



**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**RECOMENDACIONES PARA EL CÁLCULO DE ESTRUCTURAS  
METÁLICAS CON PERFILES TUBULARES**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

Presentado ante la

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

Como parte de los requisitos para optar al título del

**INGENIERO CIVIL**

**REALIZADO POR:**

**Duque Tovar, Ivania Alexandra  
Pulido Fernández, Jonathan José**

**TUTOR:**

**Ing. Bonadío Pedrón, Vincenzo**

**FECHA:**

**Caracas, Junio de 2016**

## **DEDICATORIA**

*A mi abuela Carmen, que estaría muy orgullosa  
por culminar esta etapa de mi vida.*

*Ivania Duque*

*A mis padres y hermano  
por siempre creer en mí.*

*Jonathan Pulido*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios y al Divino Niño por siempre guiarme por el buen camino, abrirme el entendimiento en momentos difíciles y superar las adversidades.

A mis padres por haber estado junto a mí en todas las etapas de mi vida, por sus valores inculcados, apoyo incondicional en cada experiencia que he tenido a lo largo de la carrera, este mérito también es de ustedes.

A Jonathan por tu paciencia, por entenderme en momentos difíciles, por ser mi compañero y amigo en toda la carrera, sin ti no lo hubiese logrado.

A mis primas Ana Victoria, Zuipa y Ney-Lint, Dios no me dio hermanas pero ustedes lo son y siempre han estado a mi lado pase lo que pase. A Rui por ser mi primo, mi hermano y mi padre en todo momento, aconsejándome y brindándome su apoyo.

A mis tías por ser otras madres para mí, incondicionales, mi fortaleza, por hacerme sentir en casa cuando más lo necesitaba.

A Alejandro por ser más que mi pareja, ser mi apoyo, por motivarme a salir adelante y estar a mi lado en todo momento.

A mis amigos que también son mi otra familia, Génesis Valles, Milagros Rodríguez, Isabel Zabala, Jovina Cabanillas, Kerman Sánchez, Jesús Ramírez y Carlos Dolores, por todas esas noches de insomnio, momentos compartidos (risas y lágrimas), gracias por sus consejos y su apoyo a lo largo de esta travesía que compartimos juntos.

*Ivania Alexandra Duque Tovar*

A Dios y Jesucristo por siempre darme la oportunidad de luchar por mis metas.

A mis padres y hermano, Amilcar Pulido, María Fernández y Amilcar Pulido Jr. por siempre estar junto a mí, demostrándome todo su apoyo en las decisiones que he tomado y por haberme inculcado tan buenos valores.

A mi familia por siempre estar a mi lado tanto en los momentos importantes como en los momentos difíciles, en especial a mi tía Gisela Fernández por brindarme su apoyo en mi pasantía.

A mi compañera y amiga Ivania Duque por haber compartido todos estos años, pasando buenos ratos, llenos de alegría y siempre preocupándose por mi todos los semestres.

Y a todos mis amigos con los que llegue a compartir y conocer durante toda mi carrera, que me ayudaron a lograr mis objetivos.

*Jonathan José Pulido Fernández*

A nuestro **Tutor**, por calmarnos en momentos de desesperación, confiar en nosotros en la realización de este proyecto y guiarnos en este paso final de nuestra carrera.

Al **Ing. José Velásquez** por sus comentarios, paciencia, conocimientos transmitidos, aclararnos dudas y siempre tener la disposición en ayudarnos. Ha sido un honor.

## ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I .....	1
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1. Planteamiento del problema.....	1
2. Objetivo de la investigación .....	1
2.1. Objetivo General .....	1
2.2. Objetivos Específicos .....	2
3. Justificación .....	2
4. Alcances y limitaciones .....	2
5. Antecedentes de la investigación.....	3
CAPÍTULO II.....	4
MARCO DE TEÓRICO .....	4
1. Miembros Estructurales Tubulares .....	4
1.1. Clasificación de los miembros estructurales tubulares.....	4
1.2. Ventajas de los miembros estructurales tubulares.....	6
1.3. Propiedades del acero .....	7
1.4. Proceso productivo de tubos estructurales nacionales.....	8
2. Conexiones.....	14
2.1. Tipos de Conexiones .....	14
3. Tipos de Fallas en Miembros Tubulares.....	16
3.1. Plastificación de una columna o cordón.....	16
3.2. Cedencia por corte bidireccional (Punzamiento) .....	19

3.3.	Cedencia local debido a la distribución desigual de la carga .....	21
3.4.	Falla de las paredes laterales del cordón .....	24
4.	Tipos de soldaduras entre Elementos Tubulares.....	27
4.1.	Las soldaduras de filete .....	27
4.2.	Soldadura de ranura de penetración parcial de la junta (PJP) y soldadura de ranura de penetración completa (CPJ).....	29
4.3.	Soldadura tope biselado curvo.....	30
5.	Restricciones de las Conexiones soldadas .....	32
5.1.	Conexiones circulares (Tubulares circulares) tipo “T”,”Y” y “K” .....	32
5.2.	Conexiones de cajón (Tubulares rectangulares y cuadrados) tipo “T”,”Y” y “K” .....	37
6.	Inspección .....	40
6.1.	Calificación de inspección de soldador, operador de soldadura y apuntalador.....	40
6.2.	Inspección de trabajo y registros .....	40
7.	Conexiones a Momento .....	41
7.1.	Conexiones directamente soldadas.....	41
7.2.	Viga continua sobre columna tubular.....	42
8.	Conexiones a Momento entre miembros Tubulares .....	43
8.1.	Vigas y Columnas con miembros tubulares circulares.....	43
8.2.	Vigas y Columnas con miembros tubulares rectangulares.....	44
CAPÍTULO III.....		46
MARCO METODOLÓGICO.....		46
1.	Diseño de la Investigación .....	46
2.	Operacionalización de los Objetivos de la Investigación .....	47

3. Fases de la Investigación .....	49
4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos .....	50
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>51</b>
<b>DISEÑO DE LOS PERFILES TUBULARES .....</b>	<b>51</b>
1. Estados Límites.....	51
1.1. Estado límite de agotamiento resistente .....	51
1.2. Estado límite de servicio .....	52
2. Propiedades de las Secciones de Miembros Tubulares.....	52
2.1. Sección Circular .....	53
2.2. Secciones de Cajón.....	54
3. Relación Ancho/espesor .....	56
3.1. Sección circular .....	57
3.2. Secciones de cajón (rectangular y cuadrado) .....	58
4. Ductilidad.....	61
4.1. Sección Circular .....	61
4.2. Secciones de cajón (rectangular y cuadrada).....	63
5. Tipos de diseño .....	67
5.1. Diseño a compresión .....	67
5.2. Diseño a tracción .....	85
5.3. Diseño por corte .....	90
5.4. Diseño por Flexión .....	98
5.5. Diseño a Torsión.....	106
5.6. Diseño a Flexocompresión .....	113

6. Cargas Concentradas en perfiles Tubulares .....	113
6.1. Sección Circular .....	121
6.2. Sección Rectangular .....	124
6.3. Sección Cuadrada .....	127
7. Conexiones a Momento Tubo a Tubo.....	130
7.1. Sección Circular .....	136
7.2. Sección rectangular .....	140
7.3. Sección Cuadrada .....	144
CAPÍTULO V .....	148
DISEÑO DE CONEXIONES .....	148
1. Modelo n° 1: Columnas de perfil tubular de sección cuadrada con vigas IPN.....	150
2. Modelo n° 2: Columnas de perfil tubular cuadrado con vigas de perfil tubular cuadrado.....	158
3. Modelo n° 3: Columnas de perfil tubular circular con vigas IPN.....	165
CAPÍTULO VI .....	173
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	173
1. Conclusiones.....	173
2. Recomendaciones .....	175
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	176

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2- 1 Propiedades Mecánicas (mínimas) de la Norma Americana.....	7
Tabla 2- 2 Propiedades Mecánicas (mínimas) de la Norma Europea.....	8
Tabla 2- 3 Propiedades geométricas de los perfiles tubulares de sección circular.....	11
Tabla 2- 4 Propiedades geométricas de los perfiles tubulares de sección cuadrada.....	12
Tabla 2- 5 Propiedades geométricas de los perfiles tubulares de sección rectangular.....	13
Tabla 2- 6 Tamaño mínimo de soldadura de filete.....	27
Tabla 2- 7 Control de estados límites para tamaño efectivo de soldadura de filete.....	29
Tabla 2- 8 Espesores mínimos necesarios para el tamaño de soldadura.....	29
Tabla 2- 9 Garganta efectiva de soldadura de tope con junta de penetración parcial.....	30
Tabla 2- 10 Tamaño de Soldadura efectiva de soldaduras de tope biselada curva.....	31
Tabla 2- 11 Espesor mínimo de garganta efectiva.....	32
Tabla 2- 12 Términos para la resistencia de conexiones (secciones circulares).....	34
Tabla 2- 13 Parámetros Geométricos (secciones circulares).....	35
Tabla 3- 1 Operacionalización de Objetivos.....	48
Tabla 4- 1 Propiedades Geométricas, para perfil tubular de sección circular.....	55
Tabla 4- 2 Propiedades Geométricas, para perfil tubular de sección rectangular.....	55
Tabla 4- 3 Propiedades Geométricas, para perfil tubular de sección cuadrada.....	56

