	4,30	22,74	39,14	805,59	95,61	5,94	794,51	1489,72
6 5/8	168,30	8,00	42,30	21,04	1498,77	177,88	5,94	794,51	2588,17
7 5/8	193,70	4,50	27,38	43,04	1285,27	132,54	6,84	1211,26	2393,53
7 5/8	193,70	9,20	55,98	21,05	2627,66	270,97	6,84	1211,26	4538,16
8 5/8	219,10	5,50	37,86	39,84	2273,43	207,26	7,73	1752,98	4269,05
8 5/8	219,10	10,50	72,27	20,87	4340,19	395,68	7,73	1752,98	7486,03
9 5/8	244,50	5,50	42,25	44,45	3159,31	258,10	8,63	2436,05	5971,42
9 5/8	244,50	7,00	53,77	34,93	4020,94	328,49	8,63	2436,05	7365,26
9 5/8	244,50	10,50	80,65	23,29	6031,40	492,74	8,63	2436,05	10566,73
10 3/4	273,10	7,00	60,06	39,01	5603,45	409,84	9,64	3394,80	10358,68
10 3/4	273,10	9,00	77,22	30,34	7204,44	526,93	9,64	3394,80	13020,43
12 3/4	323,85	9,00	91,57	35,98	12013,42	740,97	11,43	5660,83	22485,23
12 3/4	323,85	11,00	111,91	29,44	14683,07	905,63	11,43	5660,83	26455,29

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 4- 9.Propiedades estáticas de perfiles tubulares Conduven ECO. Sección Cuadrada. Considerando el radio de las esquinas.

Designación Comercial	Dimensiones Comerciales	Espesor Nominal	Radio Externo	Area Diseño	Relación Esbeltez	Propiedades Estáticas				
H X B mm DN	H=B mm	e mm	R mm	A cm^2	b/t = h/t	$I_x=I_y$ cm^4	$S_x=S_y$ cm^3	$r_x=r_y$ cm	$Z_x=Z_y$ cm^3	J cm^4
60 x 60	60,00	2,25	6,75	5,20	20,67	23,56	7,85	2,13	10,83	44,50
70 x 70	70,00	2,25	6,75	6,10	25,11	39,28	11,22	2,54	15,05	71,71
90 x 90	90,00	2,50	7,50	8,75	30,00	96,44	21,43	3,32	27,51	186,74
100 x 100	100,00	3,00	9,00	11,64	27,33	155,63	31,13	3,66	40,42	280,34
100 x 100	100,00	6,00	18,00	22,56	10,67	232,76	46,55	3,21	71,94	511,95
110 x 110	110,00	3,40	10,20	15,42	26,35	232,85	42,34	3,89	55,25	421,85
120 x 120	120,00	4,00	12,00	18,56	24,00	347,94	57,99	4,33	76,65	640,13
120 x 120	120,00	7,20	21,60	32,49	10,67	482,50	80,42	3,85	124,33	1061,43
135 x 135	135,00	4,30	12,90	22,48	25,40	539,74	79,96	4,90	104,87	983,71
135 x 135	135,00	8,00	24,00	40,64	10,88	769,19	113,95	4,35	175,36	1683,41
155 x 155	155,00	4,50	13,50	27,09	28,44	876,76	113,13	5,69	146,22	1569,68
155 x 155	155,00	9,20	27,60	53,65	10,85	1337,26	172,55	4,99	265,76	2929,42
175 x 175	175,00	5,50	16,50	37,29	25,82	1509,45	172,51	6,36	225,78	2743,72
175 x 175	175,00	10,50	31,50	69,09	10,67	2181,30	249,29	5,62	385,59	4801,03
200 x 200	200,00	5,50	16,50	42,79	30,36	2333,53	233,35	7,38	299,94	4110,52
200 x 200	200,00	7,00	21,00	54,04	22,57	2775,95	277,59	7,17	370,32	5162,13
200 x 200	200,00	10,50	31,50	79,59	13,05	3518,44	351,84	6,65	519,06	7349,16
220 x 220	220,00	7,00	21,00	59,64	25,43	3803,31	345,76	7,99	392,44	6930,34
220 x 220	220,00	9,00	27,00	75,96	18,44	4495,75	408,70	7,69	484,51	8687,45
260 x 260	260,00	9,00	27,00	96,84	22,89	7868,52	605,27	9,01	805,82	14597,28
260 x 260	260,00	11,00	33,00	109,56	17,64	8949,67	688,44	9,04	956,41	17455,63

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO 5
PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

En la presente sección se detallan los procedimientos de diseño en conexiones típicas para cerchas comprendidas dentro del alcance de este trabajo, con la finalidad de servir de apoyo a futuras investigaciones relacionadas con el tema.

5-1. Consideraciones Generales

Para el estudio de las conexiones que forman parte del estudio realizado, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones generales:

- Las cargas puntuales sobre los nodos o juntas del cordón principal superior tendrán una magnitud de 508 kgf/m^2 y para el cordón principal inferior tendrán una magnitud de 50 kgf/m^2.
- Las características de los perfiles de sección tubular están determinadas de acuerdo a los catálogos de los productos fabricados en Venezuela.

5-2. Procedimiento de Diseño (de acuerdo con el AISC LRFD-HSS)

Es importante resaltar que la nomenclatura utilizada para todas las formulas tanto en el procedimiento como en los ejemplos desarrollados para la investigación, es la misma que utiliza las Especificaciones *Load and Resistance Factor Design for Steel Hollow Structural Sections* ANSI/AISC 360-05.

5-2.1. Límites de Aplicabilidad

Debe verificarse el cumplimiento de los límites de aplicabilidad propuestos, según el tipo de perfil, bien sea para sección circular, rectangular o cuadrada.

- ✓ **Para SET CIRCULARES:**

  Excentricidad de la junta: -0.55$D \leq e \leq 0.25D$, donde D es el diámetro del cordón y e es el desplazamiento positivo de los miembros secundarios. (Para conexiones Tipo K)

  Angulo del miembro secundario: □ ≥ 30°

  Rigidez de la pared del cordón: Relación del diámetro y espesor de la pared ≤ 50 para cordones y miembros secundarios en conexiones T, Y, K y ≤ 40 para cordones en conexiones en cruz.

  Esbeltez de la pared del miembro secundario a tracción: la relación entre el diámetro y el espesor de la pared debe ser menor o igual a 50. (Para conexiones Tipo T, Y y K)

  Esbeltez de la pared del miembro secundario a compresión: la relación entre el diámetro y el espesor de la pared debe ser menor o igual a 0.05E/Fy. (Para conexiones Tipo T, Y y K)

  En una conexión con excentricidad: g mayor o igual que la suma de los espesores de la pared del miembro secundario.

  Relación de anchura: $0.2 < Db/D \leq 1.0$ en general y $0.4 \leq Db/D \leq 1.0$ para conexiones tipo K con excentricidad**.**

  Para conexiones solapadas: $25\% \leq Ov \leq 100\%$, donde $Ov = (q/p) \times 100\%$. p es la longitud proyectada del miembro secundario solapado en el cordón; q es la longitud solapada medida a lo largo de la cara de conexión del cordón por debajo de los dos miembros secundarios (ramas). Para conexiones solapadas, la rama más larga (o si son

de igual diámetro, la de mayor espesor) es el "miembro que atraviesa" conectado directamente al cordón. (Para conexiones Tipo K)

Relación de espesor para miembros secundarios en conexiones solapadas: El espesor del miembro secundario que solapa debe ser menor o igual al espesor del miembro secundario que es solapado. (Para conexiones Tipo K solapadas)

Resistencia: $Fy \leq 3670 kgf/cm^2$ (360 MPa) para cordones principales y miembros secundarios.

Ductilidad: $F_Y/F_U \leq 0.8$ para tubos.

- ✓ **Para SET RECTANGULARES Y CUADRADAS:**

Excentricidad de la junta: $-0.55H \leq e \leq 0.25H$, donde H es la altura del cordón y *e* es positivo cuando se aleja de los miembros secundarios. (Para conexiones Tipo K)

Angulo del miembro secundario: □ ≥ 30°

Esbeltez de la pared del cordón: relación entre el ancho total y espesor de la pared menor o igual a 35 para conexiones en K con excentricidad y las conexiones en T, Y y Cruz; menor o igual a 30 para conexiones en K solapadas.

Esbeltez de pared de miembros secundarios en tracción: relación entre el ancho total y el espesor de la pared menor o igual a 35. (Para conexiones Tipo K, Y, K y Cruz).

Esbeltez de pared de miembros secundarios en compresión: relación entre el ancho total y el espesor de la pared menor o igual a $1.25\left(E/_{Fyb}\right)^{0.5}$ y también menor que 35

para conexiones en K con excentricidad y las conexiones en T, Y y Cruz; menor o igual a $1.1\left(E/_{Fyb}\right)^{0.5}$ para conexiones en K solapadas.

Relación de anchura: relación entre el ancho del miembro secundario y el espesor de la pared del cordón mayor o igual a 0.25 para conexiones en T, Y, Cruz y K solapadas; mayor o igual a 0.35 para conexiones en K con excentricidad.

Relación de aspecto: 0.5 ≤ razón de altura y ancho ≤ 2.0 (Para conexiones Tipo K, Y, K y Cruz).

Solape: 25% ≤ *Ov* ≤ *100%,* donde *Ov = (q/p)x100%.* %. p es la longitud proyectada del miembro secundario solapado en el cordón; q es la longitud solapada medida a lo largo de la cara de conexión del cordón por debajo de los dos miembros secundarios (ramas). Para conexiones solapadas, la rama más larga (o si son de igual diámetro, la de mayor espesor) es el "miembro que atraviesa" conectado directamente al cordón. (Para Conexiones Tipo K solapadas)

La relación de espesor de ramas para conexiones traslapadas (o solapadas): la razón entre el ancho total de la pared de la rama que solapa y el ancho total de la rama solapada debe ser mayor o igual a 0.75. (Para conexiones Tipo K traslapadas).

Relación de espesor de miembros secundarios para conexiones solapadas: el espesor del miembro secundario solapado debe ser menor o igual al espesor del miembro secundario solapado.

Resistencia: *Fy* ≤ 3670kgf/cm^2 (360 MPa) para cordones principales y miembros secundarios.

Ductilidad: $F_Y/F_U \leq 0.8$ para tubos.

Nota: Aplican otros límites según disposiciones específicas.

5-2.2. Miembros solicitados a Tracción

Se deben verificar los miembros solicitados a fuerzas de tracción.

- **Para cedencia sobre el área total:**

$\varphi t = 0.9$ **(5-1)**

$Pn = Fy\ Ag$ **(5-2)**

- **Para la ruptura sobre el área neta efectiva:**

$\varphi t = 0.75$ **(5-3)**

$Pn = Fu\ Ae$ **(5-4)**

Donde:

Ae= Área efectiva neta (cm^2).

Ag = Área total de la SET (cm^2).

Fy= Resistencia cedente mínima especificada (kgf/cm^2).

Fu = Resistencia de tensión de rotura mínima especificada (kgf/cm^2).

Pn= Resistencia nominal axial (kgf/cm^2).

Cuando existen miembros sin perforaciones son completamente conectados por soldadura, el área neta efectiva debe ser:

$Ae = A_nU$ **(5-5)**

Donde:

A_n: Área neta de un miembro, definida como la suma de los productos que se obtienen de multiplicar los espesores por los correspondientes anchuras netos de los miembros de cada elemento. (*Sección D3.2, ANSI/AISC 360-05*).

U: Factor de corte diferido (shear lag), es determinado como se muestra en la (*TABLA D3.1, ANSI/AISC 360-05.)*

Nota: es importante destacar que para efectos de este TEG, el factor de corte diferido (*U*) es igual a 1.0, ya que se usaran miembros a tracción donde la carga es transmitida a cada uno de los elementos de la sección por conectores o soldaduras continuas y el área neta efectiva (*Ae*) será igual área total de la SET (*Ag*).

TABLA 5- 1.Capacidad de miembros a tracción Conduven ECO- Sección Rectangular.

Designación Comercial	Espesor Nominal	Área Diseño	Cedencia	Rotura $\phi_t = 0.75$				
H X B mm DN	e mm	A cm^2	$\phi_t P_n 10^3$ kgf $\phi_t = 0.9$	$\phi_t P_n 10^3$ kgf (A_e=0.95A)	$\phi_t P_n 10^3$ kgf (A_e=0.90A)	$\phi_t P_n 10^3$ kgf (A_e=0.85A)	$\phi_t P_n 10^3$ kgf (A_e=0.80A)	$\phi_t P_n 10^3$ kgf (A_e=0.75A)
80 x 40	2.25	5,2	16,45	16,15	15,30	14,45	13,60	12,75
100 x 40	2.25	6,1	19,30	18,95	17,95	16,95	15,96	14,96
120 x 60	2.50	8,75	27,68	27,18	25,75	24,32	22,89	21,46
140 x 60	3.00	11,64	36,82	36,16	34,26	32,35	30,45	28,55
160 x 65	3.40	14,83	46,91	46,07	43,64	41,22	38,80	36,37
180 x 65	4.00	18,96	59,98	58,90	55,80	52,70	49,60	46,50
200 x 70	4.30	22,48	71,12	69,83	66,16	62,48	58,81	55,13
220 x 90	4.50	27,09	85,70	84,16	79,73	75,30	70,87	66,44
260 x 90	5.50	37,29	117,97	115,84	109,74	103,65	97,55	91,45
300 x 100	5.50	42,79	135,37	132,93	125,93	118,93	111,94	104,94
300 x 100	7.00	54,04	170,96	167,88	159,04	150,20	141,37	132,53
320 x 120	7.00	59,64	188,67	185,27	175,52	165,77	156,02	146,27
320 x 120	9.00	75,96	240,30	235,97	223,55	211,13	198,71	186,29
350 x 170	9.00	90,36	285,85	280,70	265,93	251,16	236,38	221,61
350 x 170	11.00	109,56	346,59	340,35	322,44	304,52	286,61	268,70

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 5- 2.Capacidad de miembros a tracción Conduven ECO- Sección Cuadrada

Designacion Comercial	Espesor Nominal	Área Diseño	Cedencia	Rotura $\phi_t = 0.75$				
H X B mm DN	e mm	*A* cm^2	$\phi_t Pn\ 10^3$ kgf $\phi_t = 0.9$	$\phi_t Pn\ 10^3$ kgf (A_e=0.95A)	$\phi_t Pn\ 10^3$ kgf (A_e=0.90A)	$\phi_t Pn\ 10^3$ kgf (A_e=0.85A)	$\phi_t Pn\ 10^3$ kgf (A_e=0.80A)	$\phi_t Pn\ 10^3$ kgf (A_e=0.75A)
60 x 60	2.25	5,2	16,45	16,15	15,3036	14,45	13,60	12,75
70 x 70	2.25	6,1	19,30	18,95	17,9523	16,95	15,96	14,96
90 x 90	2.50	8,75	27,68	27,18	25,75125	24,32	22,89	21,46
100 x 100	3.00	11,64	36,82	36,16	34,25652	32,35	30,45	28,55
100 x 100	6.00	22,56	71,37	70,08	66,39408	62,71	59,02	55,33
110 x 110	3.40	15,42	48,78	47,90	45,38106	42,86	40,34	37,82
120 x 120	4.00	18,56	58,71	57,66	54,62208	51,59	48,55	45,52
120 x 120	7.20	32,49	102,78	100,93	95,61807	90,31	84,99	79,68
135 x 135	4.30	22,48	71,12	69,83	66,15864	62,48	58,81	55,13
135 x 135	8.00	40,64	128,56	126,25	119,60352	112,96	106,31	99,67
155 x 155	4.50	27,09	85,70	84,16	79,72587	75,30	70,87	66,44
155 x 155	9.20	53,65	169,72	166,66	157,89195	149,12	140,35	131,58
175 x 175	5.50	37,29	117,97	115,84	109,74447	103,65	97,55	91,45
175 x 175	10,5	69,09	218,57	214,63	203,33187	192,04	180,74	169,44
200 x 200	5.50	42,79	135,37	132,93	125,93097	118,93	111,94	104,94
200 x 200	7.00	54,04	170,96	167,88	159,03972	150,20	141,37	132,53
200 x 200	10,5	79,59	251,78	247,25	234,23337	221,22	208,21	195,19
220 x 220	7.00	59,64	188,67	185,27	175,52052	165,77	156,02	146,27
220 x 220	9.00	75,96	240,30	235,97	223,55028	211,13	198,71	186,29
260 x 260	9.00	96,84	306,35	300,83	285,00012	269,17	253,33	237,50
260 x 260	11.00	109,56	346,59	340,35	322,43508	304,52	286,61	268,70

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 5- 3. Capacidad de miembros a tracción Conduven ECO- Sección Circular

Designación Comercial	Espesor Nominal	Área Diseño	Cedencia	Rotura $\Phi_t = 0.75$				
pulg NPS	e mm	A cm^2	$\Phi_t Pn$ 10^3 kgf $\Phi_t = 0.9$	$\Phi_t Pn 10^3$ kgf (A_e=0.95A)	$\Phi_t Pn 10^3$ kgf (A_e=0.90A)	$\Phi_t Pn 10^3$ kgf (A_e=0.85A)	$\Phi_t Pn 10^3$ kgf (A_e=0.80A)	$\Phi_t Pn 10^3$ kgf (A_e=0.75A)
3	2,25	5,39	17,04	16,73	15,85	14,971	14,09	13,21
3 1/2	2.25	6,28	19,88	19,52	18,49	17,466	16,44	15,41
4 1/2	2.50	5,98	18,93	18,59	17,61	16,635	15,66	14,68
5	3.00	11,97	37,87	37,18	35,23	33,269	31,31	29,36
5	6	23,94	75,73	74,37	70,45	66,538	62,62	58,71
5 1/2	3.40	14,92	47,21	46,36	43,92	41,476	39,04	36,60
6	4.00	19,15	60,58	59,49	56,36	53,231	50,10	46,97
6	7,2	34,47	109,05	107,09	101,45	95,815	90,18	84,54
6 5/8	4.30	22,74	71,92	70,63	66,91	63,193	59,48	55,76
6 5/8	8	42,30	133,81	131,40	124,48	117,569	110,65	103,74
7 5/8	4.50	27,38	86,63	85,07	80,59	76,113	71,64	67,16
7 5/8	9,2	55,98	177,11	173,92	164,76	155,609	146,46	137,30
8 5/8	5.50	37,86	119,76	117,61	111,42	105,226	99,04	92,85
8 5/8	10,5	72,27	228,64	224,52	212,70	200,886	189,07	177,25
9 5/8	5.50	42,25	133,65	131,24	124,33	117,425	110,52	103,61
9 5/8	7.00	53,77	170,10	167,03	158,24	149,450	140,66	131,87
9 5/8	10,5	80,65	255,14	250,55	237,36	224,174	210,99	197,80
10 3/4	7.00	60,06	189,99	186,57	176,75	166,931	157,11	147,29
10 3/4	9.00	77,22	244,28	239,88	227,25	214,626	202,00	189,38
12 3/4	9.00	91,57	289,67	284,45	269,48	254,509	239,54	224,57
12 3/4	11.00	111,91	354,04	347,66	329,37	311,067	292,77	274,47

Fuente: Elaboración Propia.

Nota:

- Para Perfiles CONDUVEN ECO de sección cuadrada y rectangular:
  - DN: designación comercial del producto en milímetros
  - Propiedades mecánicas del acero según Especificaciones ASTM A572-Grado 50: F_Y=3515 kgf/cm^2 - F_u= 4360 kgf/cm^2.

- Los valores reportados en la tabla corresponden a $\phi_t Pn$ expresados en kgf.
- Tomar el menor valor de Agotamiento resistente.
- Obs: La tracción de rotura sobre el área neta efectiva (Ae) controlara la tracción de cedencia sobre el área total (A), a menos que la conexión del miembro en tracción pueda ser configurada con Ae ≥ 0.97A.

- Para Perfiles CONDUVEN ECO de sección circular:
  - NPS: designación comercial del producto en pulgadas
  - Propiedades mecánicas del acero según Especificaciones ASTM A572-Grado 50: FY=3515 kgf/cm2 - Fu= 4360 kgf/cm2.
  - Los valores reportados en la tabla corresponden a $\phi_t Pn$ expresados en kgf.
  - Tomar el menor valor de Agotamiento resistente.
  - Obs: La tracción de rotura sobre el área neta efectiva (Ae) controlara la tracción de cedencia sobre el área total (A), a menos que la conexión del miembro en tracción pueda ser configurada con Ae ≥ 0.89A.

5-2.3. Miembros solicitados a compresión.

Se deben verificar los miembros que se encuentren sometidos a fuerzas de compresión.

- La resistencia de diseño para el pandeo por flexión de miembros a compresión es φcPn.

$\varphi c = 0.90$ **(5-6)**

$Pn = Fcr\ Ag$ **(5-7)**

- Fcr debe ser determinado según lo siguiente:

Cuando, $\frac{KL}{r} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ o (Fe≥ 0.44Fy)

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy \qquad \textbf{(5-8)}$$

Cuando, $\frac{KL}{r} > 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ o (Fe < 0.44Fy)

$$Fcr = 0.877\ Fe \qquad \textbf{(5-9)}$$

Donde:

Fe = tensión crítica de pandeo elástico determinada de acuerdo a la ecuación:

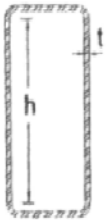
$$Fe = \frac{\Pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \qquad \textbf{(5-10)}$$

Las secciones se clasifican como compactas, no compacta o esbeltas; en las primeras, sus alas deben estar continuamente conectadas al alma o ala y la relación de anchura-espesor de sus miembros comprimidos no debe exceder la razón límite de anchura-espesor λp.

Cuando la relación anchura-espesor de uno o más miembros comprimidos excede λp, pero no excede el valor λr, la sección se denomina no compacta.

Si la relación anchura-espesor de cualquier elemento exceder el valor λr, la sección se denomina esbelta.