Tabla 4- 4 Relación ancho-espesor, para perfil tubular de sección circular. ....	58
Tabla 4- 5 Ductilidad, para perfil tubular de sección rectangular, Grado A. ....	60
Tabla 4- 6 Ductilidad, para perfil tubular de sección cuadrada, Grado A. ....	60
Tabla 4- 7 Ductilidad, para perfil tubular de sección circular, Grado A. ....	62
Tabla 4- 8 Ductilidad, para perfil tubular de sección circular, Grado B. ....	62
Tabla 4- 9 Ductilidad, para perfil tubular de sección circular, Grado C. ....	63
Tabla 4- 10 Ductilidad, para perfil tubular de sección rectangular, Grado A. ....	64
Tabla 4- 11 Ductilidad, para perfil tubular de sección rectangular, Grado B. ....	65
Tabla 4- 12 Ductilidad, para perfil tubular de sección rectangular Grado C. ....	65
Tabla 4- 13 Ductilidad, para perfil tubular de sección cuadrada, Grado A. ....	66
Tabla 4- 14 Ductilidad, para perfil tubular de sección cuadrada, Grado B. ....	66
Tabla 4- 15 Ductilidad, para perfil tubular de sección cuadrada, Grado C. ....	67
Tabla 4- 16 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular (K=1), Grado A. .....	70
Tabla 4- 17 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular (K=1.2) Grado A. ....	71
Tabla 4- 18 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular (K=1.4) Grado A. ....	71

Tabla 4- 19 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular ( $K=1$ ), Grado B. .....	72
Tabla 4- 20 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular ( $K=1.2$ ) Grado B. .....	72
Tabla 4- 21 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular ( $K=1.4$ ) Grado B. .....	73
Tabla 4- 22 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular ( $K=1$ ), Grado C. .....	73
Tabla 4- 23 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular ( $K=1.2$ ) Grado C. .....	74
Tabla 4- 24 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular ( $K=1.4$ ) Grado C. .....	74
Tabla 4- 25 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular ( $K=1$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado A. .....	75
Tabla 4- 26 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular ( $K=1.2$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado A. .....	76
Tabla 4- 27 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular ( $K=1.4$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado A. .....	76
Tabla 4- 28 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular ( $K=1$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado B. .....	77
Tabla 4- 29 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular ( $K=1.2$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado B. .....	77

Tabla 4- 30 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular ( $K=1.4$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado B. ....	78
Tabla 4- 31 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular ( $K=1$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado C. ....	78
Tabla 4- 32 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular ( $K=1.2$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado C. ....	79
Tabla 4- 33 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular ( $K=1.4$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado C. ....	79
Tabla 4- 34 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada ( $K=1$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado A. ....	80
Tabla 4- 35 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada ( $K=1.2$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado A. ....	81
Tabla 4- 36 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada ( $K=1.4$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado A. ....	81
Tabla 4- 37 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada ( $K=1$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado B. ....	82
Tabla 4- 38 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada ( $K=1.2$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado B. ....	82
Tabla 4- 39 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada ( $K=1.4$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado B. ....	83
Tabla 4- 40 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada ( $K=1$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado C. ....	83

Tabla 4- 41 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada ( $K=1.2$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado C. ....	84
Tabla 4- 42 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada ( $K=1.4$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado C. ....	84
Tabla 4- 43 Resistencia a la tracción para perfil tubular de sección circular Grado A. ....	85
Tabla 4- 44 Resistencia a la tracción para perfil tubular de sección circular Grado B. ....	86
Tabla 4- 45 Resistencia al corte para perfil tubular de sección circular Grado C. ....	86
Tabla 4- 46 Resistencia a la tracción para perfil tubular de sección rectangular Grado A. ....	87
Tabla 4- 47 Resistencia a la tracción para perfil tubular de sección rectangular Grado B. ....	87
Tabla 4- 48 Resistencia a la tracción para perfil tubular de sección rectangular Grado C. ....	88
Tabla 4- 49 Resistencia a la tracción para perfil tubular de sección cuadrada Grado A. ....	88
Tabla 4- 50 Resistencia a la tracción para perfil tubular de sección cuadrada Grado B. ....	89
Tabla 4- 51 Resistencia a la tracción para perfil tubular de sección cuadrada Grado C. ....	89
Tabla 4- 52 Resistencia al corte para perfil tubular de sección circular Grado A. ....	91
Tabla 4- 53 Resistencia al corte para perfil tubular de sección circular Grado B. ....	91
Tabla 4- 54 Resistencia al corte para perfil tubular de sección circular Grado C. ....	92
Tabla 4- 55 Resistencia al corte para perfil tubular de sección rectangular Grado A. ....	94
Tabla 4- 56 Resistencia al corte para perfil tubular de sección rectangular Grado B. ....	95
Tabla 4- 57 Resistencia al corte para perfil tubular de sección rectangular Grado C. ....	95

Tabla 4- 58 Resistencia al corte para perfil tubular de sección cuadrada Grado A. ....	96
Tabla 4- 59 Resistencia al corte para perfil tubular de sección cuadrada Grado B. ....	97
Tabla 4- 60 Resistencia al corte para perfil tubular de sección cuadrada Grado C. ....	97
Tabla 4- 61 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección circular Grado A. ....	99
Tabla 4- 62 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección circular Grado B. ....	99
Tabla 4- 63 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección circular Grado C. ...	100
Tabla 4- 64 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección rectangular Grado A. .....	102
Tabla 4- 65 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección rectangular Grado B. .....	103
Tabla 4- 66 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección rectangular Grado C. .....	103
Tabla 4- 67 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección cuadrada Grado A.	104
Tabla 4- 68 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección cuadrada Grado B.	105
Tabla 4- 69 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección cuadrada Grado C.	105
Tabla 4- 70 Verificación de torsión para perfil tubular de sección circular, Grado A. ....	107
Tabla 4- 71 Verificación de torsión para perfil tubular de sección circular, Grado B. ....	108
Tabla 4- 72 Verificación de torsión para perfil tubular de sección circular, Grado C. ....	108
Tabla 4- 73 Verificación de torsión para perfil tubular de sección rectangular, Grado A. ....	109

Tabla 4- 74 Verificación de torsión para perfil tubular de sección rectangular, Grado B. ....	110
Tabla 4- 75 Verificación de torsión para perfil tubular de sección rectangular, Grado C. ....	110
Tabla 4- 76 Verificación de torsión para perfil tubular de sección cuadrada, Grado A. ....	111
Tabla 4- 77 Verificación de torsión para perfil tubular de sección cuadrada, Grado B. ....	112
Tabla 4- 78 Verificación de torsión para perfil tubular de sección cuadrada, Grado C. ....	112
Tabla 4- 79 Resistencias disponibles de conexiones de planchas con secciones tubulares circulares. ....	115
Tabla 4- 80 Continuación de la Tabla 4-79 Resistencias disponibles de conexiones de planchas con secciones tubulares. ....	116
Tabla 4- 81 Límites de aplicabilidad de la tabla N° 4-79. ....	116
Tabla 4- 82 Resistencias disponibles de conexiones de planchas con secciones tubulares rectangulares. ....	117
Tabla 4- 83 Continuación de la Tabla 4-82. Resistencias disponibles de conexiones de planchas con secciones tubulares rectangulares. ....	118
Tabla 4- 84 Resistencias disponibles de conexiones de planchas con secciones tubulares rectangulares. ....	119
Tabla 4- 85 Límites de Aplicabilidad de Tabla N° ....	120
Tabla 4- 86 Limitantes por el espesor del miembro de sección circular, Grado A. ....	121
Tabla 4- 87 Limitantes por el espesor del miembro de sección circular, Grado B. ....	122
Tabla 4- 88 Limitantes por el espesor del miembro de sección circular, Grado C. ....	122

Tabla 4- 89 Límites para el ancho de la plancha, para secciones circular. ....	123
Tabla 4- 90 Limitante de ductilidad del acero, para secciones circular. ....	123
Tabla 4- 91 Limitante de resistencia del acero, para secciones circular. ....	124
Tabla 4- 92 Limitantes por el espesor del miembro de sección rectangular, Grado A. ....	124
Tabla 4- 93 Limitantes por el espesor del miembro de sección rectangular, Grado B. ....	125
Tabla 4- 94 Limitantes por el espesor del miembro de sección rectangular, Grado C. ....	125
Tabla 4- 95 Límites para el ancho de la plancha, para secciones rectangular. ....	126
Tabla 4- 96 Limitante de ductilidad del acero, para secciones rectangular. ....	126
Tabla 4- 97 Limitante de resistencia del acero, para secciones rectangular. ....	127
Tabla 4- 98 Limitantes por el espesor del miembro de sección cuadrada, Grado A. ....	127
Tabla 4- 99 Limitantes por el espesor del miembro de sección cuadrada, Grado B. ....	128
Tabla 4- 100 Limitantes por el espesor del miembro de sección cuadrada, Grado C. ....	128
Tabla 4- 101 Límites para el ancho de la plancha, para secciones cuadrada. ....	129
Tabla 4- 102 Limitante de ductilidad del acero, para secciones cuadrada. ....	129
Tabla 4- 103 Limitante de resistencia del acero, para secciones cuadradas. ....	130
Tabla 4- 104 Resistencia disponible de conexiones de Momento Tubo-Tubo para secciones Tubulares Circulares. ....	131
Tabla 4- 105 Continuación de la Tabla 104. Resistencia disponible de conexiones de Momento Tubo-Tubo para secciones Tubulares Circulares. ....	132

Tabla 4- 106 Resistencia disponible de conexiones de Momento Tubo-Tubo para secciones Tubulares Circulares. ....	132
Tabla 4- 107 Límites de aplicabilidad para la Tabla 4-104 .....	133
Tabla 4- 108 Resistencia disponible de conexiones de Momento Tubo-Tubo con secciones tubulares rectangulares. ....	134
Tabla 4- 109 Continuación de la Tabla 108. Resistencia disponible de conexiones de Momento Tubo-Tubo con secciones tubulares rectangulares. ....	135
Tabla 4- 110 Resistencia disponible de conexiones de Momento Tubo-Tubo con secciones tubulares rectangulares. ....	135
Tabla 4- 111 Límites de aplicabilidad de la Tabla 4-108. ....	136
Tabla 4- 112 Limitantes por el espesor del miembro principal de sección circular. ....	136
Tabla 4- 113 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección circular, Grado A. ...	137
Tabla 4- 114 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección circular, Grado B.....	137
Tabla 4- 115 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección circular, Grado C.....	138
Tabla 4- 116 Límite para el ancho del ramal, para secciones circular.....	138
Tabla 4- 117 Limitante de ductilidad del acero, para secciones circular.....	139
Tabla 4- 118 Limitante de resistencia del acero, para secciones circular.....	139
Tabla 4- 119 Limitantes por el espesor del miembro principal de sección rectangular. ....	140
Tabla 4- 120 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección rectangular, Grado A. ....	140

Tabla 4- 121 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección rectangular, Grado B. .....	141
Tabla 4- 122 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección rectangular, Grado C. .....	141
Tabla 4- 123 Límite para el ancho del ramal, para secciones rectangular.....	142
Tabla 4- 124 Límite para el aspecto del ramal, para secciones rectangular.....	142
Tabla 4- 125 Limitante de ductilidad del acero, para secciones rectangular.....	143
Tabla 4- 126 Limitante de resistencia del acero, para secciones rectangular.....	143
Tabla 4- 127 Limitantes por el espesor del miembro principal de sección cuadrada.....	144
Tabla 4- 128 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección cuadrada, Grado A. .	144
Tabla 4- 129 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección cuadrada, Grado B. .	145
Tabla 4- 130 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección cuadrada, Grado C. .	145
Tabla 4- 131 Límite para el ancho del ramal, para secciones cuadrada.....	146
Tabla 4- 132 Límite para el aspecto del ramal, para secciones cuadrada.....	146
Tabla 4- 133 Limitante de ductilidad del acero, para secciones cuadrada.....	147
Tabla 4- 134 Limitante de resistencia del acero, para secciones cuadradas.....	147
Tabla 5- 1 Propiedades de los perfiles del Modelo n°1.....	150
Tabla 5- 2 Propiedades de los perfiles del Modelo n°2.....	158
Tabla 5- 3 Propiedades de los perfiles del Modelo n°3.....	165

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2- 1 Proceso productivo de tubos estructurales CONDUVEN ECO.....	10
Figura 2- 2 Proceso productivo de tubos estructurales CONDUVEN ECO.....	10
Figura 2- 3 Proceso productivo de tubos estructurales CONDUVEN ECO.....	10
Figura 2- 4 Conexión tipo “T” .....	14
Figura 2- 5 Conexión Tipo “Y” .....	15
Figura 2- 6 Conexión Tipo “K” .....	15
Figura 2- 7 Conexiones Cruzadas .....	15
Figura 2- 8 Plastificación de una columna o cordón. ....	16
Figura 2- 9 (a) Conexión tipo K bajo carga última. (b) Sección transversal longitudinal a través de una conexión de un perfil tubular tipo K bajo carga última. Plastificación de un cordón por un perfil tubular de sección rectangular en conexión tipo K. ....	17
Figura 2- 10 Conexión tipo K bajo carga última con perfil tubular de sección circular. ....	17
Figura 2- 11 Conexión de placa longitudinal bajo carga última.....	18
Figura 2- 12 Cedencia por corte bidireccional en el cordón (Punzamiento). ....	19
Figura 2- 13 Placa transversal conectada a perfil tubular de sección rectangular bajo carga última. ....	20
Figura 2- 14 Conexión tipo T de perfiles tubulares de sección circular bajo carga última. ....	21
Figura 2- 15 Cedencia local debido a la distribución desigual de carga.....	21

Figura 2- 16 Cedencia local por compresión en la rama, por distribución desigual de la carga. .....	21
Figura 2- 17 Placa transversal conectada a perfil tubular de sección rectangular bajo carga última. ....	22
Figura 2- 18 Conexión tipo K de perfil tubular de sección rectangular solapado bajo carga última. ....	23
Figura 2- 19 Pandeo local del cordón debido a la distribución desigual de la carga. ....	24
Figura 2- 20 Falla de las paredes laterales del cordón. ....	24
Figura 2- 21 Pandeo local de la pared.....	25
Figura 2- 22 Pandeo local de la pared lateral.....	26
Figura 2- 23 Sección transversal de la conexión de la figura 0-30.....	26
Figura 2- 8 Soldadura de tope biselada curva.....	31
Figura 2- 25 Refuerzo de juntas (secciones circulares) .....	36
Figura 2- 26 Conexión directamente soldada .....	42
Figura 2- 27 Viga continua sobre columna tubular .....	43
Figura 2- 28 Conexión viga-columna con miembros tubulares circulares .....	44
Figura 2- 29 Conexión viga-columna con miembros tubulares rectangulares .....	45
Figura 4- 1 Modelo probabilístico para el Estado Límite de Agotamiento Resistente.....	52
Figura 4- 2 Propiedades de las secciones.....	53

Figura 4- 3 Miembro tubular circular .....	57
Figura 4- 4 Miembro tubular de cajón .....	58
Figura 4- 5 Miembro tubular circular. ....	61
Figura 4- 6 Miembro tubular de cajón. ....	63
Figura 4- 7 (a) Conexión longitudinal de plancha con perfil “I”, (b) Conexión longitudinal de plancha con miembro tubular. ....	113
Figura 4- 8 Plancha longitudinal, plancha longitudinal que atraviesa la sección tubular, Plancha longitudinal rigidizada, plancha transversal. ....	114
Figura 5- 1 Plano de Estructura Metálica de dos niveles. ....	149
Figura 5- 2 Modelo n° 1: Columna de perfil tubular de sección cuadrada con viga IPN. ....	154
Figura 5- 3 Modelo n° 1: Secciones de columnas y vigas. ....	155
Figura 5- 4 Modelo n° 1: Diagrama de fuerza axial.....	155
Figura 5- 5 Modelo n° 1: Diagrama de fuerza cortante 2-2. ....	156
Figura 5- 6 Modelo n° 1: Diagrama de momento 2-2.....	156
Figura 5- 7 Modelo n° 1: Diagrama de momento 3-3.....	157
Figura 5- 8 Conexión de Columna de Perfil Tubular Cuadrado con Viga IPN.....	157
Figura 5- 9 Modelo n° 2: Columna de perfil tubular de sección cuadrada con viga perfil tubular de sección cuadrada. ....	161
Figura 5- 10 Modelo n° 2: Secciones de columnas y vigas. ....	162

Figura 5- 11 Modelo n° 2: Diagrama de fuerza axial.....	162
Figura 5- 12 Modelo n° 2: Diagrama de fuerza cortante 2-2. ....	163
Figura 5- 13 Modelo n° 2: Diagrama de momento 2-2.....	163
Figura 5- 14 Modelo n° 2: Diagrama de momento 3-3.....	164
Figura 5- 15 Conexión de Columna de Perfil Tubular Cuadrado con Viga de Perfil Tubular Cuadrado.....	164
Figura 5- 16 Modelo n° 3: Columna de perfil tubular de sección circular con viga IPN. ....	169
Figura 5- 17 Modelo n° 3: Secciones de columnas y vigas. ....	170
Figura 5- 18 Modelo n° 3: Diagrama de fuerza axial.....	170
Figura 5- 19 Modelo n° 3: Diagrama de fuerza cortante 2-2. ....	171
Figura 5- 20 Modelo n° 3: Diagrama de momento 2-2.....	171
Figura 5- 21 Modelo n° 3: Diagrama de momento 3-3.....	172
Figura 5- 22 Conexión de Columna de Perfil Tubular Cuadrado con Viga de Perfil Tubular Cuadrado.....	172

## NOTACIÓN Y UNIDADES

*A*: Área de la sección.