TABLA 5- 4. Límites de la relación ancho-espesor de los elementos comprimidos para perfiles tubulares según especificaciones ANSI/AISC 360-05

Caso	Relación ancho-espesor	λ_p (compacto)	λ_r (no compacto)	Forma de la Sección
C1	D/t	----	$0{,}11\ E/F_y$ (65,72)	
C2		$0{,}07\ E/F_y$ (41,82)	$0{,}31\ E/F_y$ (185,21)	
C3	b/t (flexión) b/t ó h/t (compresión)	$1{,}12\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (27,38)	$1{,}40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (34,22)	
C4	h/t (flexión)	$2{,}42\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (59,15)	$5{,}72\sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (139,32)	

Fuente: (Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares, 2011)

A continuación se presenta la clasificación de los perfiles Coduven ECO según su relación de anchura- espesor.

TABLA 5- 5. Relación de esbeltez de los perfiles Conduven ECO según el AISC

Seccion Circular		Seccion Cuadrada		Seccion Rectagunlar		
Designacion comercial	Relacion de esbeltez	Designacion comercial	Relacion de Esbeltez	Designacion Comercial	Esbeltez ala	Esbeltez alma
D pulg NPS	D/t	H x B mm DN	b/t = h/t	H x B mm DN	b/t	h/t
3	33.87	60 x 60	20.67	80 x 40	11.78	29.56
3 1/2	39.51	70 x 70	25.11	100 x 40	11.78	38.44*
4 1/2	45.72	90 x 80	30.00	120 x 60	18.00	42.00*
5	42.33	100 x 100	27.33	140 x 60	14.00	40.67*
5	21.17	100 x 100	10.67	160 x 65	13.12	41.06*
5 1/2	41.09	110 x 110	26.35	180 x 65	10.25	39.00*
6	38.10	120 x 120	24.00	200 x 70	10.28	40.51*
6	21.17	120 x 120	10.67	220 x 90	14.00	42.89*
6 5/8	39.14	135 x 135	25.40	260 x 90	10.36	41.27*
6 5/8	21.04	135 x 135	10.88	300 x 100	12.18	48.55*
7 5/8	43.04	155 x155	28.44	300 x 100	8.29	36.86*
7 5/8	21.05	155 x 155	10.85	320 x 120	11.14	39.71*
8 5/8	39.84	175 x 175	25.82	320 x 120	7.33	29.56
8 5/8	20.87	175 x 175	10.67	350 x 170	12.89	32.89
9 5/8	44.45	200 x 200	30.36	350 x 170	9.45	25.82
9 5/8	34.93	200 x 200	22.57			
9 5/8	23.29	200 x 200	13.05			
10 3/4	39.01	220 x 220	25.43			
10 3/4	30.34	220 x 220	18.44			
12 3/4	35.98	260 x 260	22.89			
12 3/4	29.44	260 x 260	17.64			

Fuente: Elaboración Propia

- Para secciones circulares $d/t \leq 65{,}72$
- Para perfiles cuadrados y rectangulares b/t o $h/t \leq 34{,}22$
- Los valores marcados con (*) indican que dicha relación de ancho- espesor supera el valor de λr, por lo tanto son denominadas como secciones esbeltez y los que no están marcados son denominadas “no compactas”.

  Las secciones esbeltas pueden usarse para el diseño de cerchas espaciales pero es importante resaltar que la capacidad de compresión disminuye.

Por lo tanto si la sección se denomina esbelta, la *resistencia de compresión nominal, Pn,* debe ser determinada basándose en el estado límite de pandeo por flexión, torsional o flexo-torsional.

$Pn = Fcr\ Ag$ Ec.4.2-10

Cuando $\frac{KL}{r} \leq 4.71\sqrt{\frac{QE}{Fy}}$ (o $Fe \geq 0.44QFy$)

$$Fcr = Q\left[0.658^{\frac{QFy}{Fe}}\right]Fy \quad \textbf{(5-11)}$$

Cuando $\frac{KL}{r} > 4.71\sqrt{\frac{QE}{Fy}}$ (o $Fe < 0.44QFy$)

$$Fcr = 0.877Fe \quad \textbf{(5-12)}$$

Donde:

Fe =tensión crítica de pandeo elástico, calculada usando:

Para miembros con simetría doble:

$$Fe = \frac{\Pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad \textbf{(5-13)}$$

$$Fe = \left[\frac{\Pi^2 ECw}{(KzL)^2} + GJ\right]\frac{1}{Ix+Iy} \quad \textbf{(5-14)}$$

Para miembros con simetría simple:

$Fe = \frac{\Pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$ Ec.4.2-15

$$Fe = \left(\frac{Fey+Fez}{2H}\right)\left[1 - \sqrt{1 - \frac{4FeyFezH}{(Fey+Fez)^2}}\right] \quad \textbf{(Ec. 5-16)}$$

Donde:

$$Fex = \frac{\Pi^2 E}{\left(\frac{KxL}{rx}\right)^2} \quad \textbf{(5-17)}$$

$$Fey = \frac{\Pi^2 E}{\left(\frac{KyL}{ry}\right)^2} \quad \textbf{(5-18)}$$

$$Fez = \left(\frac{\Pi^2 ECw}{(KzL)^2} + GJ\right)\frac{1}{Agro^2} \quad \textbf{(5-19)}$$

Para miembros asimétricos:

$$(Fe - Fex)(Fe - Fey)(Fe - Fez) - Fe^2(Fe - Fey)\left(\frac{xo}{ro}\right)^2 - Fe^2(Fe - Fex)\left(\frac{yo}{ro}\right)^2 = 0 \quad \textbf{(5-20)}$$

Donde: Fe es la menor raíz de la ecuación cubica

Nota: si los ángulos son simples Fe se calcula:

$$Fe = \frac{\Pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad \textbf{(5-21)}$$

- *Q*= 1.0 para elementos en compresión uniforme (no compactos).
- *Q= QsQa* para miembros con secciones de elementos esbeltos.
- *Q= Qs(Qa=1).*para secciones compuestas solamente por elementos esbeltos no atiesados
- *Q= Qa(Qs=1).* Para secciones compuestas solamente por elementos esbeltos atiesados
- *Q= QsQa.*para secciones compuestas por ambos elementos esbeltos no atiesados y atiesados.

Elementos esbeltos no rigidizados, *Qs*:

Para ángulos simples:

Cuando $\frac{b}{t} \leq 0.45\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

Qs=1.0 **(5-22)**

Cuando $0.45\sqrt{\frac{E}{Fy}} < \frac{b}{t} < 0.91\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

$$Qs = 1.34 - 0.76\left(\frac{b}{t}\right)\sqrt{\frac{Fy}{E}} \quad \textbf{(5-23)}$$

Cuando $\frac{b}{t} \geq 0.91\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

$$Qs = \frac{0.53E}{Fy\left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad \textbf{(5-24)}$$

Donde:

b= ancho completo del ala de ángulo más larga, (mm)

Elementos esbeltos rigidizados, *Qa:*

$$Qa = \frac{Aeff}{A} \quad \textbf{(Ec 4.3-25)}$$

Donde:

A= Área seccional total del miembro *(mm^2)*

Aeff= Suma de las áreas efectivas de las secciones basadas en el ancho efectivo reducido, *be, (mm^2)*

El ancho efectivo reducido, *be,* se determina de la siguiente manera:

Para elementos esbeltos en compresión uniforme, con $\frac{b}{t} \geq 1.49\sqrt{\frac{E}{Fy}}$ excepto para alas de tubos cuadrados y rectangulares de espesor uniforme:

$$be = 1.92t\sqrt{\frac{E}{f}}\left[1 - \frac{0.34}{b/t}\sqrt{\frac{E}{f}}\right] \leq b \quad \textbf{(5-26)}$$

Donde:

f se toma como *Fcr* con *Fcr* calculada con *Q=1.0.*

Para alas de elementos esbeltos de tubos cuadrados y rectangulares en compresión uniforme con: $\frac{b}{t} \geq 1.40\sqrt{\frac{E}{Fy}}$

$$be = 1.92t\sqrt{\frac{E}{f}}\left[1 - \frac{0.38}{{}^{b}/_{t}}\sqrt{\frac{E}{f}}\right] \leq b \qquad \textbf{(5-27)}$$

Donde

$$f = {}^{Pn}/_{Aeff} \qquad \textbf{(5-28)}$$

Nota: en vez de calcular $f = Pn/Aeff$, que requiere iteración, f puede ser tomada igual a *Fy*. Esto resulta en una estimación levemente conservadora en la capacidad de la columna.

Para tubos circulares cargados axialmente, cuando $0.11\frac{E}{Fy} < \frac{D}{t} < 0.45\frac{E}{Fy}$

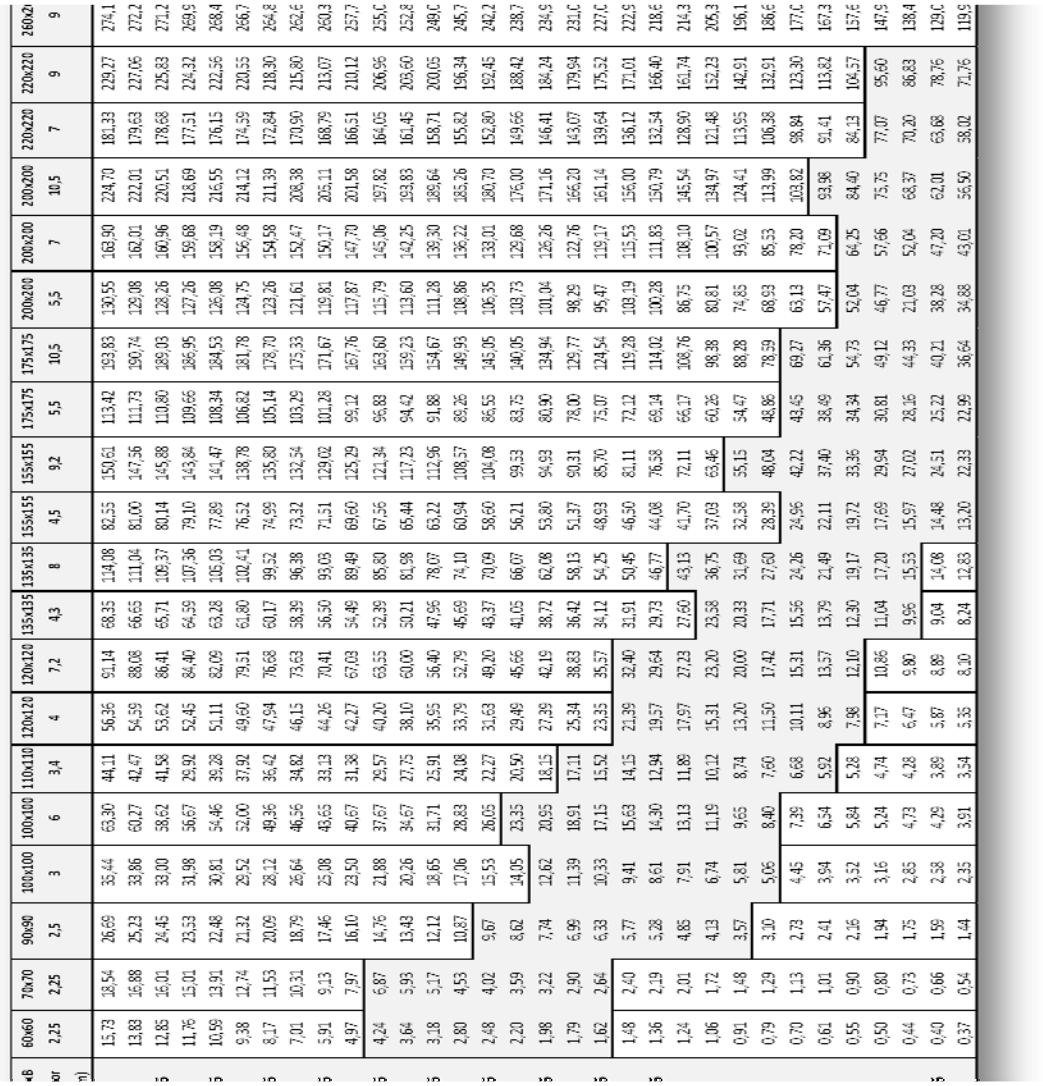
$$Q = Qa = \frac{0.038E}{Fy({}^{D}/_{t})} + \frac{2}{3} \qquad \textbf{(5-29)}$$

Donde

D = Diámetro exterior (mm)

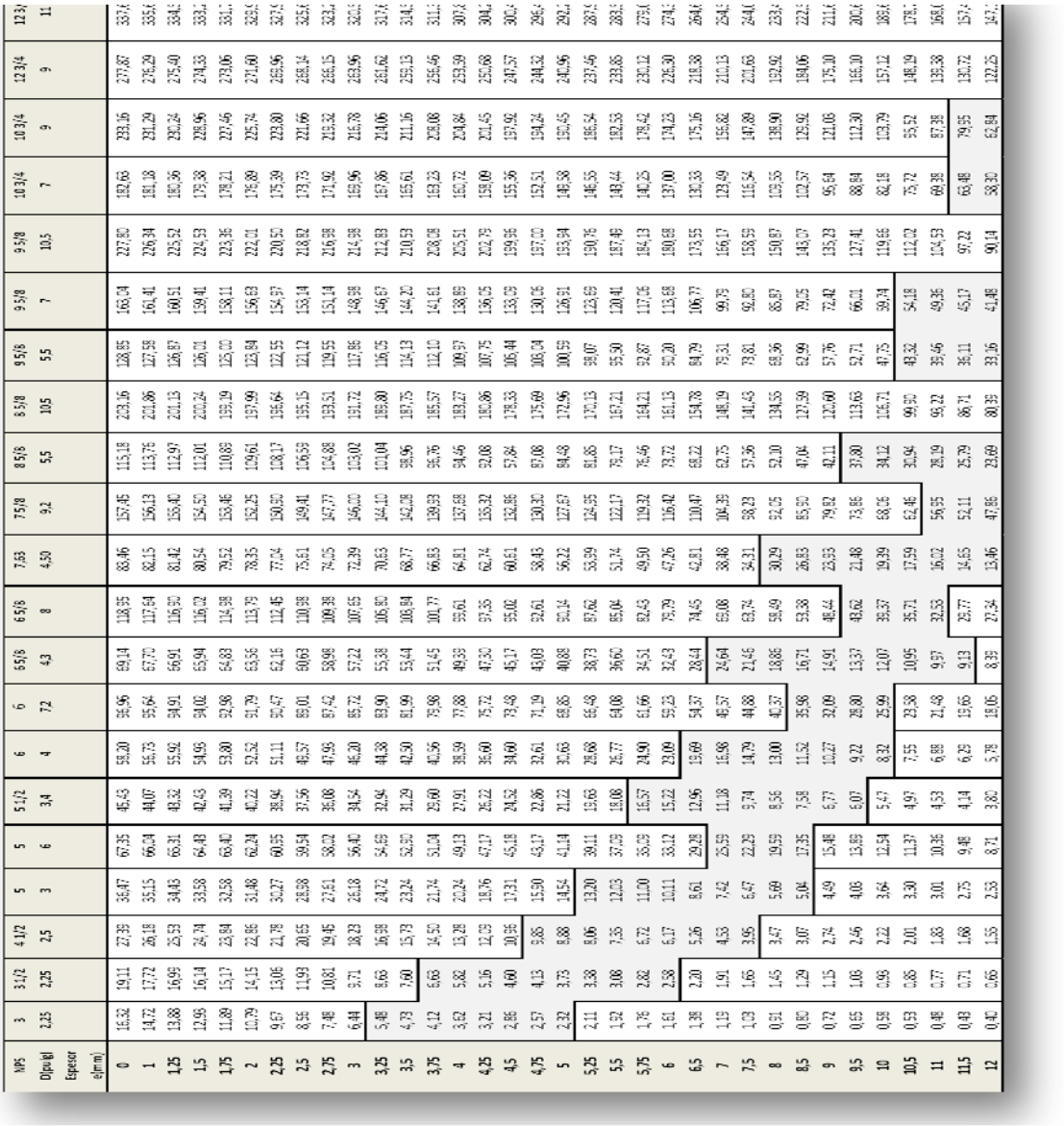
t = Espesor de pared, (mm)

TABLA 5- 6. Capacidad de miembros a compresión Conduven ECO- Sección Cuadrada



Fuente: Elaboración Propia

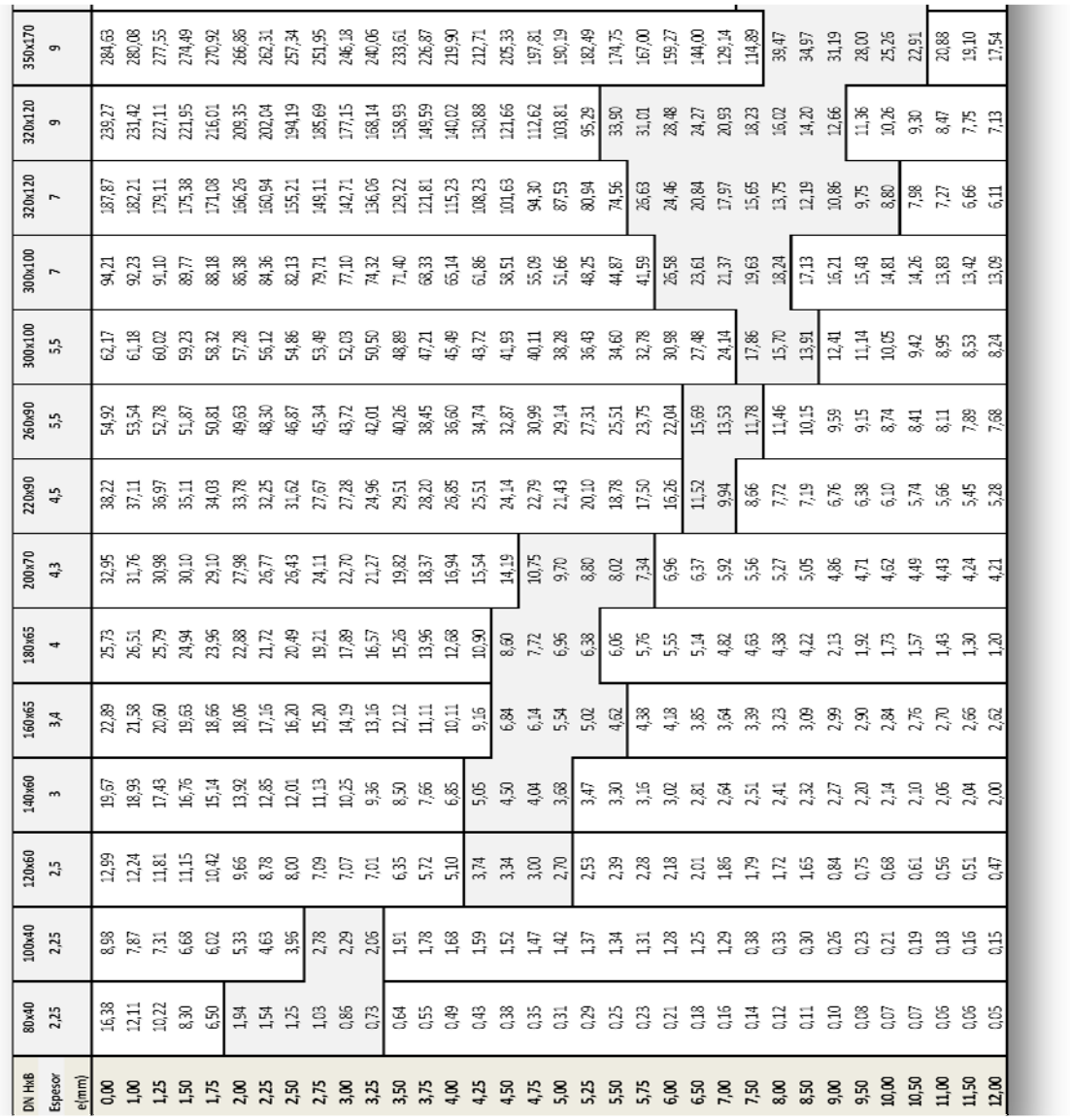
TABLA 5- 7. Capacidad de miembros a compresión Conduven ECO- Sección Circular.