*A<sub>e</sub>*: Suma de las áreas efectivas de las secciones basada en el ancho efectivo reducido (*b<sub>e</sub>*).

*A<sub>g</sub>*: Área gruesa de la sección del miembro.

*A<sub>w</sub>*: Área de las almas de la sección.

*A<sub>w<sub>e</sub></sub>*: Área efectiva de la soldadura.

*B*: Ancho total de la sección.

*C*: Constante torsional para secciones tubulares.

*C<sub>v</sub>*: Coeficiente de corte del alma.

*D*: Diámetro del miembro principal.

*D<sub>b</sub>*: Diámetro del miembro ramal.

*E*: Modulo de elasticidad.

*F<sub>EE</sub>*: Esfuerzo de fluencia de la soldadura.

*F<sub>cr</sub>*: Esfuerzo critico de pandeo en columnas.

*F<sub>u</sub>*: Esfuerzo de rotura.

*F<sub>y</sub>*: Esfuerzo de fluencia.

*F<sub>y<sub>o</sub></sub>*: Esfuerzo de fluencia del miembro principal.

*H*: Altura total de la sección.

*K*: Factor de longitud efectiva en compresión.

*L*: Longitud del miembro.

$L_v$ : Distancia entre el corte cero y máximo corte en el miembro diseñado.

$M_n$ : Resistencia Nominal a flexión.

$M_u$ : Resistencia a flexión mayorada requerida.

$P_n$ : Resistencia nominal a fuerza axial.

$P_u$ : Resistencia a fuerza axial mayorada requerida.

$S$ : Modulo elástico.

$S_e$ : Modulo de sección efectivo determinado con el ancho efectivo ( $b_e$ ) del ala en compresión.

$T_n$ : Resistencia nominal a torsión.

$T_u$ : Resistencia a torsión mayorada requerida.

$V_n$ : Resistencia nominal a corte.

$V_u$ : Resistencia a corte mayorado requerido.

$Z$ : Modulo plástico de la sección en torno al eje de pandeo

$b$ : Ancho libre del alma.

$b_{eoi}$ : Ancho efectivo de la cara del miembro secundario soldada al cordón.

$h$ : Altura libre del alma.

$HSS$ : Hollow Structural Section

$l_w$ : Longitud efectiva de la soldadura.

$r$ : Radio de giro con respecto al eje de pandeo.

$t$ : Espesor del miembro.

$t_c$ : Espesor de la pared del miembro principal.

*tb*: Espesor de la pared del miembro ramal.

*te*: Garganta efectiva.

*w*: Espesor de la soldadura.

*w<sub>eff</sub>*: Espesor de soldadura efectiva.

$\phi_{BM}$ : Factor de minoración de la fuerza del metal base.

$\phi_b$ : Factor de minoración de momento nominal (0.90).

$\phi_c$ : Factor de minoración de fuerza axial (0.90).

$\phi_t$ : Factor de minoración por torsión (0.90).

$\phi_v$ : Factor de minoración de resistencia para corte (0.90).

$\phi_w$ : Factor de minoración de la fuerza del metal de la soldadura (0.75).

Se usaran las siguientes unidades:

- Áreas:  $cm^2, pulg^2$
- Fuerzas:  $Kgf, Kips$
- Momentos:  $Kgf * m$
- Tensiones:  $Kgf/cm^2$
- Longitudes:  $mm, cm, m$

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

***Recomendaciones para el cálculo de estructuras metálicas con perfiles tubulares***

Autores: Br. Ivania Alexandra Duque Tovar / Br. Jonathan José Pulido Fernández

Tutor: Ing. Vincenzo Bonadío Pedrón

Fecha: Junio 2016

**RESUMEN**

En este Trabajo Especial de Grado (TEG), se va concentrar en la comparación de distintos diseños de estructuras metálicas, en la cual se mantendrá en todos los diseños las cargas, y parámetros geométricos de la estructura, pero se variara la forma y material de las columnas y las vigas para así lograr cambiar su inercia. Y en la tabulación de los distintos comportamiento (flexión, corte, torsión, compresión y torsión) de los distintos miembros tubulares que se encuentra en el mercado venezolano en sus distintos comportamiento de acero.

También se enfocara en los tipos de conexiones que podemos efectuar con miembros tubulares estructurales en pórticos estructurales, considerando perpendicular el cordón principal con el miembro ramal, debido a la gran dificultad que conllevan estas conexiones.

El predimensionado y diseño de conexiones se regirán por el método de LRFD (Load and Resistance Factor Design), que es un método que nos permite de hacer una manera eficaz nuestros diseños. En la cual las cargas de servicio se multiplican por ciertos factores de carga o seguridad y la estructura se proporciona para que tenga una resistencia última de diseño, suficiente para resistir cargas factorizadas.

**Palabras Claves:** Estructuras de Acero, Conexiones, Perfiles Tubulares.

## INTRODUCCIÓN

Las conexiones en las estructuras de acero, son de los factores más importantes a la hora de su diseño, ya que representa la unión entre todos los miembros que forman dicha estructura. Mediante resultados experimentales se ha demostrado que un diseño mal ejecutado puede ser la causa de la falla parcial o total de la estructura.

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

En el *Capítulo II*, está conformado por el marco teórico de la investigación, el cual se definen conceptos básicos para el desarrollo de la investigación, procesos constructivos, tipos de conexiones, restricciones y fallas en los perfiles tubulares.

En el *Capítulo III*, presenta el marco metodológico que fue utilizado para el desarrollo del Trabajo Especial de Grado, en el cual se explica el diseño de la investigación, como se operó para el cumplimiento de los objetivos, fases o etapas de investigación y técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de datos.

En el *Capítulo IV*, presenta el diseño de los perfiles tubulares tanto circulares como de cajón, mediante el método de los estados límites, tablas de verificación de resistencia a tracción, compresión, flexión y corte y por ultimo comprobar si la perfilería venezolana de miembros tubulares pueden regirse sus conexiones por la normativa americana.

En el *Capítulo V*, presenta ejemplos manuales de diseño tomados de un modelo de estructura de dos (2) pisos con variaciones de perfiles para evaluar los distintos casos de conexiones.

En el *Capítulo VI*, presenta las conclusiones alcanzadas con el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, verificando el cumplimiento de los objetivos planteados al inicio de la

investigación. Conjuntamente, se plantean recomendaciones y posibles mejoras para futuros trabajos dentro de la misma línea de investigación.

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

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1. Planteamiento del problema

El diseño y uso de miembros tubulares estructurales, en los últimos años ha visto en aumento su empleo, debido variables arquitectónicas, estructurales y económicas. En Venezuela, el uso de estos miembros se ha visto en desarrollo motivado a la gran escases de perfiles de acero y los altos costos en que se pueden encontrar.

En Venezuela no hay una norma venezolana que establezca un código de análisis y diseño, por lo cual nos adaptamos a normas internacionales, preferiblemente la norteamericana que en ciertos capítulos de su norma recomienda unos estatutos para su diseño. Con los avances y estudios que se han realizado para poder optimizar la estructuras (economía y uso de materiales) en los últimos años surgió el método de Load and Resistance Factor Design (LRFD), en la cual emplea como criterios de análisis y diseño los de la teoría plástica o una combinación de análisis y diseño plástico. En este caso, basado en estados límites, hay consistencia con el método de diseño para concreto reforzado ACI-318 “*Requisitos de reglamento para Concreto Estructural*”, que emplea procedimientos probabilísticos y provee un nivel más uniforme de confiabilidad.

#### 2. Objetivo de la investigación

##### 2.1. Objetivo General

Emitir recomendaciones para los distintos tipos de diseños con estructuras metálicas bajo diversas sollicitaciones.

## **2.2. Objetivos Específicos**

- Establecer los criterios de diseño de conexiones a momento ajustados a lo indicado en la norma.
- Modelar el comportamiento de una estructura metálica conformada por perfiles tubulares.
- Modelar el comportamiento de una estructura metálica conformada por perfiles tubulares combinados con perfiles tipo I.
- Establecer el detalle de los tipos de conexiones más comunes con los perfiles tubulares nacionales.

## **3. Justificación**

Para todo Ingeniero Estructural, el diseño y el cálculo de estructuras metálicas son de suma importancia, es fundamental que su desarrollo se realice detalladamente, tomando en cuenta cada solicitación a la cual estará sometida, para poder hacer un diseño de conexiones eficiente.

Las normas Venezolanas poseen muy poca información de los perfiles tubulares, por eso se debe hacer una recopilación de normas extranjeras, para así ayudar a la comunidad Venezolana a tener una base para el diseño futuro de este tipo de estructuras.

Por lo tanto este estudio tiene como finalidad, evaluar el comportamiento de los perfiles tubulares bajo distintas solicitaciones, para así llegar a unas recomendaciones en sus conexiones que puedan ser útiles para futuros diseños.

## **4. Alcances y limitaciones**

Con el fin de llevar a cabo y cumplir los objetivos planteados, se requiere limitar el alcance del Trabajo Espacial de Grado, desarrollado en el únicamente los siguientes aspectos:

- Disponibilidad de perfiles metálicos tubulares en el mercado venezolano.
- Conexiones con elementos tubulares de acero para pórticos estructurales bajo solicitaciones de flexión y flexo-compresión.
- Conexiones típicas soldadas y apernadas.
- Verificación por método de estados límites (LRFD) y elementos finitos.

## **5. Antecedentes de la investigación**

Álvarez, L. & Hernández J. (2012). *Diseño de conexiones a corte simple con plancha de acuerdo con la especificación AISC 360-10*. (TEG) Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela.

Domínguez, A. (2008). *Manual práctico para el diseño de elementos en acero estructural según el método de LRFD*. (TEG) Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela.

González, M. & Osteicochea V. (2010). *Diseño de conexiones típicas para cerchas con elementos tubulares*. (TEG) Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela.

Losada, M & Matamoros, T (2010). *Desarrollo de hojas de cálculo para automatizar el diseño de conexiones en estructuras de acero por el método de los estados límites (LRFD)*. (TEG) Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela.

Maldonado, J. & Pinto, G. (2012). *Diseño de conexiones típicas para cerchas especiales con elemento tubulares*. (TEG) Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO DE TEÓRICO**

#### **1. Miembros Estructurales Tubulares**

El uso de secciones tubulares ha venido en aumento en la mayoría de los países por su gran polifuncionalidad, desde columnas en pórticos a grandes cerchas Multi-espaciales; desde el punto de vista estructural las columnas a base de secciones estructurales tubulares, tienen la ventaja de ser igualmente rígidas en todas direcciones y por lo general son muy económicas, a menos que los momentos sean demasiado grandes para los tamaños disponibles. Su gran rigidez a torsión, también le permite soportar grandes luces sin que se presenten los problemas de pandeo torsional ante cargas axiales o pandeo flexo-torsional ante cargas transversales.

El Manual del AISC proporciona los tamaños de estas secciones y las clasifica ya sea como secciones HSS circulares o tubo de acero estándar, extra fuerte, o doble extra fuerte.

Las secciones tubulares se usan cada vez más año, y tal vez la principal causa del poco uso de las secciones tubulares era la dificultad de efectuar las conexiones con tornillos o remaches; este problema se ha eliminado con el surgimiento de las técnicas modernas de soldar.

Es importante destacar, que los espesores de la serie de tubos estructurales disponibles en Venezuela, son muy delgados, y puede que se ocasione problemas con algunas especificaciones del método LRFD.

#### **1.1. Clasificación de los miembros estructurales tubulares**

Los miembros estructurales tubulares, se pueden dividir en tres categorías dependiendo del modo de fabricación:

1. Proceso de laminado en frío con soldadura continua: La formación del tubo, se da mediante el uso de rollo de láminas de acero llamadas bobinas, la cual se pasa por un horno; conforme sale del horno, es formada a través de unos rodillos de una lámina en una forma cilíndrica, y el tubo se cierra mediante una soldadura longitudinal interior y exterior continua. La soldadura exterior es sometida a desbarbado, luego el tubo se vuelve a calentar y se pasa por molinos de laminados, donde es reducido a su forma de sección circular, cuadrada o rectangular. El laminado controla tanto el tamaño del tubo como el espesor de la pared.
2. Proceso sin costura: Una barra redonda de un tamaño predeterminado es calentada y luego perforada longitudinalmente con un mandril mientras es girada a alta velocidad. Luego se pasa el tubo a través de otras operaciones de laminado, que le brindan el tamaño y espesor apropiados. El espesor de la pared es constante en todo lo largo del perfil, excepto en las esquinas (debido a los efectos del doblamiento durante el proceso de laminado).
3. Proceso con costura: Pueden ser realizados de tres maneras que son:

- Producción continua con soldadura por resistencia eléctrica:

El acero plano en bobinas es previamente seccionado en flejes de acuerdo al desarrollo del perfil tubular a producir, siendo cargado en una línea de conformado en frío que, en sus etapas previas a la conformación, tiene una etapa de preparación de los bordes para luego ser conformado hasta la formación del tubo. En el extremo final se sitúa la estación de soldadura en la que mediante una corriente eléctrica de alta frecuencia se produce la fusión de los cantos en contacto. Los excedentes de la soldadura son eliminados por raspadores antes de que se enfríen. La producción de secciones cuadradas o rectangulares se logra posteriormente por deformación por presión lateral del tubo circular.

- Producción continua con soldadura helicoidal por arco sumergido:

Permite la construcción de tubos de mayores diámetros (entre 406 y 2540mm) y mayores espesores (entre 4,4mm y 12,6mm) en largos de entre 6 y 12m.

- Cilindrados de grandes dimensiones y espesores:

La producción de tubos es posible a partir del cilindrado de chapas en cilindradoras que varían en sus características, existiendo las que actúan tanto manualmente como en forma mecánica, neumática o hidráulica. La deformación de la plancha o chapa se produce en un equipo de tres o cuatro cilindros que ejercen presión entre sí conformando un aro llamado virola. Este proceso, que permite la obtención de variados espesores y diámetros, está limitado en la longitud de los cilindros deformadores de la cilindradoras, por lo que se deben empalmar longitudinalmente los tramos de plancha cilindrada o virola. El diámetro mínimo de cilindrado depende del espesor de la plancha y del material. Hay procesos hidráulicos que permiten cilindrados hasta planchas de 50mm de espesor y diámetros internos de hasta 840mm, mientras cilindradoras pequeñas están limitadas a espesores máximos de 6mm.

En Venezuela, la mayoría de las secciones huecas disponibles, actualmente se producen por formado en frío y soldadura. Entre los perfiles huecos existen secciones circulares (tubos estructurales) y perfiles tubulares (cuadrados o rectangulares).

## **1.2. Ventajas de los miembros estructurales tubulares**

### **1.2.1. Estética**

El uso racional de los perfiles tubulares se hace atractivo a la vista del público, por lo cual puede ser exhibido en su totalidad sin el uso de otro complemento; la resistencia a pandeo, permite el uso de miembros largos sin necesidad de usar largos arriostramientos. Se recomiendan que las conexiones sean soldadas para que tengan mayor impacto visual.

### **1.2.2. Minimización del área superficial**

Las secciones cerradas, debido a su forma regular de caras lisas y esquinas redondeadas, permiten aplicar cómodamente recubrimientos, pinturas de fondos y efectuar limpieza en general.

La corrosión interna no se da en perfiles tubulares sellados; incluso en aquellos perfiles tubulares que no se han sellado herméticamente, la corrosión es limitada. La conexión soldada sella al tubo contra la humedad, evitando así la entrada de cualquier circulación de aire.

### 1.2.3. Uso del hueco interno

Si los espesores de pared disponibles en el mercado no son suficientes para satisfacer los requisitos de capacidad portante, se puede rellenar el interior del perfil tubular con concreto. Resultando así miembros compuestas (vigas híbridas y columnas rellenas).

### 1.3. Propiedades del acero

En Venezuela, se dispone de una variedad de tubos estructurales, los cuales son perfiles de sección cerrada, conformados en frío y soldados eléctricamente por alta frecuencia, formando elementos tubulares de sección transversal circular, cuadrada y rectangular. Son fabricados bajo la norma americana ASTM A 500/A 500M - 07 en grados A, B y C y bajo norma europea EN 10219 Julio 1998 en grados S235, S275 y S355.