NPS	3	3 1/2	4 1/2	5	5	5 1/2	6	6	6 5/8	7.63	7 5/8	8 5/8	9 5/8	9 5/8	10 3/4	10 3/4	12 3/4	12 3
D(pulg)	2.25	2.25	2.5	3	6	3.4	4	7.2	8	4.50	9.2	5.5	10.5	7	9	7	9	11
Espesor e(mm)																		
0	16.32	19.11	27.35	35.47	67.35	45.43	58.20	38.96	118.95	83.46	157.45	115.18	223.16	168.85	227.80	168.65	293.16	337.8
1	14.72	17.72	26.18	35.15	66.04	44.07	56.73	35.64	117.64	82.15	156.13	113.76	221.86	127.58	226.34	161.41	291.29	335.8
1.25	13.88	16.95	25.53	34.43	65.31	43.32	55.92	34.91	116.50	81.42	155.40	112.97	220.13	126.57	225.52	160.51	290.24	334.1
1.5	12.95	16.14	24.74	33.58	64.43	42.43	54.95	34.02	116.52	80.54	154.50	112.01	220.24	126.01	224.53	159.41	289.96	333.4
1.75	11.89	15.17	23.84	32.58	63.40	41.39	53.80	32.98	114.98	79.52	153.46	110.83	219.19	125.00	223.36	158.11	288.21	331.7
2	10.79	14.15	22.86	31.48	62.24	40.22	52.52	31.79	113.75	78.35	152.25	129.61	157.99	123.84	222.01	156.63	287.60	329.9
2.25	9.57	13.06	21.78	30.27	60.95	38.94	51.11	30.47	112.45	77.54	150.70	128.17	156.64	122.55	220.50	154.97	286.96	327.9
2.5	8.56	11.93	20.65	28.98	59.54	37.56	49.57	89.01	110.98	75.61	149.41	126.59	155.15	121.12	218.82	153.14	285.24	325.8
2.75	7.48	10.81	19.45	27.61	58.02	36.08	47.95	87.42	109.38	74.25	147.77	124.88	153.51	119.55	216.98	151.14	283.36	323.8
3	6.44	9.71	18.23	26.18	56.40	34.54	46.20	85.72	107.65	72.39	146.00	123.02	151.72	117.86	214.98	148.98	281.36	320.5
3.25	5.48	8.63	16.98	24.72	54.69	32.94	44.38	83.90	105.80	70.63	144.10	121.04	149.80	116.05	212.83	146.67	279.06	317.8
3.5	4.73	7.60	15.73	23.24	52.80	31.29	42.50	81.99	103.84	68.77	142.08	98.96	147.75	114.13	210.53	144.20	276.53	314.5
3.75	4.12	6.63	14.50	21.74	51.04	29.60	40.56	79.98	101.77	66.83	139.93	95.76	145.57	112.10	208.08	141.61	273.88	311.1
4	3.62	5.82	13.28	20.24	49.13	27.91	38.59	77.88	99.63	64.81	137.68	94.46	143.27	109.97	205.51	138.89	271.09	307.3
4.25	3.21	5.16	12.03	18.76	47.17	26.22	36.60	75.72	97.35	62.74	135.32	92.08	140.86	107.75	202.79	136.05	268.09	304.4
4.5	2.86	4.60	10.86	17.31	45.18	24.52	34.60	73.48	95.02	60.61	132.86	57.84	178.53	105.44	199.96	133.09	265.06	300.9
4.75	2.57	4.13	9.85	15.90	43.17	22.86	32.61	71.29	92.61	58.43	130.30	87.08	175.69	103.04	197.00	130.26	261.96	296.9
5	2.32	3.73	8.88	14.54	41.14	21.22	30.66	68.85	90.14	56.22	127.67	84.48	172.96	100.59	193.94	126.51	258.76	292.7
5.25	2.11	3.38	8.06	13.20	39.11	19.63	28.68	66.48	88.73	53.99	124.55	81.85	170.13	98.07	190.76	123.69	255.36	287.9
5.5	1.92	3.08	7.35	12.03	37.03	18.08	26.77	64.08	85.04	51.74	122.17	79.17	167.21	95.50	187.48	120.41	251.85	283.1
5.75	1.76	2.82	6.72	11.00	35.03	16.57	24.90	61.66	82.43	49.50	119.32	76.46	164.21	92.87	184.13	117.06	248.25	278.6
6	1.61	2.58	6.17	10.11	33.12	15.22	23.09	59.23	79.79	47.26	116.42	73.72	161.13	90.20	180.68	113.68	137.00	274.1
6.5	1.38	2.20	5.26	9.61	29.28	12.96	19.69	54.37	74.45	42.81	110.47	68.22	154.78	84.79	106.77	99.75	132.33	264.6
7	1.15	1.91	4.53	7.42	25.59	11.18	16.98	46.57	65.08	38.48	106.35	62.75	148.19	79.51	166.17	99.75	129.49	254.1
7.5	1.03	1.65	3.95	6.47	22.29	9.74	14.79	44.88	63.74	34.31	58.23	57.36	141.43	79.81	158.55	92.80	116.54	244.0
8	0.91	1.45	3.47	5.69	19.55	8.56	13.00	40.37	58.49	30.29	52.75	52.10	134.55	68.96	150.97	85.87	103.55	233.4
8.5	0.80	1.29	3.07	5.04	17.35	7.58	11.52	35.98	53.38	26.83	85.50	47.04	127.59	62.99	143.07	79.95	102.57	222.3
9	0.72	1.15	2.74	4.49	15.48	6.77	10.27	32.09	48.44	23.93	79.82	42.11	122.60	57.76	135.23	72.42	95.64	211.6
9.5	0.65	1.03	2.46	4.03	13.89	6.07	9.22	28.80	43.62	21.48	73.86	37.80	113.63	52.71	127.41	66.21	88.84	200.6
10	0.58	0.93	2.22	3.64	12.54	5.47	8.32	25.99	39.37	19.39	68.26	34.12	105.71	47.75	119.66	59.74	82.18	189.8
10.5	0.53	0.85	2.01	3.30	11.37	4.97	7.55	23.58	35.71	17.59	62.46	30.94	99.57	43.32	112.72	54.18	75.72	178.1
11	0.48	0.77	1.83	3.01	10.36	4.53	6.88	21.48	32.53	16.02	56.95	28.19	93.22	39.46	104.53	49.36	69.38	168.0
11.5	0.43	0.71	1.68	2.75	9.48	4.14	6.25	19.65	29.77	14.65	52.11	25.79	86.71	36.11	97.22	45.17	63.48	157.7
12	0.40	0.66	1.55	2.53	8.71	3.82	5.78	18.05	27.34	13.46	47.86	23.69	80.35	33.26	90.14	41.48	58.30	147.7

Fuente: Elaboración Propia.

TABLA 5- 8. Capacidad de miembros a compresión Conduven ECO- Sección Rectangular



DN HxB	80x40	100x40	120x60	140x60	160x65	180x65	200x70	220x90	260x90	300x100	300x120	320x120	350x170
Espesor e(mm)	2,25	2,25	2,5	3	3,4	4	4,3	4,5	5,5	5,5	7	9	9
0,00	16,38	8,98	12,99	19,67	22,89	25,73	32,95	38,22	54,92	62,17	94,21	187,87	239,27	284,63
1,00	12,11	7,87	12,24	18,93	21,58	26,51	31,76	37,11	53,54	61,18	92,23	182,21	231,42	280,08
1,25	10,22	7,31	11,81	17,43	20,60	25,79	30,98	36,97	52,78	60,02	91,10	179,11	227,11	277,55
1,50	8,30	6,68	11,15	16,76	19,63	24,94	30,10	35,11	51,87	59,23	89,77	175,38	221,95	274,49
1,75	6,50	6,02	10,42	15,14	18,66	23,96	29,10	34,03	50,81	58,32	88,18	171,08	216,01	270,92
2,00	1,94	5,33	9,66	13,92	18,06	22,88	27,98	33,78	49,63	57,28	86,38	166,26	209,35	266,86
2,25	1,54	4,63	8,78	12,85	17,16	21,72	26,77	32,25	48,30	56,12	84,36	160,94	202,04	262,31
2,50	1,25	3,95	8,00	12,01	16,20	20,49	26,43	31,62	46,87	54,86	82,13	155,21	194,19	257,34
2,75	1,03	2,78	7,09	11,13	15,20	19,21	24,11	27,67	45,34	53,48	79,71	149,11	185,69	251,95
3,00	0,86	2,29	7,07	10,25	14,19	17,89	22,70	27,28	43,72	52,03	77,10	142,71	177,15	246,18
3,25	0,73	2,06	7,01	9,36	13,16	16,57	21,27	24,96	42,01	50,50	74,32	136,06	168,14	240,06
3,50	0,64	1,91	6,35	8,50	12,12	15,26	19,82	29,51	40,26	48,89	71,40	129,22	158,93	233,61
3,75	0,55	1,78	5,72	7,66	11,11	13,96	18,37	28,20	38,45	47,21	68,33	121,81	149,59	226,87
4,00	0,49	1,68	5,10	6,85	10,11	12,68	16,94	26,85	36,60	45,49	65,14	115,23	140,02	219,90
4,25	0,43	1,59	3,74	5,05	9,16	10,90	15,54	25,51	34,74	43,72	61,86	108,23	130,88	212,71
4,50	0,38	1,52	3,34	4,50	6,84	8,60	14,19	24,14	32,87	41,93	58,51	101,63	121,66	205,33
4,75	0,35	1,47	3,00	4,04	6,14	7,72	10,75	22,79	30,99	40,11	55,09	94,30	112,62	197,81
5,00	0,31	1,42	2,70	3,68	5,54	6,96	9,70	21,43	29,14	38,28	51,66	87,53	103,81	190,19
5,25	0,29	1,37	2,53	3,47	5,02	6,38	8,80	20,10	27,31	36,43	48,25	80,94	95,29	182,49
5,50	0,25	1,34	2,39	3,30	4,62	6,06	8,02	18,78	25,51	34,60	44,87	74,56	33,90	174,75
5,75	0,23	1,31	2,28	3,16	4,38	5,76	7,34	17,50	23,75	32,78	41,59	26,63	31,01	167,00
6,00	0,21	1,28	2,18	3,02	4,18	5,55	6,96	16,26	22,04	30,98	26,58	24,46	28,48	159,27
6,50	0,18	1,25	2,01	2,81	3,85	5,14	6,37	11,52	15,69	27,48	23,61	20,84	24,27	144,00
7,00	0,16	1,29	1,86	2,64	3,64	4,82	5,92	9,94	13,53	24,14	21,37	17,97	20,93	129,14
7,50	0,14	0,38	1,79	2,51	3,39	4,63	5,56	8,66	11,78	17,86	19,63	15,65	18,23	114,89
8,00	0,12	0,33	1,72	2,41	3,23	4,38	5,27	7,72	11,46	15,70	18,24	13,75	16,02	39,47
8,50	0,11	0,30	1,65	2,32	3,09	4,22	5,05	7,19	10,15	13,91	17,13	12,19	14,20	34,97
9,00	0,10	0,26	0,84	2,27	2,99	2,13	4,86	6,76	9,59	12,41	16,21	10,86	12,66	31,19
9,50	0,08	0,23	0,75	2,20	2,90	1,92	4,71	6,38	9,15	11,14	15,43	9,75	11,36	28,00
10,00	0,07	0,21	0,68	2,14	2,84	1,73	4,62	6,10	8,74	10,05	14,81	8,80	10,26	25,26
10,50	0,07	0,19	0,61	2,10	2,76	1,57	4,49	5,74	8,41	9,42	14,26	7,98	9,30	22,91
11,00	0,06	0,18	0,56	2,06	2,70	1,43	4,43	5,66	8,11	8,95	13,83	7,27	8,47	20,88
11,50	0,06	0,16	0,51	2,04	2,66	1,30	4,24	5,45	7,89	8,53	13,42	6,66	7,75	19,10
12,00	0,05	0,15	0,47	2,00	2,62	1,20	4,21	5,28	7,68	8,24	13,09	6,11	7,13	17,54

Fuente: Elaboración Propia

Nota:

- Para Perfiles CONDUVEN ECO de sección cuadrada y rectangular:
  - DN: designación comercial del producto en milímetros

- Propiedades mecánicas del acero según Especificaciones ASTM A572-Grado 50 : F_Y=3515 kgf/cm^2 - F_u= 4360 kgf/cm^2.
- Módulo de Elasticidad: E=2.1x10^6 kgf/cm^2.
- Los valores reportados en la tabla corresponden a ϕ_cPn expresados en 10^3 kgf. $\phi_c = 0.85$
- Valores con fondo más claros (superiores a la primera línea) corresponden a pandeo inelásticos
- Valores sombreados entre las dos líneas divisorias corresponden a pandeo elástico
- Valores bajo la segunda línea corresponden a KL/r > 200.

- Para Perfiles CONDUVEN ECO de sección circular.
  - NPS: Designación comercial del producto en pulgadas.
  - Propiedades mecánicas del acero según Especificaciones ASTM A572-Grado 50 : F_Y=3515 kgf/cm^2 - F_u= 4360 kgf/cm^2.
  - Módulo de Elasticidad: E=2.1x10^6 kgf/cm^2.
  - Los valores reportados en la tabla corresponden a ϕ_cPn expresados en 10^3. $\phi_c = 0.90$
  - Valores con fondo más claros (superiores a la primera línea) corresponden a pandeo inelásticos
  - valores sombreados entre las dos líneas divisorias corresponden a pandeo elástico.
  - Valores bajo la segunda línea corresponden a kL/r > 200.

5-2.4. Estados limites

Se debe verificar la capacidad del perfil según los estados límites correspondientes a la SET de acuerdo con las especificaciones "*Load and Resistance Factor Design for Steel Hollow Structural Sections*", ANSI/AISC 360-05

- **Para SET Circulares:**

Según las especificaciones *LRFD-HSS,* se debe incorporar la interacción de la tensión debido a las cargas del cordón y a las cargas locales de conexión de miembros secundarios (ramas) a través del parámetro de interacción *Qf*.

Cuando el cordón está en tracción

$$Qf=1 \qquad \textbf{(5-30)}$$

Cuando el cordón está en compresión

$$Qf= Qf= 1.0 - 0.3U\,(1 + U) \qquad \textbf{(5-31)}$$

Donde *U,* es una relación de uso dada por:

$$U = |Pu\ /AgFy + Mu\ /SFy| \qquad \textbf{(5-32)}$$

Pu: Resistencia axial requerida en el cordón

Mu: Resistencia de flexión requerida en el cordón

Fy: Tensión disponible

S: Módulo elástico del cordón

Ag: Área total del cordón

Miembros secundarios con cargas axiales en Conexiones T,Y y Cruz

La resistencia disponible del miembro secundario (φPn) debe ser el menor valor obtenido de acuerdo a los estados límites de plastificación de la pared del cordón y cedencia por corte (punzonamiento).

Para el estado límite de la plastificación del cordón (T y Y):

$$\varphi = 0.90 \qquad \textbf{(5-33)}$$

$$Pn\text{sen}\,\theta = Fy\,t^2[3.1 + 15.6\,\beta^2]\,\gamma^{0.2}Qf \qquad \textbf{(5-34)}$$

Donde:

β: Relación de anchura, entre el diámetro del miembro secundario y el diámetro del cordón: D_b/D.

γ: Relación de esbeltez del cordón, relación entre el diámetro del cordón y dos veces el espesor: $D/2t$.

Para el estado límite de la plastificación de la pared del cordón (Cruz):

$$\varphi = 0.90 \qquad \textbf{(5-35)}$$

$$Pn\text{sen}\square = Fy\, t^2[5.7/(1 - 0.81\,\beta)]Qf \qquad \textbf{(5-36)}$$

Para el estado límite de cedencia por corte (punzonamiento):

$$\varphi = 0.95 \qquad \textbf{(5-37)}$$

$$Pn = 0.6Fy\, t\pi Db[(1 + \sin\theta)/2\sin^2\theta] \qquad \textbf{(5-38)}$$

Este estado limite no necesita ser verificado cuando $\beta > (1 - 1/4)$. **(5-39)**

Miembros secundarios con cargas axiales en Conexiones Tipo K:

Para las conexiones Tipo K, la resistencia de diseño disponible (φPn) del miembro secundario, será el menor valor obtenido de acuerdo con los estados límites de plastificación del cordón para conexiones con excentricidad y solapadas y cedencia por corte (punzonamiento) para conexiones con excentricidad solamente.

Para el estado límite de la plastificación de la pared del cordón:

$$\varphi = 0.90 \qquad \textbf{(5-40)}$$

Para miembros secundarios en compresión

$$Pn\text{sen}\,\theta = Fy\, t^2[2.0 + 11.33Db/D]QgQf \qquad \textbf{(5-41)}$$

Donde:

$$Qg = \gamma^{0.2}\left[1 + \frac{0.024\gamma^{1.2}}{e^{\left(\frac{0.5g}{t}-1.33\right)}+1}\right]$$

Nota: en conexiones con excentricidad, g (medida lo largo de la corona del cordón despreciando las dimensiones de la soldadura) es positivo. En conexiones solapadas, g es negativo y es igual a q.

D_b se refiere solamente al miembro secundario en compresión.

Para miembros secundarios en tracción:

$$Pnsen\square = (Pnsen\square)_{miembro\ secundario\ en\ compresión.} \quad \textbf{(5-42)}$$

Para el estado límite de cedencia por corte (punzonamiento):

$$\varphi = 0.95 \quad \textbf{(5-43)}$$

$$Pn = 0.6Fy\ t\pi Db[(1 + \sin\theta)/2\sin^2\theta] \quad \textbf{(5-44)}$$

- **Para SET Rectangulares:**

Según las especificaciones *LRFD-HSS,* se debe incorporar la interacción de la tensión debido a las cargas del cordón y a las cargas locales de conexión de miembros secundarios (ramas) a través del parámetro de interacción *Qf*.

Cuando el cordón está a tracción:

$$Qf = 1 \quad \textbf{(5-45)}$$

Cuando el cordón está a compresión (conexiones Tipo T, Y y Cruz):

$$Qf = 1.3 - 0.4U/\beta \leq 1 \quad \textbf{(5-46)}$$

Cuando el cordón está a compresión (conexiones Tipo K con excentricidad):

$$Qf = 1.3 - 0.4U/\beta eff \leq 1 \quad \textbf{(5-47)}$$

Donde *U,* es una relación de uso dada por:

$$U = |Pu\ /AgFy + Mu\ /SFy| \quad \textbf{(5-48)}$$

Pu: Resistencia axial requerida en el cordón

Mu: Resistencia de flexión requerida en el cordón

Fy: Tensión disponible

S: Módulo elástico del cordón

Ag: Área total del cordón

βeff: Relación de ancho efectiva; suma de los perímetros de los dos miembros secundarios en una conexión K dividida por ocho veces el ancho del cordón.

Miembros secundarios con cargas axiales en Conexiones T,Y y Cruz

Para conexiones T , Y y Cruz, la resistencia disponible del miembro secundario debe ser el menor valor obtenido de acuerdo a los estados límites de plastificación de la pared del cordón, cedencia por corte (punzonamiento), resistencia de la pared lateral y cedencia local debido a la distribución des balanceada de la carga.

Para el estado límite de la plastificación del cordón (T y Y):

$$\varphi = 1.0 \quad \textbf{(5-49)}$$

$$Pn \operatorname{sen}\theta = Fy\, t^2 \left[\frac{2\eta}{1-\beta} + \frac{4}{\sqrt{(1-\beta)}}\right] Qf \quad \textbf{(5-50)}$$

Este límite no requiere ser verificado cuando $\beta > 0.85$. **(5-51)**

Para el estado límite de cedencia por corte (punzonamiento):

$\varphi = 0.95$ ***(5-52)***

$Pn\text{sen}\theta = 0.6Fyt\ B[2\eta + 2\beta eop]Qf$ ***(5-53)***

$\beta eop = 5\beta/\gamma$ no debe exceder β. ***(5-54)***

Este límite no requiere ser verificado cuando $\beta > (1 - 1/\gamma)$ o cuando

$\beta > 0.85$ y $B/t \geq 10$. ***(5-55); (5-56); (5-57)***

Para el estado límite de resistencia de la pared lateral, la resistencia disponible para los miembros secundarios en tracción debe tomarse como la resistencia disponible por cedencia local de la pared. Para el estado límite de resistencia de la pared lateral para los miembros secundarios en compresión debe tomarse como el menor valor de las resistencias disponibles por cedencia local y aplastamiento local de la pared lateral.

Este estado limite no necesita ser verificado a no ser que el cordón y los miembros secundarios tengan el mismo ancho ($\beta = 1.0$).

Para el estado límite de cedencia local :

$\varphi = 1.0$ ***(5-58)***

$Pn\text{sen}\theta = 2t\ Fy(5k + N)$ ***(5-59)***

Donde:

k : Radio externo de la esquina de la SET, el cual será tomado como 1.5t sino es conocido (*mm*)

N : Longitud de soporte de la carga a lo largo de la SET, $Hb/\text{sen}\ \theta$ (*mm*).

Hb: Altura del miembro secundario.

Para el estado límite de aplastamiento local de la pared lateral (Conexiones T y Y):

$\varphi = 0.75$ ***(5-60)***

$Pn \operatorname{sen}\theta = 1.6t^2[1 + 3N/(H - 3t)]\sqrt{EFyQf}$ ***(5-61)***

Para el estado límite de aplastamiento local de la pared lateral (Conexiones Cruz):

$\varphi = 0.90$ ***(5-62)***

$Pn \operatorname{sen}\theta = \left[\frac{48t^3}{H - 3t}\right]\sqrt{EFyQf}$ ***(5-63)***

Para el estado límite de plastificación local debido a la distribución desbalanceada (no uniforme) de la carga:

$\varphi = 0.95$ ***(5-64)***

$Pn = Fybtb[2Hb + 2beoi - 4tb]$ ***(5-65)***

Donde:

$beoi = \frac{10}{B/t}\frac{Fy\,t}{Fybtb}Bb \leq Bb$ ***(5-66)***

Este límite no requiere ser verificado cuando $\beta < 0.85$. ***(5-67)***

Miembros secundarios con cargas axiales en Conexiones Tipo K con excentricidad:

Para las conexiones K con excentricidad, la resistencia disponible del miembro secundario debe ser el menor valor obtenido de acuerdo con los estados límites de plastificación de la pared del cordón, cedencia por corte (punzonamiento), cedencia por corte y cedencia local debido a la distribución desbalanceada de carga. Además los límites de aplicabilidad, deben aplicarse los siguientes límites:

$Bb/B \geq 0.1 + \gamma/50$ ***(5-68)***

$\beta eff \geq 0.35$ ***(5-69)***

$\xi \geq 0.5(1 - \beta eff)$ ***(5-70)***

Excentricidad: g mayor o igual que la suma de los espesores de la pared de los miembros secundarios.