Tabla 2- 1 Propiedades Mecánicas (mínimas) de la Norma Americana

Norma ASTM A 500 Grado del Acero	Propiedades Mecánicas (mínimas)					
	Límite de Fluencia Mpa (Kg/cm <sup>2</sup> )	Límite de Fluencia psi	Resistencia a la Tracción Mpa (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la Tracción psi	% Elong	
Circular	A	228 (2.320)	33,000	310 (3.170)	45,000	25
	B	290 (2.955)	42,000	400 (4.080)	58,000	23
	C	317 (3.230)	46,000	427 (4.360)	62,000	21(*)
Cuadrado y rectangular	A	269 (2.740)	39,000	310 (3.170)	45,000	25
	B	317 (3.230)	46,000	400 (4.080)	58,000	23
	C	345 (3.515)	50,000	427 (4.360)	62,000	21(*)

(\*)Para espesores menores a 3,00 mm, el valor mínimo de elongación garantizado es de 15%

(Fuente: Diseño de Estructuras de Acero con Perfiles Tubulares 1ra edición, 2011)

Tabla 2- 2 Propiedades Mecánicas (mínimas) de la Norma Europea

Norma EN 10219 Grado del Acero	Propiedades Mecánicas (mínimas)						
	Limite de Fluencia		Resistencia a la Tracción Espesor $\leq$ 3 mm		Resistencia a la Tracción Espesor $>$ 3 mm		% Elong
	MPa	psi	MPa	psi	Mpa	psi	
S235	235	34,000	360 a 510	52,000 a 74,000	340 a 470	50,000 a 68,000	24
S275	275	40,000	430 a 580	62,000 a 84,000	410 a 560	59,000 a 81,000	20
S355	355	51,000	510 a 680	74,000 a 99,000	490 a 630	71,000 a 91,000	20

(Fuente: Diseño de Estructuras de Acero con Perfiles Tubulares 1ra edición, 2011)

Sin embargo, según lo establecido en la norma venezolana COVENIN 1618:1998 “Estructuras de acero para edificaciones. Métodos de los estados límites”, los valores a utilizar en el diseño de la tensión de cedencia ( $F_y$ ) y resistencia de agotamiento a la tracción ( $F_u$ ), serán los valores mínimos especificados en las correspondientes normas y especificaciones de los materiales considerados. Los Tubos Estructurales Conduven ECO, de sección circular, cuadrados y rectangulares, son fabricados con acero estructural de alta resistencia ASTM A572 Grado 50, el cual presenta una tensión de cedencia  $F_y = 3.515 \text{ Kgf/cm}^2$  y resistencia de agotamiento a la tracción  $F_u = 4.360 \text{ Kgf/cm}^2$ , superando los estándares mínimos de resistencia establecidos en las especificaciones ASTM A500.

#### 1.4. Proceso productivo de tubos estructurales nacionales

El Manual de perfiles tubulares utilizado en esta investigación está basado en la norma venezolana COVENIN 1618: 1998 "Estructuras de acero para edificaciones. Método de los estados límites" (COVENIN, 1998), establece dentro de sus disposiciones transitorias que hasta tanto no se elaboren las correspondientes normas venezolanas específicas para el diseño de perfiles tubulares, se autoriza el uso complementario de la norma, "Specifications for the Design of Steel Hollow Structural Sections" (AISC, 1997). Esta norma fue sustituida por la norma, "Specifications for Structural Steel Building", ANSI/AISC 360-05 (AISC, 2005), que integra en

un solo texto y a través de sus diversos capítulos los criterios de diseño para perfiles de sección hueca (HSS).

El proceso productivo utilizado para producción de perfiles tubulares nacionales, está basada en la transformación de acero en bobinas a tubos, la metodología que sigue la empresa es:

1. Recepción en planta de la materia prima.
2. Inspección y validación de la materia prima.
3. Corte en tira según desarrollo del tubo a fabricar.
4. Entrada a la línea de producción (Desenrollador).
5. Proceso de aplanado de la lámina.
6. Conformado en frío de la sección tubular.
7. Costura longitudinal del tubo por soldadura eléctrica (EW).
8. Cepillado externo y ultrasonido de la soldadura.
9. Enfriado al agua y al aire del tubo estructural.
10. Calibración del tubo estructural (Redondez y rectitud).
11. Corte en longitudes estándar.
12. Inspección visual de la tubería.
13. Ensayos de validación del tubo estructural (destrutivo y no destrutivo).
14. Inspección final del tubo estructural.
15. Empaquetado del tubo estructural en atados de configuración estándar.
16. Almacenaje del tubo estructural.
17. Despacho terrestre y marítimo.

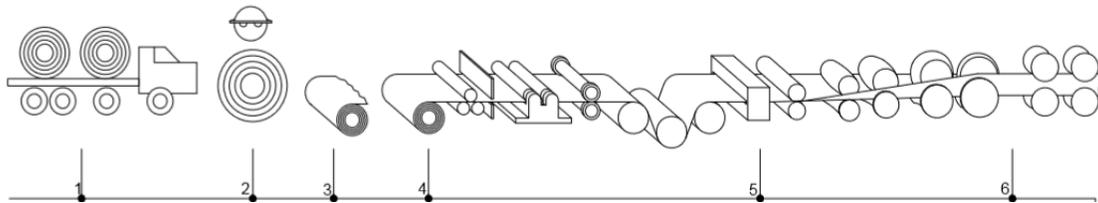


Figura 2- 1 Proceso productivo de tubos estructurales CONDUVEN ECO

(Fuente: Diseño de Estructuras de Acero con Perfiles Tubulares 1ra edición, 2011)

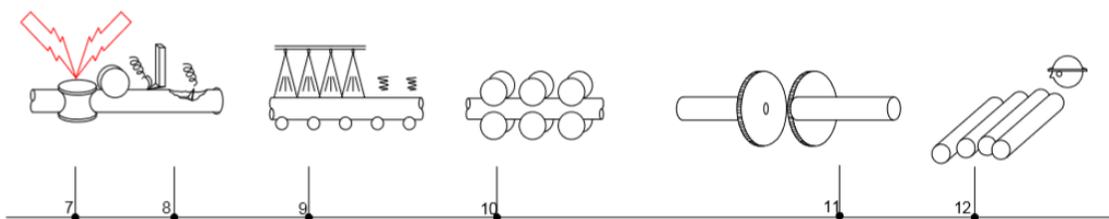


Figura 2- 2 Proceso productivo de tubos estructurales CONDUVEN ECO

(Fuente: Diseño de Estructuras de Acero con Perfiles Tubulares 1ra edición, 2011)

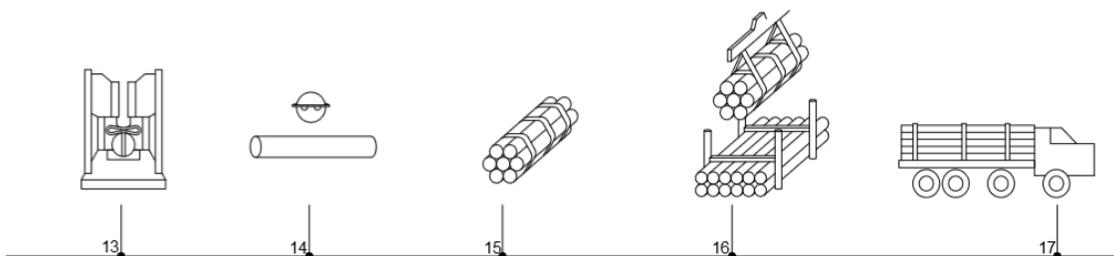


Figura 2- 3 Proceso productivo de tubos estructurales CONDUVEN ECO

(Fuente: Diseño de Estructuras de Acero con Perfiles Tubulares 1ra edición, 2011)

Los perfiles Conduven ECO se pueden conseguir de tres secciones como lo son:

- Circular:

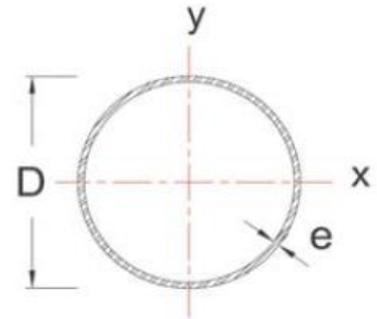


Tabla 2- 3 Propiedades geométricas de los perfiles tubulares de sección circular.