El menor Bb>0.63 veces el mayor Bb. ***(5-71)***

Para el estado límite de la plastificación de la pared del cordón:

$\varphi = 0.90$ ***(5-72)***

$Pn \text{ sen } \theta = Fyt^2[9.8\beta eff\sqrt{\gamma}]Qf$ ***(5-73)***

Para el estado límite de cedencia por corte (punzonamiento):

$\varphi = 0.95$ ***(5-74)***

$Pn\text{sen}\theta = (0.6Fy)tB[2\eta + \beta + \beta eop]Qf$ ***(5-75)***

Beop: Parámetro de punzonamiento exterior efectivo = $5\,\beta/\gamma$ no debe exceder el valor de β. ***(5-76)***

Este límite requiere ser verificado si $Bb < B - 2t$ o si el miembro secundario no es de sección transversal cuadrada ***(5-77)***

Para el estado límite de cedencia local debido a la distribución desbalanceada de la carga:

$\varphi = 0.95$ ***(5-78)***

$Pn = Fybtb[2Hb + Bb + beoi - 4tb]$ ***(5-79)***

Donde:

$beoi = [10/(B/t)][Fy\ t/(Fybtb)]Bb \leq Bb$ ***(5-80)***

Este estado limite necesita ser verificado solamente cuando la rama no es cuadrada o B/t <15. ***(5-81)***

Miembros secundarios con cargas axiales en Conexiones Tipo K solapadas:

Para las conexiones K solapadas, la resistencia disponible de la rama debe ser determinada de acuerdo con los estados límite de cedencia local debido a la distribución desbalanceada de la carga donde:

$$\varphi = 0.95 \qquad \textbf{(5-82)}$$

Para el miembro secundario que solapa y un solape

$25\% \leq Ov \leq 50\%$, medido con respecto a ala solapada: **(5-83)**

$$Pn = Fybi\ tbi\ [(Ov/50)(2Hbi - 4tbi) + beoi + beov] \qquad \textbf{(5-84)}$$

Para el miembro secundario que solapa y un solape

$50\% \leq Ov \leq 80\%$, medido con respecto a ala solapada: **(5-85)**

$$Pn = Fybi\ tbi\ [2Hbi - 4tbi + beoi + beov] \qquad \textbf{(5-86)}$$

Para el miembro secundario que solapa y un solape

$80\% \leq Ov \leq 100\%$, medido con respecto a ala solapada: **(5-87)**

$$Pn = Fybi\ tbi\ [2Hbi - 4tbi + Bbi + beov] \qquad \textbf{(5-88)}$$

Donde:

beoi : Ancho efectivo del miembro secundario soldado al cordón

$$beoi = [10/(B/t)][(Fy\ t)/(Fybi\ tbi)]Bbi \leq Bbi \qquad \textbf{(5-89)}$$

beov: Ancho efectivo del miembro secundario soldado a la riostra solapada

$$beov = [10/(Bbj/tbj)][(Fybj\ tbj)/(Fybi\ tbi)]\ Bbi \leq Bbi \qquad \textbf{(5-90)}$$

Bbi : Ancho total del miembro secundario que solapa (mm)

Bbj : Ancho total del miembro secundario solapado. (mm)

Fybi : Tensión de cedencia mínima especificada del material del miembro secundario que solapa (*kgf/cm²)*

Fybj : Tensión de cedencia mínima especificada del material del miembro secundario solapado (*kgf/cm²)*

Hbi : Altura total del miembro secundario que solapa (*mm*)

tbi : Espesor del miembro secundario que solapa. (*mm*)

tbj : Espesor del miembro secundario solapado. (*mm*)

Para el miembro secundario que es solapado, *Pn*, no debe exceder *Pn* del miembro secundario que solapa, calculada según el estado limite de cedencia local debido a la distribución desbalanceada de la carga, multiplicado (*Abj Fybj* /*Abi Fybi*),donde:

Abi : Área total del miembro secundario que solapa (*cm²).*

Abj : Área total del miembro secundario solapado (*cm²).*

Soldaduras de los miembros secundarios:

Para conexiones Tipo T, Y y Cruz:

Cuando □ ≤ 50°

$$Le = \frac{2(Hb - 1.2tb)}{\text{sen}\theta} + (Bb - 1.2tb)$$

Cuando □ >60°

$$Le = \frac{2(Hb - 1.2tb)}{\text{sen}\theta}$$

Se utilizara interpolación lineal para la determinación de *Le* para valores de □ entre 50° y 60°.

Para conexiones Tipo K con excentricidad:

Cuando □ ≤ 50°

$$Le = \frac{2(Hb - 1.2tb)}{\sin\theta_} + 2(Bb - 1.2tb)$$

Cuando □ >60°

$$Le = \frac{2(Hb - 1.2tb)}{\sin\theta_} + (Bb - 1.2tb)$$

Se utilizara interpolación lineal para la determinación de *Le* para valores de □ entre 50° y 60°.

CAPITULO 6

DISEÑO DE CONEXIONES Y ANALISIS DE RESULTADOS

6-1. Características de las Cerchas

Para la realización de los ejemplos, respetando las limitaciones y alcances planteados, se emplearon cerchas tipo Warren, Howe y Pratt, en las cuales se diseñó la conexión en su junta más desfavorable (mayores cargas) tanto a tracción como a compresión.

A continuación se describen las características comunes para los tres tipos de cerchas.

- 10 paneles
- Longitud: 15 *m*
- Altura: 1.5 *m*
- Separación entre juntas: 1.5 *m*
- Separación entre cerchas: 6 *m*

6-2. Solicitaciones Actuantes

Para el diseño de las conexiones, se seleccionaron valores de cargas aplicadas dentro del rango que generalmente soportan las cerchas. Para cada ejemplo de diseño realizado se emplearon las siguientes cargas:

- Carga permanente

$$CP = 290\ kgf/m^2 \qquad \textbf{(6-1)}$$

- Carga variable

$$CV = 100\ kgf/m^2 \qquad \textbf{(6-2)}$$

- Mayoración de cargas

$$CU = 1.2\ CP + 1.6\ CV \quad \textbf{(6-3)}$$

$$CU = 1.2\ (290\ kgf/m^2) + 1.6\ (100\ kgf/m^2) \quad \textbf{(6-4)}$$

$$CU = 508\ kgf/m^2 \quad \textbf{(6-5)}$$

- Carga en cada junta de la cercha

Las cargas aplicadas en los cordones principales (superiores e inferiores) de la cercha son desiguales, se supuso que la carga que soporta el cordón superior es de 508 $kgf/\ m^2$, mientras que para el cordón inferior se asumió un valor de 50 $kgf/\ m^2$.

- Cordón Superior de la cercha

$$P = (508\ kgf/m^2)\ (6\ m)\ (1.5\ m) \quad \textbf{(6-6)}$$

$$P = 4572\ kgf \quad \textbf{(6-7)}$$

- Cordón Inferior de la cercha

$$p = (50\ kgf/m^2)\ (6\ m)\ (1.5\ m) \quad \textbf{(6-8)}$$

$$p = 450\ kgf \quad \textbf{(6-9)}$$

6-3. Evaluación de pesos

Las cerchas espaciales tienen un gran atractivo visual, debido a que las mismas pueden ser exhibidas en su totalidad, su gran resistencia al pandeo permite el uso de miembros largos sin la necesidad de realizar grandes arrostramientos; sin embargo el peso es el factor determinante para su utilización, ya que a mayor peso mayor es la cantidad de acero requerida, la cual es directamente proporcional al costo de la estructura.

Se estudiaron diferentes combinaciones de cerchas, ángulos de abertura, ubicación de vértice y tipo de sección tubular con la finalidad de conocer una tendencia, de cuál de

estas combinaciones es la más liviana; comparando la factibilidad entre cerchas planas y espaciales.

A continuación se presentan de manera esquemática, las combinaciones planteadas para cada tipo de cerchas espaciales y planas.

TABLA 6- 1.Combinaciones de cerchas espaciales Tipo Pratt

TIPO PRATT			
SET	**ANGULO DE ABERTURA**	**VERTICE**	**PESO (Kgf)**
CIRCULAR	45°	INFERIOR	1610,79
		SUPERIOR	1512,86
	60°	INFERIOR	1533,31
		SUPERIOR	1528,08
RECTANGULAR	45°	INFERIOR	1663,15
		SUPERIOR	1717,41
	60°	INFERIOR	1715,1
		SUPERIOR	1801,83

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 6- 2. Combinaciones de cerchas espaciales Tipo Howe

TIPO HOWE			
SET	**ANGULO DE ABERTURA**	**VERTICE**	**PESO (Kgf)**
CIRCULAR	45°	INFERIOR	1582.4
		SUPERIOR	1610.8
	60°	INFERIOR	1764.73
		SUPERIOR	1629.4
RECTANGULAR	45°	INFERIOR	1740.86
		SUPERIOR	1705.84
	60°	INFERIOR	1753.34
		SUPERIOR	1721.1

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 6- 3.Combinaciones de cerchas espaciales Tipo Warren

TIPO WARREN			
SET	ANGULO DE ABERTURA	VERTICE	PESO (Kgf)
CIRCULAR	45°	INFERIOR	1594,02
		SUPERIOR	1642,98
	60°	INFERIOR	1610,93
		SUPERIOR	1661,58
RECTANGULAR	45°	INFERIOR	1704,62
		SUPERIOR	1739,77
	60°	INFERIOR	1704,69
		SUPERIOR	1760,82

Fuente: Elaboración Propia

TABLA 6- 4. Combinaciones de cerchas planas (kgf)

SET	WARREN	HOWE	PRATT
CIRCULAR	986,68	1981,11	1035,82
RECTNGULAR	1327,3	1641,26	1477

Fuente: Elaboración Propia

6-4. Fuerzas Axiales.

Las fuerzas axiales presentes en cada uno de los miembros, fueron obtenidas mediante el programa computarizado SAP 2000 (14).

6-5. Diseños de Conexiones Típicas para Cerchas Espaciales con elementos Tubulares.

Siguiendo el procedimiento de diseño detallado en la sección anterior, se procedió a la realización de ejemplos de conexiones típicas adaptándolas a los perfiles Conduven ECO.

6-5.1. Conexión Típica T–T con cordón principal superior en compresión

Cercha Espacial: Combinación de cercha Tipo Pratt.

SET: Cuadrada.

Abertura: Vértice Superior 45°.

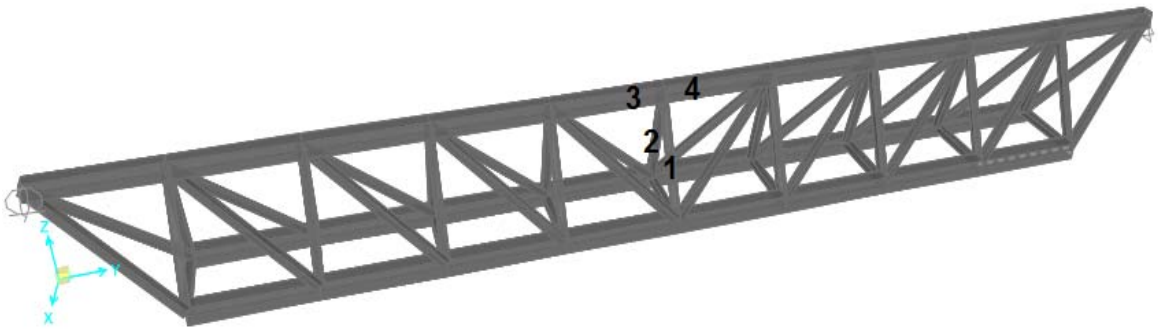


Ilustración 6- 1. Geometría cercha espacial. Combinación tipo Pratt. (6-5.1)

Fuente: Programa SAP2000

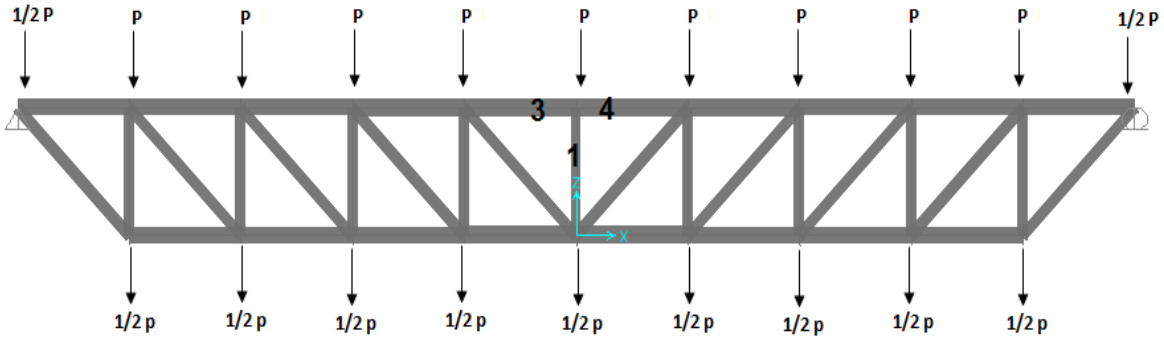


Ilustración 6- 2. Vista Lateral Geometría tipo Pratt. (6-5.1)

Fuente: Programa SAP2000

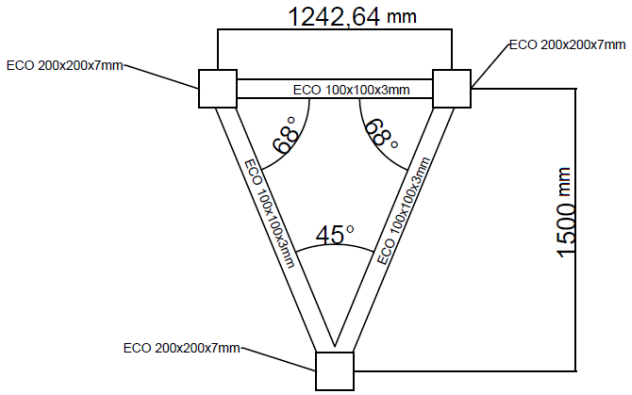
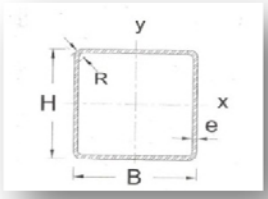


Ilustración 6- 3. Vista Frontal. Perfiles Conduven ECO Adoptados. (6-5.1)

Fuente: Elaboración propia

Propiedades Geométricas de los perfiles (según TABLA 4.1-9):

TABLA 6- 5. Propiedades Geométricas para secciones cuadradas CONDUVEN ECO



ASTM A500-03A Grado C	
Fy	3515 Kgf/cm
Fu	4360 Kgf/cm

Miembro	Designacion Comercial	H (mm)	B (mm)	e (mm)	A (cm^2)	r (cm)
Cordon Principal	ECO 200x200x7mm	200	200	7	54.04	7.17
Miembro Secundario	ECO 100x100x3mm	100	100	3	11.64	3.66
Miembro Secundario	ECO 100x100x3mm	100	100	3	11.64	3.66

Fuente: Elaboración propia

Para n=10, las fuerzas axiales actuantes sobre los miembros 1 ,2,3,4, los cuales conforman la conexión Tipo T-T en la cercha, se definen en la TABLA 6- 6.

Es importante destacar que los miembros 3 y 4 corresponden al cordón principal de la junta (solicitado a compresión), mientras que los elementos 1 y 2 representan los miembros secundarios solicitados a tracción.

TABLA 6- 7. Fuerzas Axiales Totales conexión T-T

Miembro	K	Fuerza Axial Total (Kgf)
3 (Cordon Pricipal)	1	2474.34
4 (cordon Principal)	1	2474.34
1 (Miembro Secuandario)	1	67948.12
2 (Miembro Secundario)	1	67948.12

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo los criterios para las conexiones en cerchas con SET cuadradas de acuerdo a las especificaciones *Load and Resistance Factor Design,* ANSI/AISC 360-05, los elementos de la conexión deben cumplir los siguientes requerimientos:

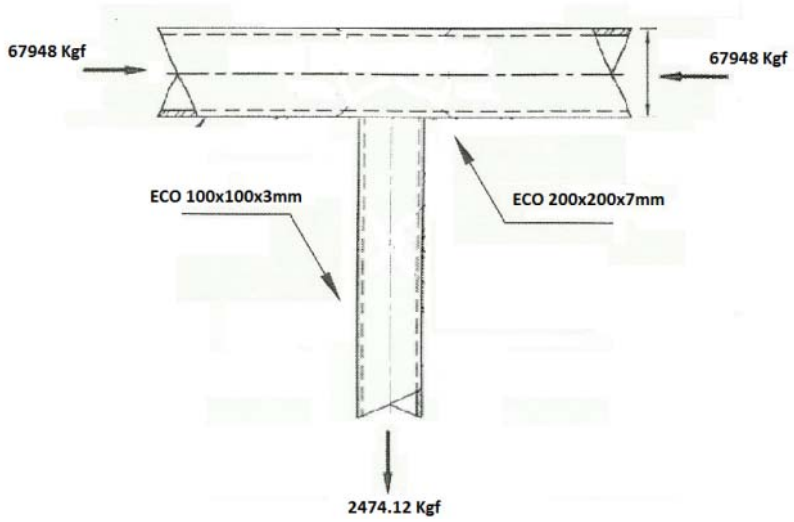


Ilustración 6- 4. Conexión Tipo T. SET cuadrada. (6-5.1)

Fuente: Elaboración propia

- **Verificación de los límites de aplicación :**

  - ✓ □= 90° ≥ 30° **ok.**
  - ✓ B/t = 200/7= 28.57 ≤ 35 **ok.**
  - ✓ H/t= 200/7= 28.57 ≤ 35 **ok.**
  - ✓ B_b/t_b= 100/3= 33.33 ≤ 35 **ok**.
  - ✓ H_b/t_b= 100/3= 33.33 ≤ 35 **ok.**
  - ✓ B_b/B= 100/200= 0.50 ≥ 0.25 **ok.**
  - ✓ H_b/H = 100/200 = 0.50 ≥ 0.25 **ok.**
  - ✓ 0.5 ≤ H_b/B_b ≤ 2.0
  - ✓ 0.5 ≤ 100/100 ≤ 2.0 **ok.**
  - ✓ 0.5 ≤ H/B ≤ 2.0
  - ✓ 0.5 ≤ 200/200 ≤ 2.0 **ok.**
  - ✓ Fy=3515 kgf/cm^2 ≤ 3670 kgf/cm^2 **ok.**
  - ✓ Fy/Fu= Fy_b/Fu_b= (3515 kgf/cm^2) / (4360 kgf/cm^2)=0.80 ≤ 0.80 **ok.**

- **Verificación de miembros a tracción**

  Miembros secundarios

  - ✓ Para cedencia sobre el Área total

    Φt = 0.9
    Pn= Fy Ag = (3515 kgf/cm^2)(11.64 cm^2)
    Pn= 40914.6 kgf
    Pu= Pn φt= (40914.6 kgf)(0.90)= 36823.14kgf
    36823.14 kgf > 2474.34 kgf **ok.**

  - ✓ Para cedencia sobre el Área neta.

    φt= 0.75
    Pn= Fu Ae
    Ae = A_nU
    Ae= Ag; U=1.0 (soldadura continua)

    Entonces:

    Pn= Fu Ae= (4360 kgf/cm^2)(11.64 cm^2)= 50750.4 kgf
    Pu=Pn φt= (50750.4 kgf) (0.75) = 38062.8 kgf
    38062.8 kgf > 2474.3 kgf **ok.**

- **Verificación de miembros a compresión.**

Cordón Principal

Φc = 0.90
Pn= Fcr Ag

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{(1)(150\ cm)}{7.17\ cm} = 20.92\ ;\ 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 4.71\sqrt{\frac{2.1E6\ kgf/cm^2}{3515\ kgf/cm^2}} = 115.12$$

20.92≤ 115.12 **ok.**

Entonces

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy$$

Dónde:

$$Fe = \frac{\Pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\Pi^2 2.1E6}{\left(\frac{(1)(150\ cm)}{(7.17\ cm)}\right)^2} = 47355.98\ kgf/cm^2$$

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy = \left(0.658^{\frac{3515\ kgf/cm^2}{47355.98\ kgf/cm^2}}\right)(3515\ kgf/cm^2)$$

Fcr = 3407.47 kgf/cm^2

Pn= (3407.47 kgf)(54.04 cm^2)=184140.14 kgf
Pu= Pn φc= (184140.14 kgf)(0.90)= 165726.12 kgf

165.726.12 kgf > 67948 kgf **ok**.

- **Verificación de los estados límites:**

✓ Plastificación de la pared del cordón:

φ = 1.0

$$Pn \operatorname{sen}\theta = Fy\, t^2 \left[\frac{2\eta}{1-\beta} + \frac{4}{\sqrt{(1-\beta)}}\right] Qf$$

$\theta = 90°$
$\beta = B_b/B = 100/200 = 0.50$
$\eta = N/B$ donde $N = Hb/\operatorname{sen}\theta = 100/\operatorname{sen}90° = 100$
$\eta = 100/200 = 0.50$

$Qf = 1-0.30U\,(1+U)$

Donde

$$U = \left|\frac{Pu}{AgFy}\right| + \left|\frac{Mu}{SFy}\right| = \left|\frac{67948.12\ kgf}{54.04cm^2\,3515\ kgf/cm^2}\right| = 0.36$$

Entonces

$$Pn \operatorname{sen}90° = 3515\ kgf/cm^2 \left(\frac{7\ mm}{10\ mm}\right)^2 \left[\frac{2(0.50)}{1-0.50} + \frac{4}{\sqrt{(1-0.50)}}\right] 0.85$$

$Pn = 11209.61$ kgf

$Pu = Pn\,\varphi = 11209.61$ kgf > 247434 kgf **ok.**

✓ Cedencia por corte (Punzonamiento)

$\varphi = 0.95$
$Pn\operatorname{sen}\theta = 0.6 Fyt\, B\,[2\eta + 2\beta eop]Qf$

$\gamma = B/2t = 200/(2(7)) = 14.28$
$\beta eop = 5\,\beta/\gamma = 5.050/14.28 = 0.18 \leq \beta$

Entonces

$Pn\operatorname{sen}90° = 0.6(3515\ kgf/cm^2)(7mm/10mm)(200mm/10mm)[2(0.50)+ 2(0.18)]0.5$
$Pn\operatorname{sen}90° = 34132.06\ kgf = Pn$

$Pu = Pn\,\varphi = (34132.06\ kgf)(0.95) = 32425.45\ kgf > 2474.34\ kgf$ **ok.**

✓ Cedencia Local

$\varphi = 1.0$
$Pn\operatorname{sen}\theta = 2t\, Fy(5k + N)$

k=21mm
Pnsen90° =2(7 mm/10 mm) 3515 kgf/cm^2 (5(21 mm/10 mm) + 100)=543770.5 kgf

Pu=Pn φ= 543770.5 kgf>2474.34 kgf **ok.**

Nota: es importante destacar que se está realizando el diseño de la conexión dividiéndola en partes, ahora bien, como en este caso la conexión TT, se puede dividir en dos conexión Tipo T, se procede a calcular una sola de ellas, ya que el procedimiento de diseño es el mismo y las cargas de su semejante son las mismas.

6-5.2. Conexión típica T-T con cordón principal superior en compresión

Cercha Espacial: Combinación de cercha Tipo Pratt.
SET: Circular
Abertura: Vértice Superior 45°.

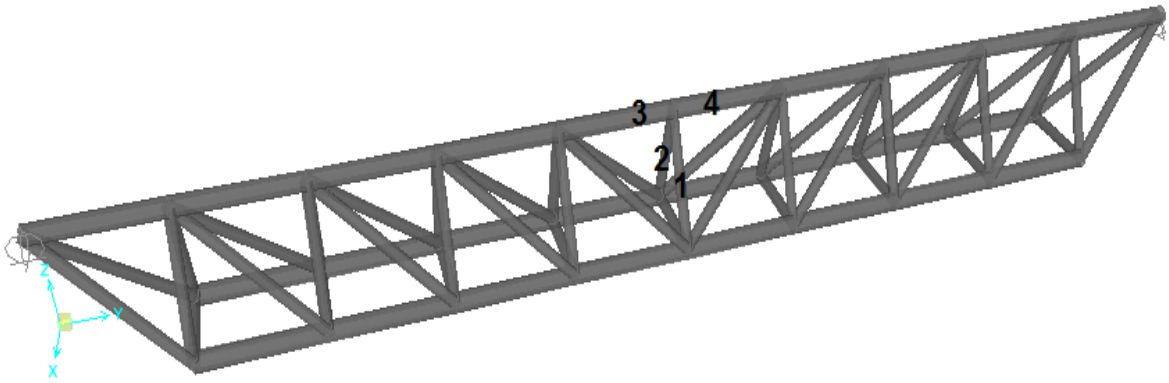


Ilustración 6- 5. Geometría cercha espacial. Combinación tipo Pratt. (6-5.2)

Fuente: Programa SAP2000

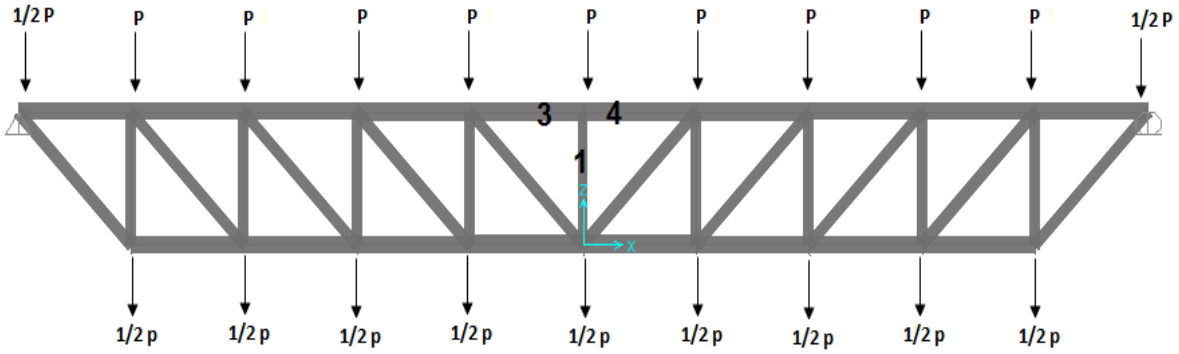
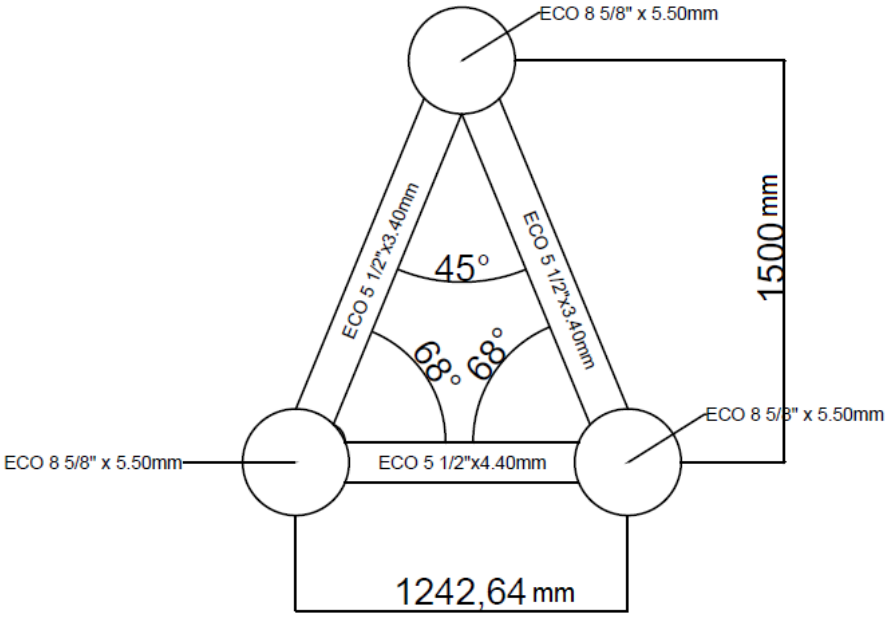


Ilustración 6- 6. Vista Lateral Geometría tipo Pratt. (6-5.2)

Fuente: Programa SAP2000

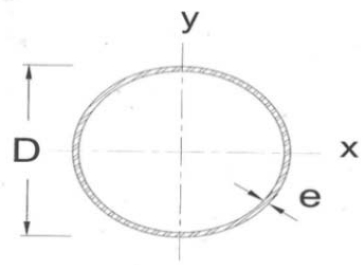


Ilustracion 4.3- 1. Vista Frontal. Perfiles Conduven ECO Adoptados. (6-5.2)

Fuente: Elaboración propia

Propiedades Geométricas de los perfiles (según TABLA 4.1-8):

TABLA 6- 8. Propiedades Geométricas para secciones circulares CONDUVEN ECO



ASTM A500-03A Grado C	
Fy	3515 Kgf/cm
Fu	4360 Kgf/cm

Miembro	**Designación Comercial**	**D**	**e**	**A**	**r**
		(mm)	**(mm)**	**(cm^2)**	**(cm)**
Cordon Principal	ECO 8 5/8"x5.50mm	219.1	5.5	37.86	7.73
Miembro Secundario	ECO 5 1/2"x3.40mm	139.7	3.4	14.92	4.93
Miembro Secundario	ECO 5 1/2"x3.40mm	139.7	3.4	14.92	4.93

Fuente: Elaboración propia

Para n=10, las fuerzas axiales actuantes sobre los miembros 1 ,2,3,4, los cuales conforman la conexión Tipo T-T en la cercha, se definen en TABLA 6- 9.

Es importante destacar que los miembros 3 y 4 corresponden al cordón principal de la junta (solicitado a compresión), mientras que los elementos 1 y 2 representan los miembros secundarios solicitados a tracción.

TABLA 6- 10. Fuerzas Axiales Totales conexión T-T

Miembro	K	Fuerza Axial Total (Kgf)
3 (Cordon Pricipal)	1	2474.34
4 (cordon Principal)	1	2474.34
1 (Miembro Secuandario)	1	67948.12
2 (Miembro Secundario)	1	67948.12

Fuente: Elaboración propia

Siguiendo los criterios para las conexiones en cerchas con SET circulares de acuerdo a las especificaciones *Load and Resistence Factor Design, ANSI/AISC 360-05,* los elementos de la conexión deben cumplir los siguientes requerimientos:

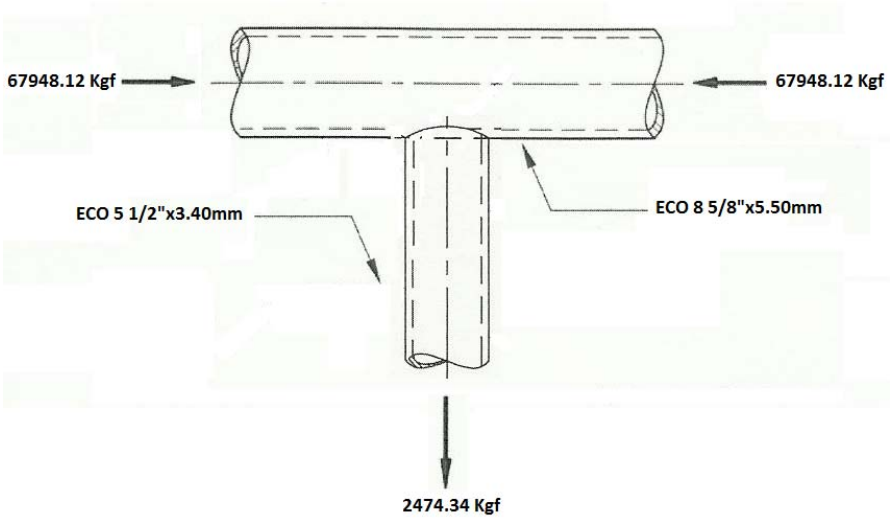


Ilustración 6- 7. Conexión Tipo T. SET circular. (6-5.2)

- **Verificación de los límites de aplicación**

✓ □= 90° ≥ 30° **ok.**

✓ D/t=219.10 mm/5.50 mm= 39.83≤50 **ok.**

✓ D_b/t_b=139.70 mm/3.40 mm=41.08≤50 **ok.**

✓ 0.2<D_b/D≤1.0

✓ 0.2<139.70 mm/219.10 mm=0.64≤1.0 **ok.**

✓ $Fy=Fy_b$=3515 kgf/cm^2 ≤ 3670 kgf/cm^2 **ok.**

✓ $Fy/Fu= Fy_b/Fu_b$= (3515 kgf/cm^2) / (4360 kgf/cm^2)=0.80 ≤ 0.80 **ok.**

- **Verificación de miembros a tracción**

Miembros Secundarios

✓ Para cedencia sobre el Área total.

$\Phi t = 0.9$

Pn= Fy Ag = (3515 kgf/cm^2)(14.92 cm^2)

Pn= 52443.8 kgf

Pu= Pn φt= (52443.8 kgf)(0.90)= 47199.42 kgf

47199.42 kgf > 2474.34 kgf **ok.**

✓ Para cedencia sobre el Área neta.

φt= 0.75

Pn= Fu Ae

Ae = A_nU

Ae= Ag; U=1.0 (soldadura continua)

Entonces:

Pn= Fu Ae= (4360 kgf/cm^2)(14.92 cm^2)= 65051.2 kgf

Pu=Pn φt= (65051.2 kgf)(0.75)=48788.4 kgf

112716.90 kgf > 2474.34 kgf **ok.**

- **Verificación de miembros en compresión.**

Cordon Principal

Φc = 0.90

Pn= Fcr Ag

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{(1)(150\text{ cm})}{7.73\text{ cm}} = 19.40 \; ; \; 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 4.71\sqrt{\frac{2.1E6\text{ kgf/cm}^2}{3515\text{ kgf/cm}^2}} = 115.12$$

19.40≤ 115.12 **ok.**

Entonces

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy$$

Donde:

$$Fe = \frac{\Pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\Pi^2 2.1E6}{\left(\frac{(1)(150\ cm)}{(7.73\ cm)}\right)^2} = 55042.16\ kgf/cm^2$$

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy = \left(0.658^{\frac{3515\ kgf/cm^2}{55042.16\ kgf/cm^2}}\right)(3515\ kgf/cm^2)$$

$$Fcr = 3422.30\ kgf/cm^2$$

Pn= (3422.30 kgf)(37.86cm^2)=129568.28 kgf

Pu= Pn φc= (129568.28 kgf)(0.90)= 116611.45 kgf

116611.45 kgf >67948.12 kgf **ok**.

- **Verificación de los estados límites**

✓ Plastificación de la pared del cordón

φ = 0.90

Pnsen θ= Fy t^2[3.1 + 15.6 β^2] γ$^{0.2}$Qf

γ=D/2t= 219.10 mm/(2(5.50 mm)=19.92

β =D_b/D= 139.7 mm/219.10 mm=0.64

Qf =1-0.30U (1+U)

Donde

$$U = \left|\frac{Pu}{AgFy}\right| + \left|\frac{Mu}{SFy}\right| = \left|\frac{67948.12\ kgf}{\frac{37.86\ cm^2 3515\ kgf}{cm^2}}\right| = 0.51$$

Qf =1-0.30(0.51)(1+0.51)=0.77

Pnsen 90°= 3515 kgf/cm^2(5.50 mm/10 mm) ^{2}[3.1 + 15.6 0.64^2](19.92)$^{0.2}$(0.77)

Pn=14133.66 kgf

Pu=Pn φ = (14133.66 kgf)(0.90)=12720.29<67948.12 **NO CUMPLE**

Nota: debe aumentarse el perfil del cordón principal.

✓ Cedencia por corte (punzonamiento)

$\varphi = 0.95$

$Pn= 0.6Fy\ t\pi Db[(1 + \sin\theta)/2\sin^2\theta]$

$Pn= 0.6(3515\ kgf/cm^2)(5.50\ mm/10\ mm)\ (\pi)(139.7\ mm/10\ mm)$

$[(1+ \text{sen}\ 90°)/2\sin^2 90°]$

$Pn=50907.94\ kgf$

$Pu=Pn\ \varphi =50907.94\ kgf\ (0.90)=48362.54\ kgf>2473.34\ kgf$ **ok.**

Nota: es importante destacar que se está realizando el diseño de la conexión dividiéndola en partes, ahora bien, como en este caso la conexión TT, se puede dividir en dos conexión Tipo T, se procede a calcular una sola de ellas, ya que el procedimiento de diseño es el mismo y las cargas de su semejante son las mismas.

6-5.3. Conexión típica Y-Y con cordón principal superior en compresión

Cercha Espacial: Combinación de cercha Tipo Howe.

SET: Cuadrada.

Abertura: Vértice Inferior 45°.

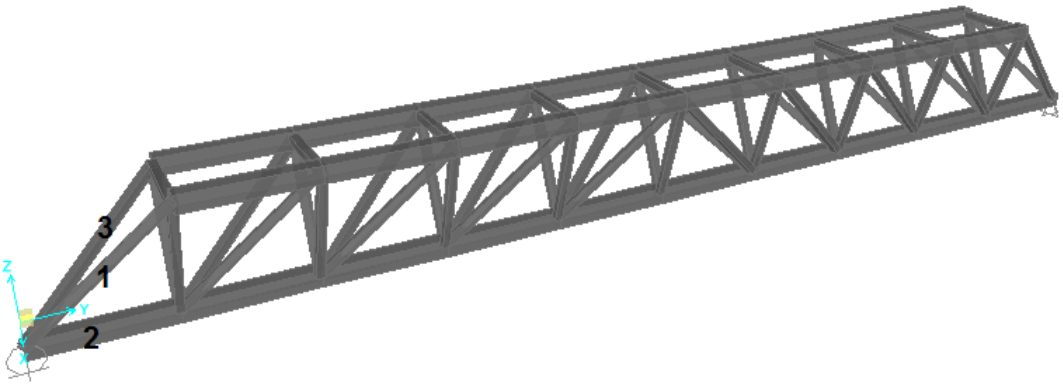


Ilustración 6- 8. Geometría Cercha Espacial. Combinación tipo Howe. (6-5.3)

Fuente: Programa SAP2000

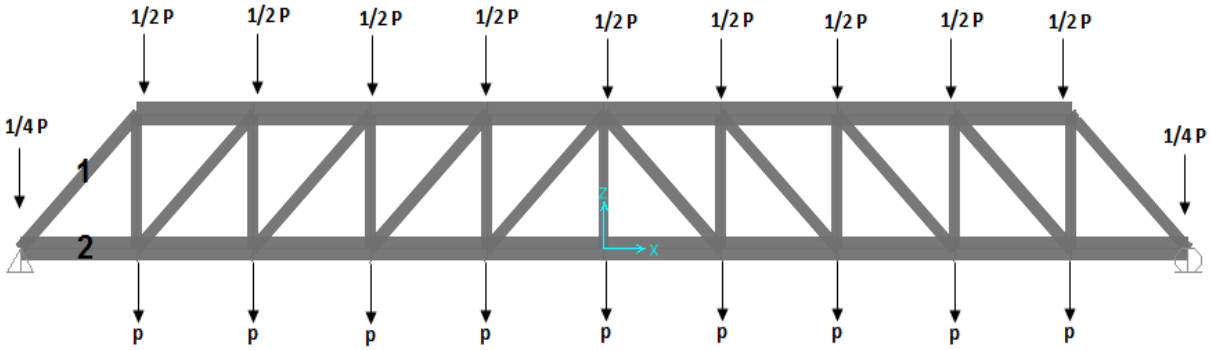


Ilustración 6- 9. Vista Lateral. Geometría tipo Howe. (6-5.3)

Fuente: Programa SAP2000

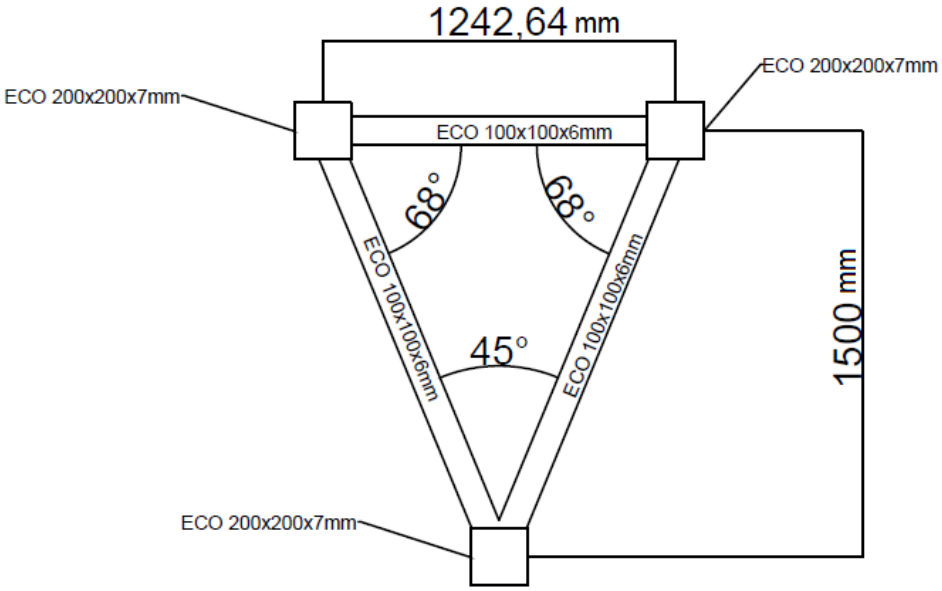
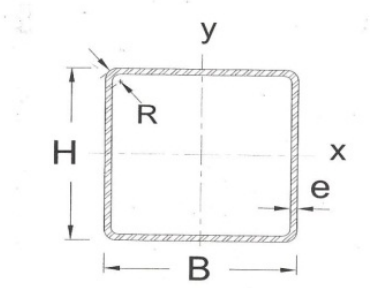


Ilustración 6- 10. Vista Frontal. Perfiles Conduven ECO Adoptados. (6-5.3)

Fuente: Elaboración propia

Propiedades Geométricas de los perfiles (según TABLA 4.1-9):

TABLA 6- 11.Propiedades Geométricas para secciones cuadradas CONDUVEN ECO



ASTM A500-03A Grado C	
Fy	*3515 Kgf/cm*
Fu	*4360 Kgf/cm*

Miembro	*Designacion Comercial*	*H (mm)*	*B (mm)*	*e (mm)*	*A (cm^2)*	*r (cm)*
Cordon Principal	ECO 200x200x7mm	200	200	7	54.04	7.17
Miembro Secundario	ECO 100x100x6mm	100	100	6	22.56	3.21
Miembro Secundario	ECO 100x100x6mm	100	100	6	22.56	3.21

Fuente: Elaboración propia

Para n=10, las fuerzas axiales actuantes sobre los miembros 1 ,2 y 3, los cuales conforman la conexión Tipo Y-Y en la cercha, se definen en la TABLA 6- 12.

Es importante destacar que el miembro 2 corresponde al cordón principal de la junta (solicitado a tracción), mientras que los elementos 1 y 3 representan los miembros secundarios solicitados a compresión.

TABLA 6- 13.Fuerzas Axiales Totales conexión Y-Y

Miembro	*K*	*Fuerza Axial Total (Kgf)*
Cordon Principal	1	24461
Miembro Secuandario	1	17296.61
Miembro Secundario	1	17296.61

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo los criterios para las conexiones en cerchas con SET cuadradas de acuerdo a las especificaciones *Load and Resistance Factor Design*, ANSI/AISC 360-05, los elementos de la conexión deben cumplir los siguientes requerimientos:

Y1

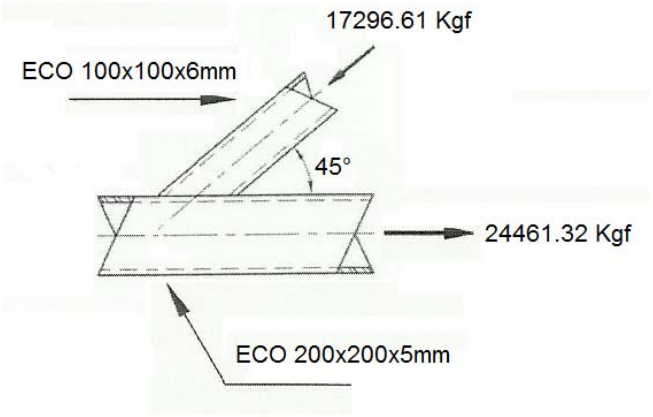


Ilustración 6- 11. Conexión Tipo Y1. SET rectangular. (6-5.3)

Fuente: Elaboración propia

- **Verificación de los límites de aplicación**

✓ □= 45 ° ≥ 30° **ok.**

✓ B/t = 200 mm/7 mm= 28.57 ≤ 35 **ok.**

✓ H/t= 200 mm/7 mm= 28.57 ≤ 35 **ok.**

✓ B_b/t_b= 100 mm/6 mm=16.66 ≤$1.25\sqrt{\frac{E}{Fyb}}$ =30.55 **ok**.