D (mm)	e (mm)	A (cm <sup>2</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )	S (cm <sup>3</sup> )	r (cm)	Z (cm <sup>3</sup> )	J (cm <sup>4</sup> )
76,20	2,25	4,87	33,47	8,78	2,62	11,49	66,94
88,90	2,25	5,71	53,78	12,10	3,07	15,77	107,57
114,30	2,50	8,18	128,24	22,44	3,96	29,16	256,49
127,00	3,00	10,89	210,06	33,08	4,39	43,05	420,13
139,70	3,40	13,56	316,24	45,27	4,83	58,96	632,48
152,40	4,00	17,38	480,43	63,05	5,26	82,25	960,86
168,30	4,30	20,64	696,93	82,82	5,81	107,97	1393,86
193,70	4,50	24,92	1119,17	115,56	6,70	150,33	2238,35
219,10	5,50	34,39	1969,26	179,76	7,57	234,26	3938,52
244,50	5,50	38,47	2756,73	225,50	8,47	293,16	5513,46
244,50	7,00	48,67	3448,59	282,09	8,42	368,81	6897,18
273,10	7,00	54,52	4846,53	354,93	9,43	462,76	9693,07
273,10	9,00	69,61	6104,20	447,03	9,36	586,78	12208,4
323,85	9,00	82,96	10327,77	637,81	11,16	833,24	20655,53
323,85	11,00	100,79	12405,34	766,12	11,09	1006,55	24810,68

(Fuente: Diseño de Estructuras de Acero con Perfiles Tubulares 1ra edición, 2011)

- Cuadrada:

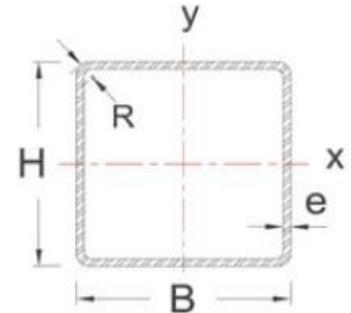


Tabla 2- 4 Propiedades geométricas de los perfiles tubulares de sección cuadrada.

H (mm)	B (mm)	e (mm)	A (cm <sup>2</sup> )	R (mm)	I <sub>x</sub> =I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	S <sub>x</sub> =S <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	r <sub>x</sub> =r <sub>y</sub> (cm)	Z <sub>x</sub> =Z <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )
60,00	60,00	2,25	4,70	6,75	25,80	8,60	2,34	10,09
70,00	70,00	2,25	5,53	6,75	41,91	11,97	2,75	13,96
90,00	90,00	2,50	7,97	7,50	100,81	22,40	3,56	25,99
100,00	100,00	3,00	10,58	9,00	164,39	32,88	3,94	38,25
110,00	110,00	3,40	13,17	10,20	247,03	44,91	4,33	52,30
120,00	120,00	4,00	16,83	12,00	373,45	62,24	4,71	72,68
135,00	135,00	4,30	20,41	12,90	575,20	85,22	5,31	99,34
155,00	155,00	4,50	24,64	13,50	922,00	118,97	6,12	138,24
175,00	175,00	5,50	33,86	16,50	1605,49	183,48	6,89	213,79
200,00	200,00	5,50	38,98	16,50	2436,56	243,66	7,91	282,63
200,00	200,00	7,00	48,93	21,00	3004,25	300,43	7,84	351,48
220,00	220,00	7,00	54,14	21,00	4053,03	368,46	8,65	429,51
220,00	220,00	9,00	68,45	27,00	5012,79	455,71	8,56	536,80
260,00	260,00	9,00	81,84	27,00	8500,05	653,85	10,19	764,63
260,00	260,00	11,00	98,61	33,00	10052,33	773,26	10,10	912,34

(Fuente: Diseño de Estructuras de Acero con Perfiles Tubulares 1ra edición, 2011)

- Rectangular:

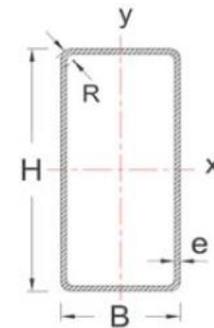


Tabla 2- 5 Propiedades geométricas de los perfiles tubulares de sección rectangular.

H (mm)	B (mm)	e (mm)	A (cm <sup>2</sup> )	R (mm)	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	S <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	r <sub>x</sub> (cm)	Z <sub>x</sub> (cm <sup>3</sup> )	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	S <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	r <sub>y</sub> (cm)	Z <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )
80,00	40,00	2,25	4,70	6,75	38,22	9,56	2,85	11,94	13,06	6,53	1,67	7,40
100,00	40,00	2,25	5,53	6,75	67,06	13,41	3,48	17,06	16,07	8,03	1,70	8,98
120,00	60,00	2,50	7,97	7,50	149,40	24,90	4,33	30,78	51,36	17,12	2,54	19,11
140,00	60,00	3,00	10,58	9,00	257,47	36,78	4,93	46,33	69,11	23,04	2,56	25,70
160,00	65,00	3,40	13,49	10,20	422,16	52,77	5,59	66,86	103,92	31,97	2,78	35,65
180,00	65,00	4,00	17,20	12,00	655,98	72,89	6,18	93,79	132,82	40,87	2,78	45,71
200,00	70,00	4,30	20,41	12,90	954,77	95,48	6,84	123,15	183,75	52,50	3,00	58,63
220,00	90,00	4,50	24,64	13,50	1465,69	133,24	7,71	168,47	365,29	81,18	3,85	90,33
260,00	90,00	5,50	33,86	16,50	2672,45	205,57	8,88	265,35	505,25	112,28	3,86	125,28
300,00	100,00	5,50	38,98	16,50	4095,98	273,07	10,25	352,24	731,09	146,22	4,33	161,87
300,00	100,00	7,00	48,93	21,00	5042,87	336,19	10,15	437,60	891,04	178,21	4,27	200,26
320,00	120,00	7,00	54,14	21,00	6606,62	412,91	11,05	528,65	1424,85	237,48	5,13	265,26
320,00	120,00	9,00	68,45	27,00	8159,90	509,99	10,92	660,04	1742,39	290,40	5,05	329,87
350,00	170,00	9,00	81,84	27,00	12737,21	727,84	12,48	909,44	4163,02	489,77	7,13	552,03
350,00	170,00	11,00	98,61	33,00	15058,90	860,51	12,36	1084,67	4896,58	576,07	7,05	657,14

(Fuente: Diseño de Estructuras de Acero con Perfiles Tubulares 1ra edición, 2011)

## 2. Conexiones

Las conexiones tienen una gran importancia, ya que definen las condiciones de rigidez del conjunto y también en base a su resistencia y comportamiento condicionan el desempeño estructural en su comportamiento inelástico y en la disipación de energía ante eventos sísmicos.

Las conexiones representan el punto vulnerable de una estructura de acero, ya que al presentarse una falla podría generar un colapso; por tal motivo las conexiones de aquellos miembros estructurales (Vigas, Arriostramientos y Columnas) deben diseñarse para la máxima resistencia probable (axial, corte y momento).

Es necesario generar un buen detallado y especificaciones de las conexiones, para poder evitar inconvenientes en obra.

### 2.1. Tipos de Conexiones

Las conexiones más utilizadas en estructuras por miembros tubulares en pórticos, cerchas y otras estructuras, son:

- Conexión Tipo “T”.

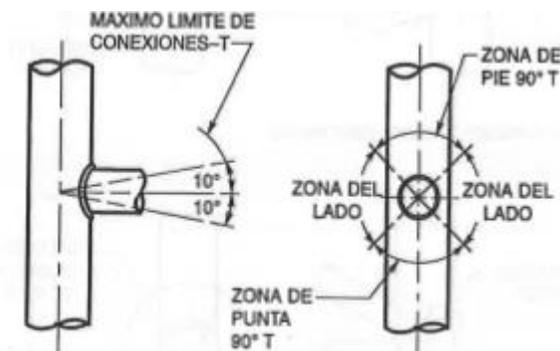


Figura 2- 4 Conexión tipo “T”

(Fuente: Structural Welding Code – Steel 2010).

- Conexión Tipo “Y”.

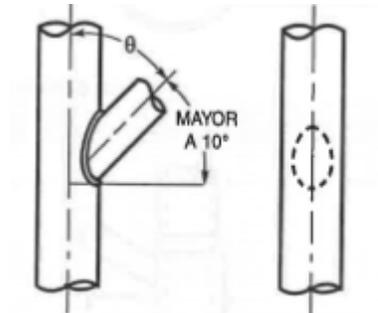


Figura 2- 5 Conexión Tipo “Y”

(Fuente: Structural Welding Code – Steel 2010).

- Conexión Tipo “K”.

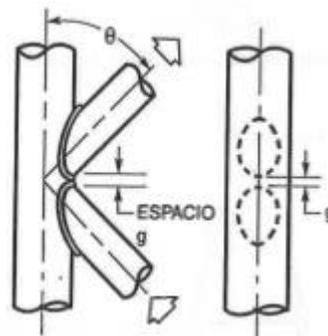


Figura 2- 6 Conexión Tipo “K”

(Fuente: Structural Welding Code – Steel 2010).

- Conexiones cruzadas.