✓ H_b/t_b= 100 mm/6 mm= 16.66 ≤ $1.25\sqrt{\frac{E}{Fyb}}$ = 30.55 **ok.**

✓ $0.5 \leq H_b/B \leq 2.0$

✓ 0.5 ≤100 mm/200 mm = 1.0≤2.0 **ok.**

✓ $0.5 \leq H/B \leq 2.0$

✓ 0.5≤ 200 mm/200 mm = 1.0≤2.0 **ok.**

✓ Fy =3515 kgf/cm^2 ≤ 3670 kgf/cm^2 **ok.**

✓ Fy/Fu= Fy_b/Fu_b= (3515 kgf/cm^2) / (4360 kgf/cm^2)=0.80 ≤ 0.80 **ok.**

- **Verificación de miembros a Tracción:**

  Cordon Principal

✓ Para cedencia sobre el Área total

Φt = 0.9

Pn= Fy Ag = (3515 kgf/cm^2)(54.04 cm^2)

Pn= 189950.6 kgf

Pu= Pn φt= (189950.6 kgf)(0.90)= 170955.54 kgf

170955.54 kgf > 24461.32 kgf **ok.**

✓ Para cedencia sobre el Área neta.

φt= 0.75

Pn= Fu Ae

Ae = A_nU

Ae= Ag; U=1.0 (soldadura continua)

Entonces:

Pn= Fu Ae= (4360 kgf/cm^2)(54.04 cm^2)= 235614.4 kgf

Pu=Pn φt= (23614.4 kgf)(0.75)= 176710.8 kgf

176710.8 kgf > 24461.32 kgf **ok.**

- **Verificación de miembros en compresión.**

  Miembro Secundario

  Φc = 0.90

  Pn= Fcr Ag

  $$\frac{KL}{r} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

  $$\frac{KL}{r} = \frac{(1)(21.1213\ cm)}{3.21\ cm} = 6.58\ ;\ 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 4.71\sqrt{\frac{2.1E6\ kgf/cm^2}{3515\ kgf/cm^2}} = 115.12$$

  6.58≤ 115.12 **ok.**

  Entonces

  $$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy$$

  Donde:

  $$Fe = \frac{\Pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\Pi^2 2.1E6}{\left(\frac{(1)(150\ cm)}{(3.21\ cm)}\right)^2} = 478704.21\ kgf/cm^2$$

  $$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy = \left(0.658^{\frac{3515\ kgf/cm^2}{478704.21\ kgf/cm^2}}\right)(3515\ kgf/cm^2)$$

  Fcr = 3504.21 kgf/cm^2

  Pn= (3504.21 kgf)(22.56 cm^2)=79054.97 kgf

  Pu= Pn φc= (79054.97 kgf)(0.90)=71149.48 kgf

  71149.48 kgf >17296.61 kgf **ok**

- **Verificación de los estados límites:**

✓ Plastificación de la pared del cordón:

$\varphi = 1.0$

$$Pn \operatorname{sen} \theta = Fy\, t^2 \left[\frac{2\eta}{1-\beta} + \frac{4}{\sqrt{(1-\beta)}}\right] Qf$$

$\theta = 45°$

$\beta = B_b/B = 100\ mm/200\ mm = 0.50$

$\eta = N/B$ donde $N = Hb/\operatorname{sen}\theta = 100/\operatorname{sen}45° = 141.42$

$\eta = 141.42\ mm/200\ mm = 0.7$

$Qf = 1$

Entonces

$$Pn \operatorname{sen} 45° = 3515\ kgf/cm^2 \left(\frac{7\ mm}{10\ mm}\right)^2 \left[\frac{2(0.70)}{1-0.50} + \frac{4}{\sqrt{(1-0.50)}}\right]$$

$Pn = 20598.95\ kgf$

$Pu = Pn\,\varphi = 20598.95\ kgf > 17296.61\ kgf$ **ok.**

✓ Cedencia por corte (Punzonamiento)

$B > 0.85$

$B/t = 100\ mm/6\ mm = 16.67 > 10$ **ok.**

✓ Cedencia Local

$\varphi = 1.0$

$Pn\operatorname{sen}\theta = 2t\, Fy(5k + N)$

$k = 18\ mm$

$Pn\operatorname{sen}45° = 2(7\ mm/10\ mm)\ 3515\ kgf/cm^2(5(21\ mm/10\ mm) + 141.42)$

$Pn = 1057263.68\ kgf$

$Pu = Pn\,\varphi = 1057263.68\ kgf > 1057263.68\ kgf$ **ok.**

✓ Aplastamiento local

φ =0.75

$$Pnsen = 1.6t^2\left(\frac{1+3N}{H-3t}\right)(EFy)^{0.5}Qf$$

$$Pnsen45° = 1.6(7\ mm/10\ mm)^2\left(\frac{1+3141.42}{H-3(\frac{7\ mm}{10\ mm})}\right)(2.1E6(3515\ kgf/cm^2)^{0.5}$$

Pn=1697329.42 kgf

Pu=1697329.42(0.75) =1272997.06 kgf

Entonces:

1057263.68 kgf>17296.61 kgf **ok.**

Y2

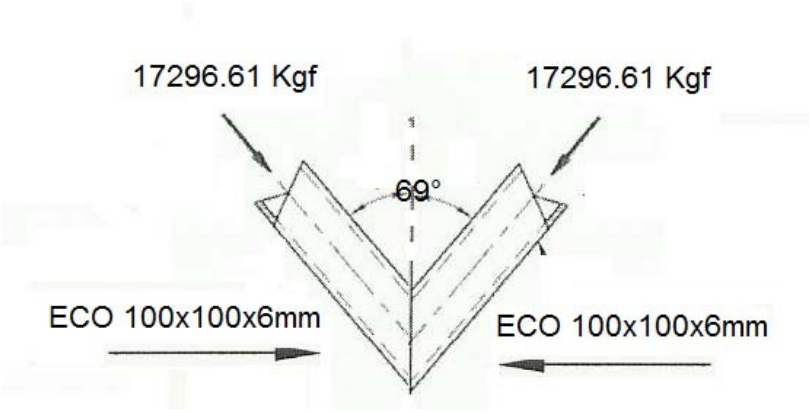


Ilustración 6- 12. Conexión Tipo Y2. SET rectangular. (6-5.3)

Fuente: Elaboración propia

- **Verificación de los límites de aplicación**

□=69 ° ≥ 30° **ok.**

B_b/t_b= 100 mm/6 mm=16.66 ≤1.25$\sqrt{\frac{E}{Fyb}}$ =30.55 **ok**.

H_b/t_b= 100 mm/6 mm= 16.66 ≤ $1.25\sqrt{\frac{E}{Fyb}}$ =30.55 **ok.**

$0.5 \leq H_b/B \leq 2.0$

0.5 ≤100 mm/200 mm=1.0≤2.0 **ok.**

$0.5 \leq H_b/B_b \leq 2.0$

0.5≤ 100 mm/100 mm=1.0≤2.0 **ok.**

Fy=3515 kgf/cm^2 ≤ 3670 kgf/cm^2 **ok.**

Fy/Fu= Fy_b/Fu_b= (3515 kgf/cm^2) / (4360 kgf/cm^2)=0.80 ≤ 0.80 **ok.**

- **Verificación de miembros a Tracción**

  No hay miembros a tracción en esta conexión

- **Verificación de miembros en compresión.**

✓ Miembros Secundarios

φc= 0.90

Pn= Fcr Ag

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{(1)(21.1213\ cm)}{3.21\ cm} = 6.58\ ;\ 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 4.71\sqrt{\frac{2.1E6\ kgf/cm^2}{3515\ kgf/cm^2}} = 115.12$$

6.58≤ 115.12 **ok.**

Entonces

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy$$

Donde:

$$Fe = \frac{\Pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\Pi^2 2.1E6}{\left(\frac{(1)(150cm)}{(3.21cm)}\right)^2} = 478704.21\ kgf/cm^2$$

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy = \left(0.658^{\frac{3515\ kgf/cm^2}{478704.21\ kgf/cm^2}}\right)(3515\ kgf/cm^2)$$

Fcr = 3504.21 kgf/cm^2

Pn= (3504.21 kgf)(22.56cm^2)=79054.97 kgf

Pu= Pn φc= (79054.97 kgf)(0.90)=71149.48 kgf

71149.48 Kgf >17296.61Kgf **ok**

- **Verificación de los estados límites**

✓ Plastificación de la pared del cordón:

β= B_b/B=100 mm/100 mm= 1 >0.85 **ok.**

✓ Cedencia por corte (Punzonamiento)

β= B_b/B=100 mm/100 mm= 1 >0.85 **ok.**

✓ Fluencia Local

β= B_b/B=100 mm/100 mm= 1 >0.85 **ok.**

✓ Plastificación local debido a la distribución desigual de la carga:

φ = 0.95

Pn= Fybtb[2Hb + 2beoi − 4tb]

Donde:

$$beoi = \frac{10}{B/t}\frac{Fy\,t}{Fybtb}Bb \leq Bb$$

$$beoi = \frac{10}{10cm/0.6cm}\frac{\left(\frac{3515\ kgf}{cm^2}\right)6cm}{\left(\frac{3515\ kgf}{cm^2}\right)6cm}10\ cm = 6\ cm \leq 10\ cm$$ **ok.**

Pn= (3515 kgf/cm^2)(6 mm/10 mm))[2(100 mm/10 mm) + 2(60 mm/10 mm) − 4(6mm/10mm)]

Pn=59305.08 kgf

Pu= 59305.08kgf(0.95)=56339.82 kgf>17296.61 kgf **ok.**

Nota: es importante destacar que se está realizando el diseño de la conexión dividiéndola en partes, ahora bien, como en este caso la conexión Y-Y, se puede dividir en dos conexión Tipo Y, se procede a calcular una sola de ellas, ya que el procedimiento de diseño es el mismo y las cargas de su semejante son las mismas.

6-5.4. Conexión típica Y-Y con cordón principal superior en compresión

Cercha Espacial: Combinación de cercha Tipo Howe.

SET: Circular.

Abertura: Vértice Inferior 45°.

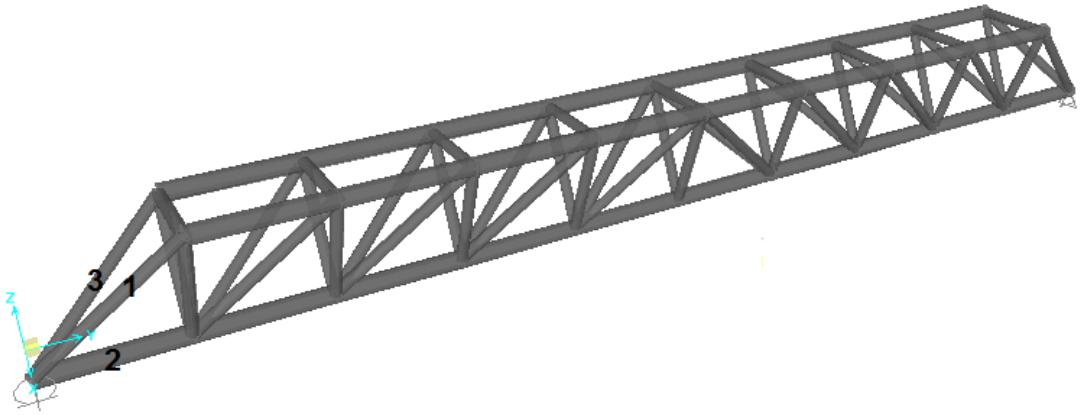


Ilustración 6- 13. Geometría Cercha Espacial. Combinación tipo Howe. (6-5.4)

Fuente: SAP2000

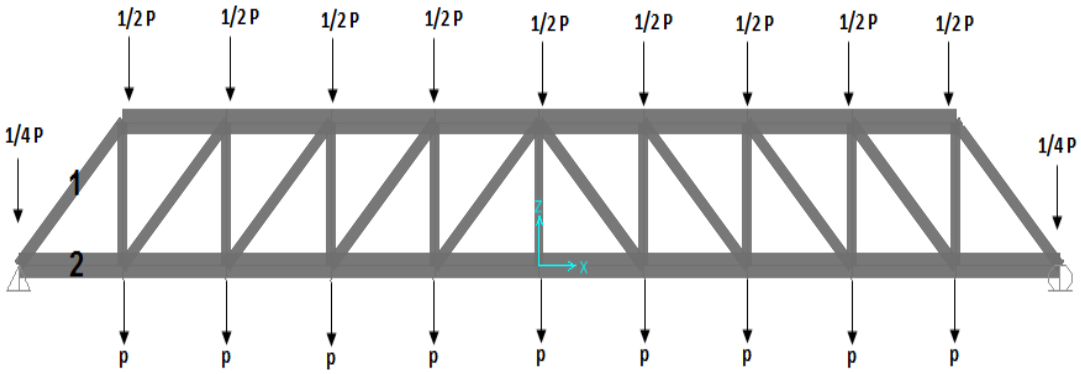


Ilustración 6- 14. Vista Lateral. Geometría tipo Howe. (6-5.4)

Fuente: SAP2000

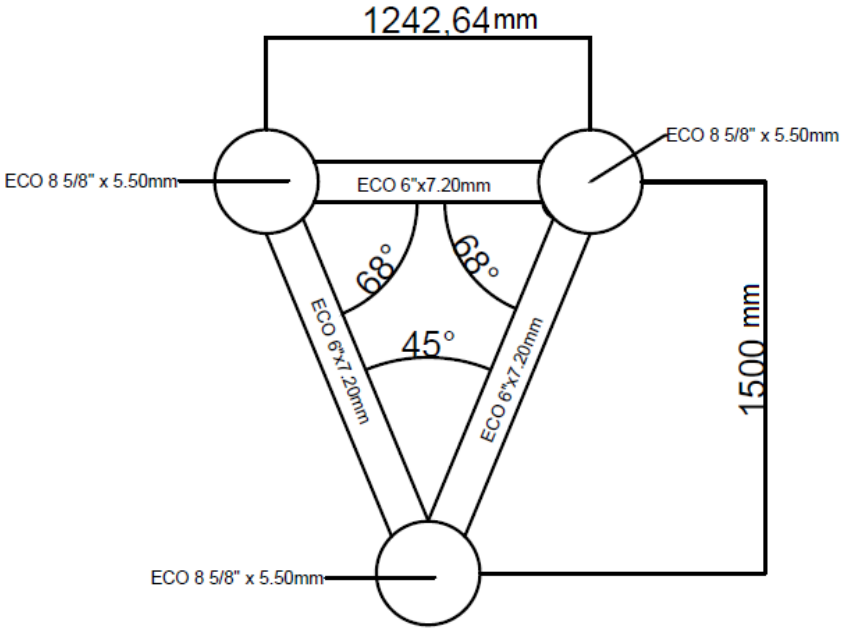
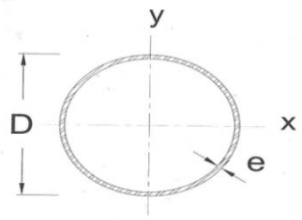


Ilustración 6- 15. Vista Frontal. Perfiles Conduven ECO Adoptados. (6-5.4)

Fuente: Elaboración propia

Propiedades Geométricas de los perfiles (según TABLA 4.1-8):

TABLA 6- 14. Propiedades Geométricas para secciones circulares CONDUVEN ECO



ASTM A500-03A Grado C	
Fy	3515 Kgf/cm
Fu	4360 Kgf/cm

Miembro	**Designacion Comercial**	**D**	**e**	**A**	**r**
		(mm)	**(mm)**	**(cm^2)**	**(cm)**
Cordon Principal	ECO 8 5/8"x5.50mm	219.10	5.50	37.86	7.73
Miembro Secundario	ECO 6"x7.20mm	152.40	7.20	34.47	5.38
Miembro Secundario	ECO 6"x7.20mm	152.40	7.20	34.47	5.38

Fuente: Elaboración propia

Para n=10, las fuerzas axiales actuantes sobre los miembros 1 ,2 y 3, los cuales conforman la conexión Tipo Y-Y en la cercha, se definen en la TABLA 6- 15.

Es importante destacar que el miembro 2 corresponde al cordón principal de la junta (solicitado a tracción), mientras que los elementos 1 y 3 representan los miembros secundarios solicitados a compresión.

TABLA 6- 16.Fuerzas Axiales Totales conexión Y-Y

Miembro	**K**	**Fuerza Axial Total (Kgf)**
Cordon Principal	1.0	24461
Miembro Secuandario	1.0	17296.61
Miembro Secundario	1.0	17296.61

Fuente: Elaboración propia

Siguiendo los criterios para las conexiones en cerchas con SET circular de acuerdo a las especificaciones *Load and Resistance Factor Design*, ANSI/AISC 360-05, los elementos de la conexión deben cumplir los siguientes requerimientos:

Y1-

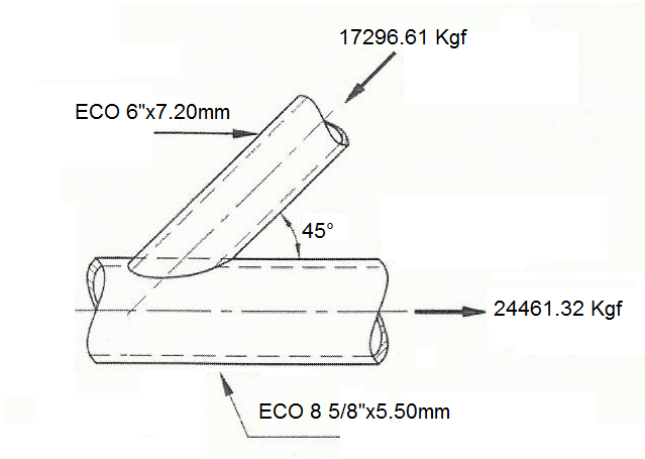


Ilustración 6- 16. Conexión Tipo Y1. SET circular. (6-5.4)

Fuente: Elaboración propia

- **Verificación de los límites de aplicación**

✓ □= 45° ≥ 30° **ok.**

✓ D/t=219.10mm/5.50mm= 39.83≤50 **ok.**

✓ D_b/t_b=152.40mm/7.20mm=21.19≤50 **ok.**

✓ $0.2<D_b/D\leq 1.0$

✓ 0.2<152.40mm/219.10mm=0.69≤1.0 **ok.**

✓ $Fy=Fy_b=3515\ kgf/cm^2 \leq 3670\ kgf/cm^2$ **ok.**

✓ $Fy/Fu= Fy_b/Fu_b= (3515\ kgf/cm^2) / (4360\ kgf/cm^2)=0.80 \leq 0.80$ **ok.**

- **Verificación de miembros a Tracción:**

Cordon Principal

✓ Para cedencia sobre el Área total.

φt= 0.9

Pn= Fy Ag = (3515 kgf/cm^2)(37.86 cm^2)

Pn= 133077 kgf

Pu= Pn φt= (133077.9 kgf)(0.90)= 119770.11 kgf

119770.11 kgf > 24461.32 kgf **ok.**

✓ Para cedencia sobre el Área neta.

φt= 0.75

Pn= Fu Ae

Ae = A_nU

Ae= Ag; U=1.0 (soldadura continua)

Entonces:

Pn= Fu Ae= (4360 kgf/cm^2)(37.86 cm^2)= 165069.6 kgf

Pu=Pn φt= (165069.6 kgf)(0.75)= 123802.2 kgf

123802.2 kgf > 24461.32 kgf **ok.**

- **Verificación de miembros en compresión**.

Miembro Secundario

φc= 0.90

Pn= Fcr Ag

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{(1)(21.1213\text{cm})}{5.38\text{cm}} = 3.92 \; ; \; 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 4.71\sqrt{\frac{2.1E6\ \text{kgf/cm}^2}{3515\ \text{kgf/cm}^2}} = 115.12$$

3.92≤ 115.12 **ok.**

Entonces

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy$$

Donde:

$$Fe = \frac{\Pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\Pi^2 2.1E6}{\left(\frac{(1)(150cm)}{(5.38cm)}\right)^2} = 26662.51\ kgf/cm^2$$

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy = \left(0.658^{\frac{3515\ kgf/cm^2}{26662.51\ kgf/cm^2}}\right)(3515\ kgf/cm^2)$$

Fcr = 3326.30 kgf/cm^2

Pn= (3326.30 kgf)(34.47cm^2)=114657.58 kgf

Pu= Pn φc= (114657.58 kgf)(0.90)=103191.82 kgf

103191.82 kgf >17296.61 kgf **ok**

- **Verificación de los estados límites**

✓ Plastificación de la pared del cordón

φ = 0.90

Pnsen θ= Fy t^2[3.1 + 15.6 β^2] γ$^{0.2}$Qf

γ=D/2t= 219.10mm/(2(5.50mm)=19.92

β =D_b/D= 152.40mm/219.10mm=0.70

Qf =1

Pnsen 45°= 3515 kgf/cm^2(5.50mm/10mm) ^{2}[3.1 + 15.6 (0.70)^2](19.92)$^{0.2}$(1)

Pn=29389.32 kgf

Pu=Pn φ=(29389.32 kgf)(0.90)=26450.39<24461.32 kgf **ok.**

✓ Cedencia por corte (punzonamiento)

φ = 0.95

Pn= 0.6Fy tπDb[(1 + sin θ)/2sin^2 θ]

Pn= 0.6(3515 kgf/cm^2)(5.50mm/10mm) (π)(152.40mm/10mm)[(1 + sen 45°)/2sin^2 45°]

Pn=94805.77 kgf

Pu=Pn φ =94805.77kgf(0.95)=90065.48 kgf>24461.32 kgf **ok.**

Y2-

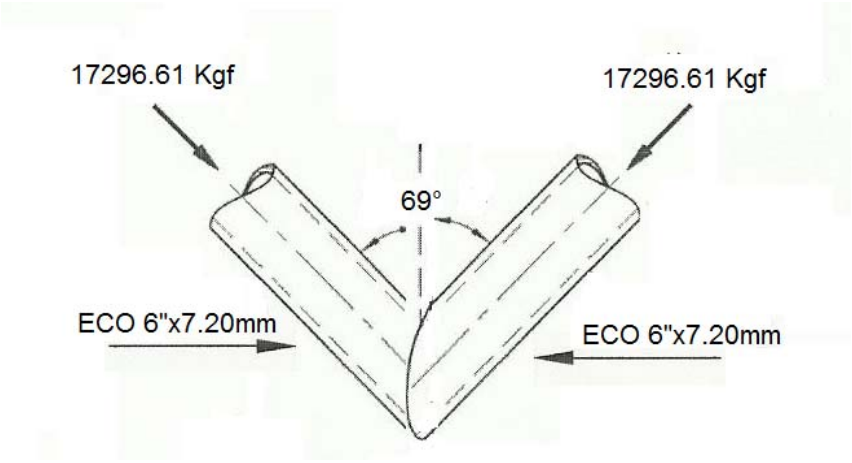


Ilustración 6- 17. Conexión Tipo Y2. SET circular. (6-5.4)

Fuente: Elaboración propia

- Verificación de los límites de aplicación:

  □= 69° ≥ 30° **ok.**

  D_b/t_b=152.40mm/7.20mm=21.19≤50 **ok.**

  D_b/t_b=21.19≤0.05E/Fy_b= 29.87 **ok.**

  0.2<D_b/D≤1.0

  0.2<152.40mm/219.10mm=0.69≤1.0 **ok.**

  Fy=Fy_b=3515 kgf/cm^2 ≤ 3670 kgf/cm^2 **ok.**

  Fy/Fu= Fy_b/Fu_b= (3515 kgf/cm^2) / (4360 kgf/cm^2)=0.80 ≤ 0.80 **ok.**

- **Verificación de miembros a Tracción:**

  No hay miembros a solicitados a tracción en esta conexión

- **Verificación de miembros en compresión.**

Miembro Secundario

φc= 0.90

Pn= Fcr Ag

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{(1)(21.1213cm)}{5.38cm} = 3.92 \; ; \; 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 4.71\sqrt{\frac{2.1E6\ kgf/cm^2}{3515\ kgf/cm^2}} = 115.12$$

3.92≤ 115.12 **ok.**

Entonces

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy$$

Donde:

$$Fe = \frac{\Pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\Pi^2 2.1E6}{\left(\frac{(1)(150cm)}{(5.38cm)}\right)^2} = 26662.51\ kgf/cm^2$$

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy = \left(0.658^{\frac{3515\ kgf/cm^2}{26662.51\ kgf/cm^2}}\right)(3515\ kgf/cm^2)$$

Fcr = 3326.30 kgf/cm^2

Pn= (3326.30 kgf)(34.47 cm^2)=114657.58 kgf

Pu= Pn φc= (114657.58 kgf)(0.90)=103191.82 kgf

103191.82 kgf >17296.61 kgf **ok**

- **Verificación de los estados límites**

✓ Plastificación de la pared del cordón

φ = 0.90

Pnsen θ= Fy t^2[3.1 + 15.6 β^2] γ$^{0.2}$Qf

γ=D_b/2t= 152.40mm/(2(7.20mm)=10.58

$\beta = D_b/D = 152.40mm/152.40mm = 0.70$

$Qf = 1-0.30U(1+U)$ donde $U = \left|\frac{Pu}{AgFy}\right| + \left|\frac{Mu}{SFy}\right| = \left|\frac{17296.61\ kgf}{\frac{34.47cm^2 3515\ kgf}{cm^2}}\right| = 0.14$

$Qf = 1-0.30(0.14)(1+0.14) = 0.95$

$Pnsen\ 69° = 3515\ kgf/cm^2(7.20mm/10mm)^2[3.1 + 15.6\ (1)^2](10.50)^{0.2}(0.95)$

$Pn = 55493.44\ kgf$

$Pu = Pn\ \varphi = (55493.44\ kgf)(0.90) = 49944.09\ kgf < 17296.61\ kgf$ **ok.**

✓ Cedencia al corte (punzonamiento)

$\beta > 0.75$ **ok.**

Nota: es importante destacar que se está realizando el diseño de la conexión dividiéndola en partes, ahora bien, como en este caso la conexión Y-Y, se puede dividir en dos conexión Tipo Y, se procede a calcular una sola de ellas, ya que el procedimiento de diseño es el mismo y las cargas de su semejante son las mismas.

6-5.5. Conexión Típica K –K con cordón principal superior en compresión

Cercha Espacial: Combinación de cercha Tipo Howe.

SET: Circular.

Abertura: Vértice Inferior 45°.

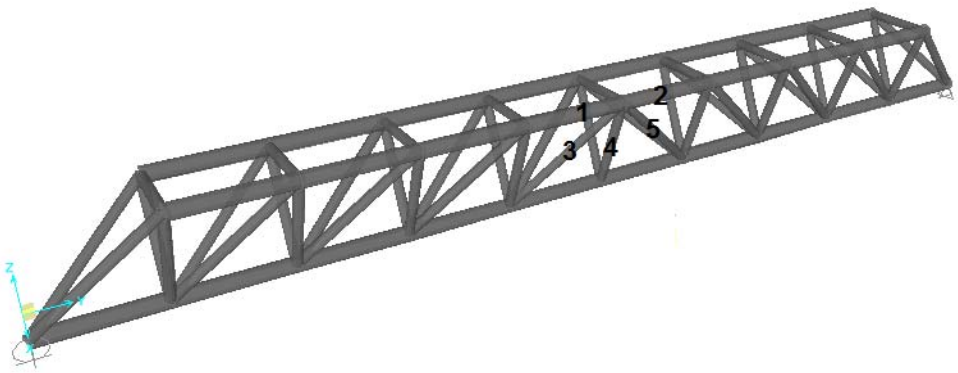


Ilustración 6- 18. Geometría Cercha Espacial. Combinación tipo Howe. (6-5.5)
Fuente: Programa SAP2000

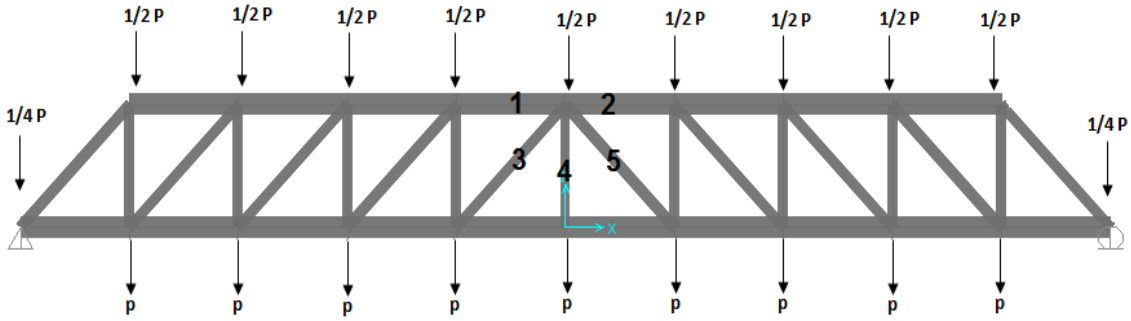


Ilustración 6- 19. Vista Lateral. Geometría tipo Howe. (6-5.5)

Fuente: Programa SAP2000

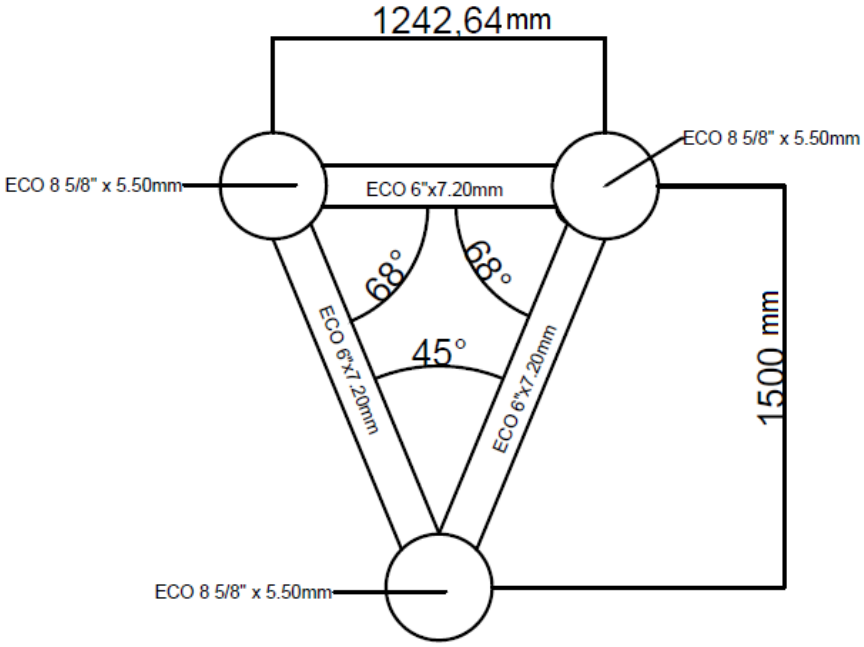
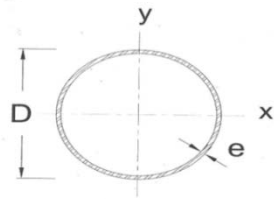


Ilustración 6- 20. Vista Frontal. Perfiles Conduven ECO Adoptados. (6-5.5)

Fuente: Elaboración propias

Propiedades Geométricas de los perfiles (según TABLA 4.1-8):

TABLA 6- 17. Propiedades Geométricas para secciones circulares CONDUVEN ECO



ASTM A500-03A Grado C	
Fy	3515 Kgf/cm
Fu	4360 Kgf/cm

Miembro	**Designacion Comercial**	**D**	**e**	**A**	**r**
		(mm)	**(mm)**	**(cm^2)**	**(cm)**
Cordon Principal	ECO 8 5/8"x5.50mm	219.1	5.5	37.9	7.73
Miembro Secundario	ECO 6"x7.20mm	152.4	7.2	34.5	5.38
Miembro Secundario	ECO 6"x7.20mm	152.4	7.2	34.5	5.38

Fuente: Elaboración propia

Para n=10, las fuerzas axiales actuantes sobre los miembros 1 ,2,3,4 y 5, los cuales conforman la conexión Tipo K-K en la cercha, se definen en la TABLA 6- 18.

Es importante destacar que los miembros 1 y 2 corresponden al cordón principal de la junta (solicitado a compresión), así como los elementos 2 y 5 representan los miembros secundarios solicitados también a compresión, mientras que el elemento 4 representa a un miembro secundario a tracción.

TABLA 6- 19. Fuerzas Axiales Totales conexión K-K

Miembro	**K**	**Fuerza Axial Total (Kgf)**
1 (Cordon Pricipal)	1	32615
2 (cordon Principal)	1	32615
3 (Miembro Secuandario)	1	1921
4 (Miembro Secundario)	1	243.53
5 (Miembro Secundario)	1	1921

Fuente: Elaboración propia

Siguiendo los criterios para las conexiones en cerchas con SET circulares de acuerdo a las especificaciones *Load and Resistance Factor Design*, ANSI/AISC 360-05, los elementos de la conexión deben cumplir los siguientes requerimientos:

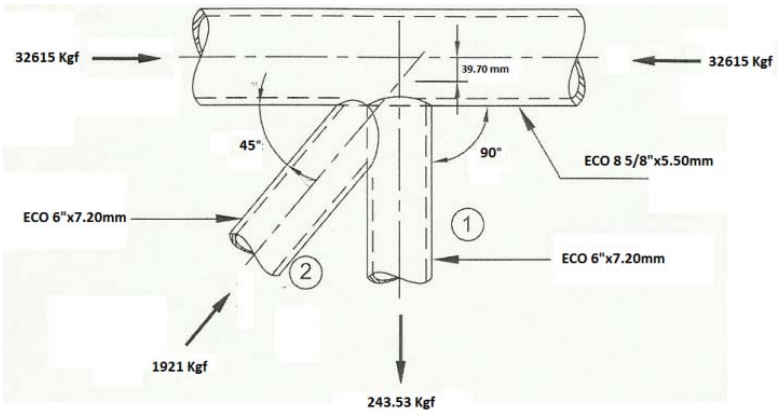


Ilustración 6- 21. Conexión Tipo K. SET cuadrada. (6-5.5)

Fuente: Elaboración propias

- **Verificación de los límites de aplicación:**

  -0.55≤ e/D ≤ 0.25

  -0.55≤ -39.70/219.10 = -0.18 ≤ 0.25 **ok.**

$$q = \left(\frac{Db1}{2senb1} + \frac{Db2}{2senb2}\right) - \left(\frac{e + D/2}{\frac{senb1senb2}{sen(b1+b2)}}\right)$$

$$q = \left(\frac{152.40mm}{2sen90°} + \frac{152.40mm}{2sen45°}\right) - \left(\frac{-39.70mm + 219.10mm/2}{\frac{sen90°sen45°}{sen(90°+45°)}}\right)$$

  q= 184.20mm-69.85mm= 114.35 mm

  p=152.60mm/sen45°=215.80 mm

  Ov= (q/p)100%=(114.35mm/215.80mm)100%= 53%

  25% ≤Ov≤100%

25% ≤ 53% ≤100% **ok.**

□= 45° ≥ 30° **ok.**

D/t=219.10mm/5.50mm= 39.83≤50 **ok.**

D_b/t_b=152.40mm/7.20mm=21.19≤50 **ok.**

$D_b/t_b \leq 0.05E/Fy_b$

21.19 ≤0.052.1E6/3515 kgf/cm^2

21.19≤29.87 **ok.**

$0.2<D_b/D\leq 1.0$

0.2<152.40mm/219.10mm=0.69≤1.0 **ok.**

$t_{bi} \leq t_{bj}$ $t_{bi}=t_{bj}$=7.20mm **ok.**

Fy=Fy_b=3515 kgf/cm^2 ≤ 3670 kgf/cm^2 **ok.**

Fy/Fu= Fy_b/Fu_b= (3515 kgf/cm^2) / (4360 kgf/cm^2)=0.80 ≤ 0.80 **ok.**

- **Verificación de miembros a tracción**

Miembro Secundario

✓ Para cedencia sobre el Área total.

φt= 0.9

Pn= Fy Ag = (3515 kgf/cm^2)(34.47cm^2)

Pn= 121162.05 kgf

Pu= Pn φt= (121162.05 kgf)(0.90)= 109045.85 kgf

109045.85 kgf > 243.53 kgf **ok.**

✓ Para cedencia sobre el Área neta.

φt= 0.75

Pn= Fu Ae

$Ae = A_nU$

Ae= Ag; U=1.0(soldadura continua)

Entonces:

Pn= Fu Ae= (4360 kgf/cm^2)(34.47cm^2)= 150282.2 kgf

Pu=Pn φt= (150282.2 kgf)(0.75)= 112716.90 kgf

112716.90 kgf > 243.53 kgf **ok.**

- **Verificación de miembros en compresión.**

Cordon Principal

φc= 0.90

Pn= Fcr Ag

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{(1)(150cm)}{7.73cm} = 19.40 \; ; \; 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 4.71\sqrt{\frac{2.1E6\ kgf/cm^2}{3515\ kgf/cm^2}} = 115.12$$

19.40≤ 115.12 **ok.**

Entonces

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy$$

Dónde:

$$Fe = \frac{\Pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\Pi^2 2.1E6}{\left(\frac{(1)(150cm)}{(7.73cm)}\right)^2} = 55042.16\ kgf/cm^2$$

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy = \left(0.658^{\frac{3515kgf/cm^2}{55042.16\ kgf/cm^2}}\right)(3515kgf/cm^2)$$

Fcr = 3422.30 kgf/cm^2

Pn= (3422.30 kgf)(37.86cm^2)=129568.28 kgf

Pu= Pn φc= (129568.28 kgf)(0.90)= 116611.45 kgf

116611.45 kgf >32615 kgf **ok**.

Miembro Secundario

φc= 0.90

Pn= Fcr Ag

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{(1)(150cm)}{5.38cm} = 39.43 \; ; \; 4.71\sqrt{\frac{E}{Fy}} = 4.71\sqrt{\frac{2.1E6\ kgf/cm^2}{3515\ kgf/cm^2}} = 115.12$$

39.43≤ 115.12 **ok.**

Entonces

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy$$

Dónde:

$$Fe = \frac{\Pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\Pi^2 2.1E6}{\left(\frac{(1)(150cm)}{(5.38cm)}\right)^2} = 13331.51\ kgf/cm^2$$

$$Fcr = \left(0.658^{\frac{Fy}{Fe}}\right) Fy = \left(0.658^{\frac{3515\ kgf/cm^2}{13331\ kgf/cm^2}}\right)(3515\ kgf/cm^2)$$

Fcr = 3147.74 kgf/cm^2

Pn= (3147.74 kgf)(34.47cm^2)= 108502.53 kgf

Pu= Pn φc= (108502.53 kgf)(0.90)= 97652.28 kgf

97652.28 kgf > 19121 kgf **ok**.

- **Verificación de los estados límites:**

✓ Plastificación de la pared del cordón:

$\varphi = 0.90$

miembrosecundario a compresion

$$(\text{Pnsen}) = \text{Fyt}^2 \left(2 + 11.33\ \frac{\text{Db}}{\text{D}}\right) \text{QgQf}$$

$$\text{Qg} = \gamma^{0.2} \left[1 + \frac{0.024\gamma^{1.2}}{e^{\left(\frac{0.5g}{t} - 1.33\right)} + 1}\right]$$

Dónde:

γ=D/2t=219.10mm/(2(5.50mm)=19.92

g=-q=-114.35

$$\text{Qg} = 19.92^{0.2} \left[1 + \frac{0.02419.92^{1.2}}{e^{\left(\frac{0.5(-114.35)}{5.50} - 1.33\right)} + 1}\right] = 3.40$$

Qf =1-0.30U (1+U) $\quad U = \left|\frac{Pu}{AgFy}\right| + \left|\frac{Mu}{SFy}\right| = \left|\frac{32615\ \text{kgf}}{37.86\text{cm}^2 3515\ \text{kgf/cm}^2}\right| = 0.25$

Qf =1-0.300.25(1+0.25)=0.91

$(\text{Pnsen}45°) = (3515\ \text{kgf/cm}^2)(5.50\text{mm}/10\text{mm})^2(3.40)(0.25)$ =8939.60 kgf

Pn=12642.50 kgf

Pu=Pn φ= 11378.24 kgf > 1921 kgf **ok.**

Nota: es importante destacar que se está realizando el diseño de la conexión dividiéndola en partes, ahora bien, como en este caso la conexión K-K, se puede dividir en dos conexión Tipo K solapadas, se procede a calcular una sola de ellas, ya que el procedimiento de diseño es el mismo y las cargas de su semejante son las mismas.

6-5.6. Conexión típica K-K con cordón principal superior en tracción

Cercha Espacial: Combinación de cercha Tipo Warren.

SET: Cuadrada.

Abertura: Vértice Inferior 45°.

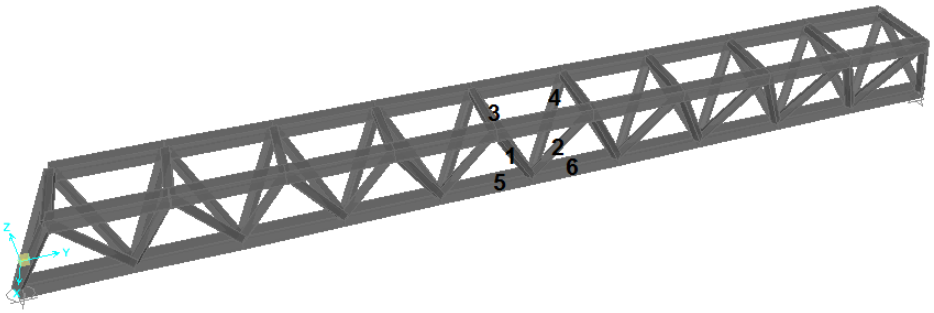


Ilustración 6- 22. Geometría Cercha Espacial. Combinación tipo Warren. (6-5.6)

Fuente: Programa SAP 2000

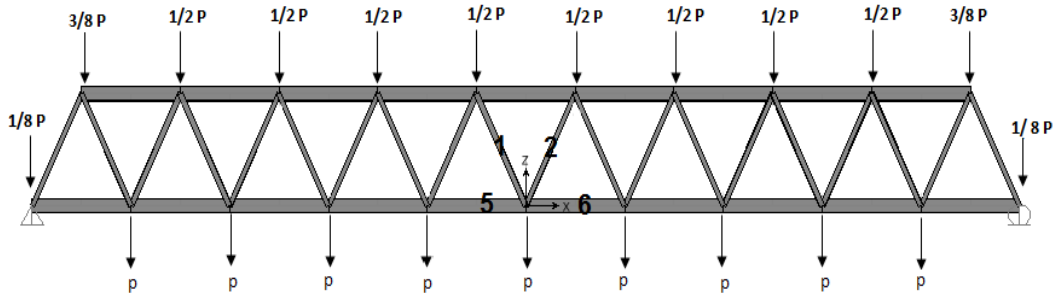


Ilustración 6- 23. Vista Lateral. Geometría tipo Warren. (6-5.6)

Fuente: Programa SAP 2000

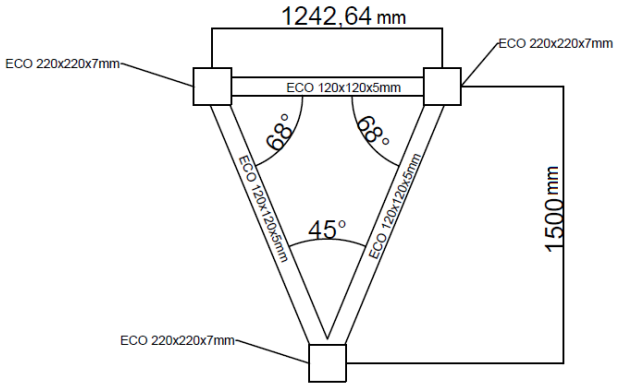
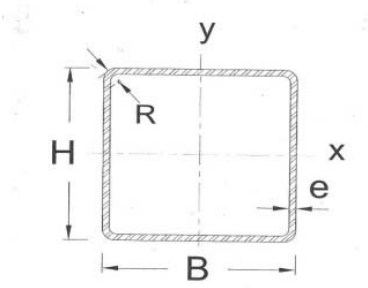


Ilustración 6- 24. Vista Frontal. Perfiles Conduven ECO Adoptados. (6-5.6)

Fuente: Elaboración propia.

Propiedades Geométricas de los perfiles (según TABLA 4.1-7):

TABLA 6- 20. Propiedades Geométricas para secciones cuadradas CONDUVEN ECO



ASTM A500-03ª Grado C	
Fy	3515 Kgf/cm
Fu	4360 Kgf/cm

Miembro	Designacion Comercial	H (mm)	B (mm)	e (mm)	A (cm^2)	r (cm)
Cordon Principal	ECO 220x220x7mm	220	220	7	59.64	7.99
Miembro Secundario	ECO 120x120x7.20mm	120	120	7.20	32.49	3.85
Miembro Secundario	ECO 120x120x7.20mm	120	120	7.20	32.49	3.85

Fuente: Elaboración propia

Para n=10, las fuerzas axiales actuantes sobre los miembros 1,2,3,4 ,5 y 6, los cuales conforman la conexión Tipo K-K en la cercha, se definen en la TABLA 6- 21.

TABLA 6- 22.Fuerzas Axiales Totales conexión K-K

Miembro	K	Fuerza Axial Total (Kgf)
Cordon Pricipal	1.0	128448.73
Cordon Principal	1.0	128448.73
Miembro Secundario	1.0	136.14
Miembro Secundario	1.0	136.14

Fuente: Elaboración propia

Siguiendo los criterios para las conexiones en cerchas con SET rectangulares de acuerdo a las especificaciones *Load and Resistance Factor Design*, ANSI/AISC 360-05, los elementos de la conexión deben cumplir los siguientes requerimientos:

K1

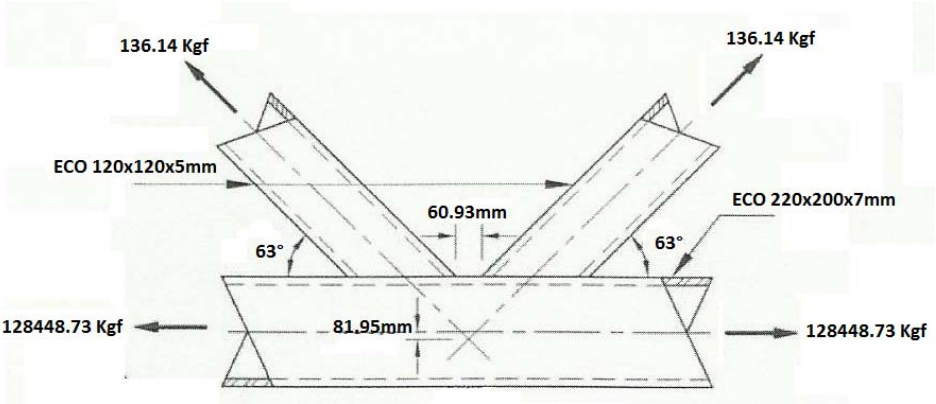


Ilustración 6- 25. Conexión Tipo K1. SET cuadrada. (6-5.6)

Fuente: Elaboración propia.

Nota: como los 4 miembros secundarios que forman la conexión K-K están conformados por los mismos perfiles y la misma geometría, se procede a calcularla conexión en uno de los planos ya que el procedimiento de diseño de su semejante será el mismo.

- **Verificación de los límites de aplicación :**

  $-0.55 \leq e/H \leq 0.25$

  $-0.55 \leq 81.95mm/220mm = 0.37 > 0.25$ **NO CUMPLE.**

Nota: al momento de verificar que la excentricidad en la junta cumpla con los parámetros establecidos el resultado obtenido e/H supera los límites establecidos por la norma, por lo tanto se debe proceder a estudiar las posibles opciones que permitan el uso de la conexión.

Soluciones:

1. Se puede generar un cambio en la geometría de la cercha plana que conforma la cercha espacial, disminuyendo o aumentando los ángulos que forman los miembros secundarios con el cordón principal.
2. Si se quiere evitar el cambio de la geometría de la cercha plana que conforma la cercha espacial estudiada, la norma establece que el tamaño de la brecha está controlado por la excentricidad en la junta, entonces, si la brecha es de gran longitud como en este caso, se puede proceder a estudiar la conexión tratándola como dos conexiones Tipo Y.
3. Aumentar el perfil del cordón principal, para lograr así disminuir la excentricidad de la junta.
4. Se puede replantear la forma en que los miembros secundarios llegan al cordón principal permitiendo el solape de los mismo.

Ahora bien, Si permitimos el solape se los miembros secundarios:

K2

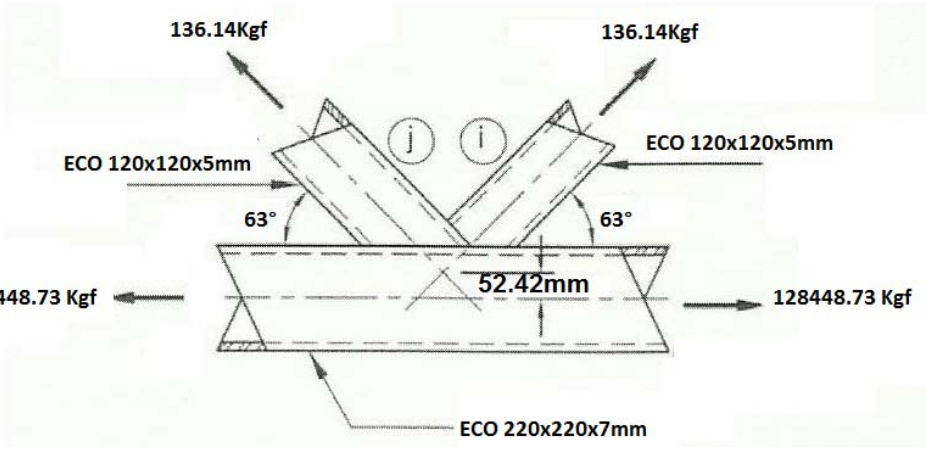


Ilustración 6- 26. Conexión Tipo K2. SET cuadrada. (6-5.6)

Fuente: Elaboración propia.

- **Verificación de los estados límites**

-0.55≤ e/H ≤ 0.25

-0.55≤ -52.42mm/220mm = 0.23≤ 0.25 **ok.**

$$q = \left(\frac{Hbj}{2senbj} + \frac{Hbi}{2senbi}\right) - \left(\frac{e + H/2}{\frac{senbjsenbi}{sen(bi+bj)}}\right)$$

$$q = \left(\frac{120mm}{2sen63°} + \frac{120mm}{2sen69°}\right) - \left(\frac{-52.42mm + 220mm/2}{\frac{sen63°sen63°}{sen(63°+63°)}}\right)$$

q =76mm

p=120mm/sen63°=134.68mm

Ov= (q/p)100%=(76mm/134.68mm)100%= 56%

25% ≤Ov≤100%

25% ≤ 56% ≤100% **ok.**

□= 63° ≥ 30° **ok.**

H/t=B/t=220mm/7mm= 31.42≤35 **ok.**

$B_b/t_b=H_b/t_b$=120mm/7.20mm=16.66 ≤35 **ok.**

B_b/B= 120mm/220mm=0.54≥0.25 **ok.**

H_b/B=120mm/220mm=0.54 ≥0.25 **ok.**

$0.5≤H_b/B_b≤2.0$

0.5≤120mm/120mm=1.0 ≤2.0 **ok.**

0.5≤H/B≤2.0

0.5≤220mm/220mm=1 ≤ 2.0 **ok.**

B_{bi}/B_{bj}= 120mm/120mm=1.0 ≥0.75 **ok.**

t_{bi}/t_{bj}=7.20mm/7.20mm=1.0 ≤1.0 **ok.**

Fy=3515 kgf/cm^2 ≤ 3670 kgf/cm^2 **ok.**

$Fy/Fu= Fy_b/Fu_b$= (3515 kgf/cm^2) / (4360 kgf/cm^2)=0.80 ≤ 0.80 **ok.**

- **Verificación de miembros a tracción**

Cordon Pirncipal

✓ Para cedencia sobre el área total.

φt= 0.9

Pn= Fy Ag = (3515 kgf/cm^2)(54.04cm^2)

Pn= 189950.6 kgf

Pu= Pn φt= (189950.6 kgf)(0.90)= 170955 kgf

170955 kgf > 128448.73 kgf **ok.**

✓ Para cedencia seobre el área neta.

φt= 0.75

Pn= Fu Ae

Ae = A_nU

Ae= Ag; U=1.0(soldadura continua)

Entonces:

Pn= Fu Ae= (4360 kgf/cm^2)(54.04cm^2)= 235614.4 kgf

Pu=Pn φt= (235614.4 kgf)(0.75)= 176710.8 kgf

176710.8 kgf > 128448.73 kgf **ok.**

Miembros Secuandarios

✓ Para cedencia sobre el área total

φt= 0.9

Pn= Fy Ag = (3515 kgf/cm^2)(18.56 cm^2)

Pn= 65238.4 kgf

Pu= Pn φt= (65238.4 kgf)(0.90)= 58714.56 kgf

58714.56Kgf > 136.14 kgf **ok.**

✓ Para cedencia seobre el área neta.

φt= 0.75

Pn= Fu Ae

Ae = A_nU

Ae= Ag; U=1.0(soldadura continua)

Entonces:

Pn= Fu Ae= (4360 kgf/cm^2)(18.56cm^2)= 80921.6 kgf

Pu=Pn φt= (80921.6 kgf)(0.75)= 60691.2 kgf

60691.2 kgf > 136.14 kgf **ok.**

- **Verificación de miembros en compresión.**

Esta conexión no posee miembros a compresión

- **Verificación de los estados límites**

Distribución desbalanceada de la carga:

Para: 50%≤Ov≤80%

φ= 0.95

$$Pn = Fyb\ tb(2Hb - 4tb + beoi + beov)$$

Donde:

$$beoi = \left(\frac{10}{B/t}\right)\left(\frac{Fy\ t}{Fybi\ tbi}\right) Bbi \leq Bbi$$

$$beoi = \left(\frac{10}{31.42}\right)\left(\frac{\left(\frac{3515Kgf}{cm^2}\right)\left(\frac{7mm}{10mm}\right)}{\left(\frac{3515Kgf}{cm^2}\right)\left(\frac{7.20mm}{10mm}\right)}\right)(120mm/10mm) \leq Bbi$$

beoi=3.71 cm ≤ 12 cm **ok.**

$$\text{beov} = \left(\frac{10}{\text{Bbi/tbi}}\right)\left(\frac{\text{Fybi tbi}}{\text{Fybj tbj}}\right)\text{Bbi} \leq \text{Bbi}$$

$$\text{beov} = \left(\frac{10}{\frac{120\text{mm}}{7.20\text{mm}}}\right)\left(\frac{\left(\frac{3515\text{Kgf}}{\text{cm}^2}\right)\left(\frac{7.20\text{mm}}{10\text{mm}}\right)}{\left(\frac{3515\text{Kgf}}{\text{cm}^2}\right)\left(\frac{7.20\text{mm}}{10\text{mm}}\right)}\right)(120\text{mm}/10\text{mm}) \leq \text{Bbi}$$

beov=7.19 cm ≤ 12 cm **ok.**

Entonces:

$$\text{Pn} = \left(\frac{3515\text{Kgf}}{\text{cm}^2}\right)\left(\frac{7.20\text{mm}}{10\text{mm}}\right)\left(2\left(\frac{120\text{mm}}{10\text{mm}}\right) - 4\left(\frac{7.20\text{mm}}{10\text{mm}}\right) + 3.71\text{cm} + 7.19\text{cm}\right)$$

Pn= 62257.68 kgf

Pu=Pn φ=62257.68 kgf(0.95)=59144.79 kgf >136.14 kgf

6-6. Análisis de resultados

Al realizar un estudio comparativo entre veinticuatro (24) combinaciones de cerchas espaciales y tres (3) de cerchas planas, conformadas por miembros de secciones estructurales tubulares circulares, rectangular y cuadradas, de tipo Pratt, Warren y Howe se obtuvo una tendencia de cómo se comportan este tipo de estructuras respecto a sus pesos, proporcionando una herramienta valiosa en el momento de la elección de las mismas.

Las cerchas de tipo espacial se clasificaron en tres categorías: según el tipo de cercha (Pratt, Warren y Howe), el tipo de sección tubular (rectangular, circular y cuadrada) y por ultimo según el ángulo de abertura de sus vértices (45° y 60°).

Una vez realizado el análisis se puede notar que el tipo de cercha espacial, que arroja el menor peso es la tipo Pratt con miembros de sección circular, y vértice en la parte superior. Según la abertura de su vértice, 45° ó 60° se puede observan una diferencia de 1%.

En segundo lugar el meno pesor están de nuevo las cerchas tipo Pratt, con miembros de sección rectangular y vértice en la parte inferior; en cuanto al ángulo de abertura de su vértice hay una diferencia del 3%.

En términos generales se puede deducir que el ángulo de abertura de los vértices no es determinante en el peso puesto la variación para los tres tipos de cerchas, no excedió el 3%; otro aspecto relevante es que para cada tipo de cerchas los pesos eran semejantes según la ubicación su vértice (superior e inferior).

Por lo tanto la tendencia entre los diferentes tipos de cerchas espaciales conformadas por combinaciones de cerchas planas; radica en que las tipos Pratt son las más eficiente según los resultados arrojado referente a los pesos y a las cantidades de acero utilizadas ya que esto genera sin duda alguna el menor costo.

Las cerchas tipo plana se clasificaron en dos categorías: según el tipo de cercha y según el tipo de sección estructural tubular.

Luego de analizar las diferentes combinaciones de cerchas planas, la Tipo Warren de secciones circulares arroja el menor peso, mientras que el segundo lugar es para las tipo Warren de sección rectangular.

En general se puede observan que las cerchas planas se mantienen constante según su tipo (Warren, Pratt y Howe), por lo que las Warren se ubican como las más livianas, seguidas de la Pratt y por último las Howe.

Para el diseño de las conexiones se eligieron las cerchas espaciales más livianas que resultaron del análisis de pesos, con la finalidad de trabajar con las más favorables y eficiente en cuanto a cantidad de acero requerida.

Luego diseñar las cerchas con el programa SAP2000 v14 y verificar que las secciones resistían las cargas aplicadas, se observaron diferentes comportamientos.

- ✓ La distribución de carga en cada miembro de la cercha (fuerzas axiales), no se ve afectadas según el tipo de sección estructural tubular, pero si es un factor determinante la uniformidad de los perfiles que se usen tanto en los cordones principales, como en los miembros secundarios, ya que esta distribución está directamente relacionada con la capacidad de cada miembro.

- ✓ Al analizar las fuerzas de tracción y compresión a las que están sometidas los SET, se observó que a los miembros secundarios no se les trasmiten fuerzas de gran magnitud, y en algunos casos ni si quiera tienen fuerza, por lo que se puede deducir que su función primordial es mantener unidos los cordones principales, y evitar cualquier tipo de deformaciones en la estructura, evitando cambios en el ángulo de la abertura, pandeo.

Las especificaciones *Load and Resistance Factor Design for Steel Hollow Structural Sections*, ANSI/AISC 360-05, aun no consideran los parámetros de diseño para conexiones multiplanares, por lo que se pudo observar al realizar las verificaciones, que los parámetros son bastante conservadores para los cordones principales, de manera de garantizar que la misma resista las conexiones aplicadas en cada plano.

En el trabajo especial de grado se diseñaron conexiones de tipo Y, K y T, combinadas entre sí, estudiadas rigurosamente con el procedimiento de diseño ilustrado en el

Capítulo 5. Es importante resaltar que todas las cerchas y conexiones estudiadas cumplen con los límites establecidos por las especificaciones *Load and Resistance Factor Design for Steel Hollow Structural Sections*, ANSI/AISC 360-05, permitiéndonos conocer las combinaciones de SET para los miembros principales y secundarios, más eficientes para cada una de ellas.

En cuanto al diseño observamos, que los límites de aplicación y el estado limite (ruptura por corte, y plastificación de la pared del cordón), son factores determinantes ya que busca mantener una proporción entre cordones principales y miembros secundarios con respecto a sus tamaños, con la finalidad de evitar fallas o colapso de alguno de los miembros.

En el trabajo especial de grado se buscaron soluciones para todas las conexiones de manera de hacerlas posible y reales para la aplicación.

Las tablas desarrolladas de los perfiles Conduven ECO, considerando los radios de las esquinas y el espesor total, aunque en el cálculo de propiedades la variación solo en un 5%, con respecto a las tablas desarrolladas por fabricantes venezolanos, se observó que en el diseño de la conexión el incremento del área nos genera un 10% más de resistencia de la sección estructural tubular, tanto a tracción como a compresión, permitiendo el mejor aprovechamiento de sus capacidades y un diseño de conexión más óptimo.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Una vez analizadas las normas vigentes especializadas en Estructuras de Acero, tal como las Especificaciones LRFD-HSS del ANSI/AISC 360-05 y la Norma Venezolana COVENIN 1618-1998 *" Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites",* la Guía #24 de Diseño *Hollow Structural Section Connections* y el Manual de *Diseño de Estructuras de Acero con Perfiles Tubulares*, se logró definir los procedimientos de diseño para distintos tipos de conexiones, adaptándolos a las características de los materiales que están disponibles en Venezuela.

- Luego de estudiar minuciosamente las tablas de los perfiles Conduven ECO, se verificó que cumplían con las especificaciones LRFD-HSS del ANSI/AISC 360-05, y se plantearon nuevas tablas considerando los radios de las esquinas y el espesor total, con la finalidad de obtener mayor precisión en las propiedades de los perfiles.

- Luego de precisar la normativa y los perfiles que se utilizarían, se desarrolló un procedimiento detallado para distintos tipos de conexiones en cerchas espaciales, clasificándolos según el tipo de SET (circular, rectangular y cuadrada).

- Posteriormente se desarrollaron los ejemplos para diferentes tipos de cerchas espaciales y tipos de secciones estructurales tubulares, observando que para el cumplimiento de las especificaciones los perfiles venezolanos ameritan grandes tamaños debido a que no existe gran variedad de perfiles de sección estructural tubular.

- Para el diseño de las conexiones, no se usaron perfiles rectangulares, ya que algunos de ellas no cumplían con la relación anchura-espesor disminuyendo su capacidad, por lo tanto se buscaron conexiones en donde se hiciera el mejor aprovechamiento de los perfiles.

- Con las tablas los datos obtenidos de las tablas de propiedades de los perfiles Conduven ECO, donde se consideraban los radios de las esquinas y espesor total, se observó que incrementaba en un 10% la capacidad de resistir solicitaciones a tracción y compresión, permitiendo un mejor aprovechamiento de las capacidades del SET:

- Finalmente se desarrollaron distintos ejemplos de conexiones típicas en cerchas espaciales, ilustrando los diferentes casos que se pueden generar en el diseño y proporcionando las posibles soluciones en caso de no cumplir con las especificaciones LRFD ANSI/AISC 360-05.

Recomendaciones

- Desarrollar procedimientos de diseño 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 de transmisión o lugares donde la apariencia de la cercha no sea prioridad.

- Desarrollar, aprovechando la información suministrada por este Trabajo Especial de Grado, un estudio de los tipos de soldaduras y sus especificaciones para Conexiones Típicas con Elementos Tubulares de Acero y detallar los ensayos que se deben realizar en cada soldadura para garantizar su eficiencia.

- Desarrollar procedimientos de diseños y ejemplos correspondientes a las conexiones en CRUZ, que aunque no es una conexión típica, ni se apreció en las cerchas estudiadas en este trabajo, se encuentran establecidas en las Especificaciones LRFD-HSS del AISC y guías de Diseño.

- Verificar en próximas actualizaciones de las especificaciones *Load and Resistance Factor Design for Steel Hollow Structural Sections*, ANSI/AISC, si se han considerado conexiones multiplanares o si se establece algún factor de seguridad para las conexiones de cerchas espaciales.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ (2007). Recuperado el 03 de septiembre de 2012, de http://www.slideshare.net/chicabonsay/investigacin-evaluativa.

- ✓ (1996). En O. W. Blodgett, *Design of Welded Structures.* Cleveland: The James F. Lincoln Arc Welding Foundation.

- ✓ (2005). En A. I. Construction., *Load and Resistance Factor Design Especification for Steel Hollow Structural Sections.* Chicago, Ilinois.

- ✓ (1998). En N. V. COVENIN1618:1998, *Estructuras de Acero para Edificaciones: Métodos de los Estados Límites (primera revisión).* Caracas: FONDOFORMA.

- ✓ (1991). En M. Fratelli, *Proyectos Estructurales de Acero (Primera edición).* Caracas: 607.

- ✓ (1979). En A. G.S Pisarenko, *Manual de Resistencia de Materiales.* Rumania: Mir Moscú.

- ✓ González Maria, O. V. (2010). En O. V. González Maria, *Diseño de conexiones típicas para cerchas con elementos tubulares* (pág. 96). Caracas.

- ✓ INDUSTRIAS UNICON C.A. (2011). En *Diseño de estructuras de acero con perfiles tubulares* (pág. 304). Caracas: Industrias UNICON C.A.

- ✓ (1981). En M. Melaragno, *SimplifiedTruss Design.* New York: Litton Educational Publishing.

- ✓ (2010). En J. Packer, *Steel Design Guide 24 Hollow Structural Section Connections de la AISC* (pág. 146). USA.