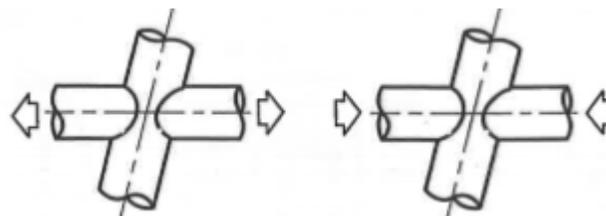


Figura 2- 7 Conexiones Cruzadas

(Fuente: Structural Welding Code – Steel 2010).

### 3. Tipos de Fallas en Miembros Tubulares

#### 3.1. Plastificación de una columna o cordón

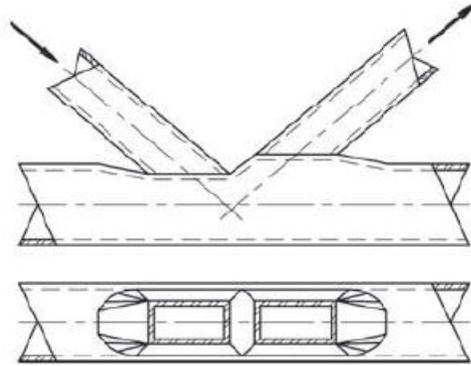


Figura 2- 8 Plastificación de una columna o cordón.

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Ocurre debido a la flexibilidad de la cara del perfil tubular, que se distorsiona bajo cargas normales a la superficie del cordón de la conexión. Si el miembro principal es un tubo de sección cuadrada o rectangular, el cordón que conecta con la cara actúa como una placa plana bajo una carga transversal, con el apoyo de dos membranas remotas. La cara de la conexión del perfil tubular actúa de manera independiente de los otros tres lados.

La deformación de la conexión en la cara del perfil tubular es la falla más común en conexiones tipo K espaciadas y N, con pequeña a media relación del ancho del ramal con el ancho del cordón.

En el caso de las conexiones tipo K espaciadas, las acciones de la compresión y tensión en las ramas desarrolla un mecanismo “push-pull” en la cara del cordón de la conexión, esto resulta grandes deformaciones de la superficie de la conexión.

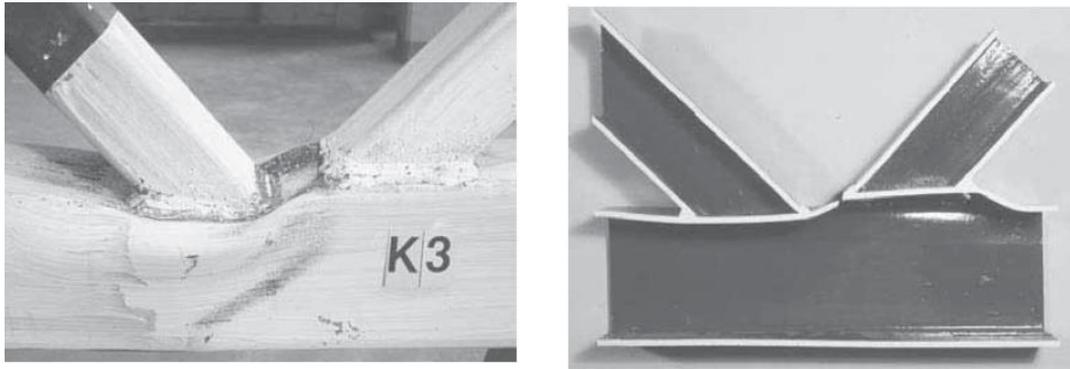


Figura 2- 9 (a) Conexión tipo K bajo carga última. (b) Sección transversal longitudinal a través de una conexión de un perfil tubular tipo K bajo carga última. Plastificación de un cordón por un perfil tubular de sección rectangular en conexión tipo K.

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Este estado límite se rige por la ecuación K2-20 de la *AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010*. Si el miembro principal es un perfil tubular de sección circular, el cordón se comporta como un anillo cerrado bajo una carga transversal y el cordón tiene una distorsión en toda la sección transversal del cordón. El modo de fallo se rige por las ecuaciones K2-6 y K2-8 de la *AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010*.

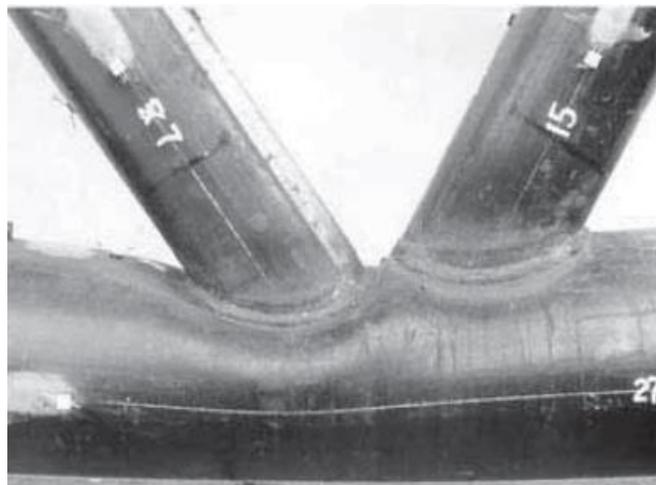


Figura 2- 10 Conexión tipo K bajo carga última con perfil tubular de sección circular.

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

La plastificación del cordón aplica en muchos otras conexiones de perfiles tubulares incluyendo la tipo T, Y y conexiones cruzadas bajo carga axial en la rama (ecuaciones K2-3, K2-5 y K2-13 de la *AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010.*); Conexiones tipo T, Y, y cruzadas sometidas a momento en su rama (ecuaciones 4-87, 4-89, 4-93 y 4-96).

Conexiones en perfiles tubulares con placas longitudinales sometidas a carga axial son particularmente susceptibles a la plastificación del cordón.

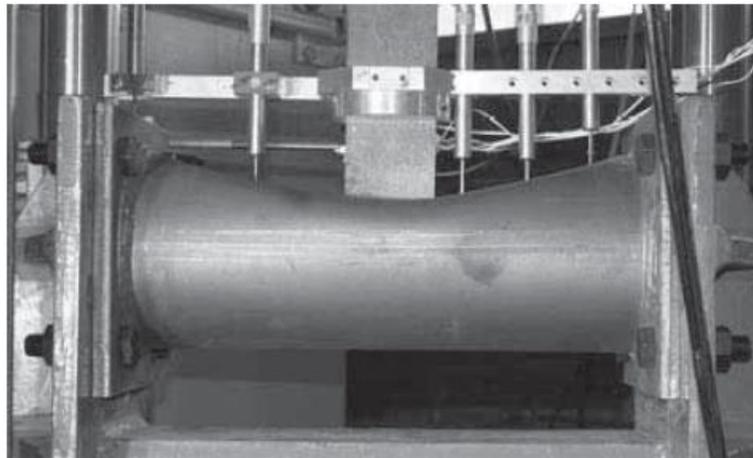


Figura 2- 11 Conexión de placa longitudinal bajo carga última.

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Para este estado límite la resistencia nominal debe incluir un control de la deformación de la conexión.

### 3.2. Cedencia por corte bidireccional (Punzamiento)

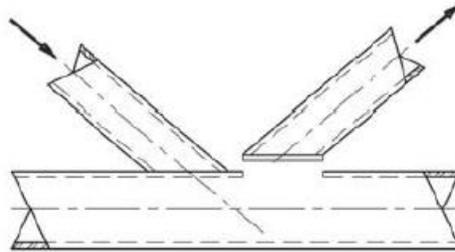


Figura 2- 12 Cedencia por corte bidireccional en el cordón (Punzamiento).

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Este tipo de falla se conoce comúnmente como punzonamiento, puede estar presente y ser la más frecuente en varias conexiones de los perfiles tubulares especialmente en medianas y altas relaciones del ancho rama-cordón. Con esta falla, un parche del material sale alrededor de la bifurcación dejando una marca en la punta de la soldadura del cordón. La falla puede ocurrir en cualquiera de las ramas a tensión como en compresión, produciendo en la rama un corte a través de las paredes del cordón.

La resistencia por corte se calcula por los códigos de diseño de acero, basándose al esfuerzo último por corte ( $F_u / \sqrt{3} \approx 0.6 F_u$ ), con un factor de resistencia en el orden de 0.75, o el módulo cortante ( $F_y / \sqrt{3} \approx 0.6 F_y$ ), con un factor de resistencia cercano a la unidad.

Las especificaciones utilizadas por la AISC se encuentran el uso de un “bloque de corte” con dos enfoques que son los estados límites sometidos a corte y la ruptura por corte. En el capítulo K de la AISC, se comprueba por corte con un esfuerzo de corte de  $0.6F_y$  y un factor de resistencia de 0.95. Esta comprobación se aplica a un número considerable de conexiones de perfiles tubulares regidas por ecuaciones como las conexiones tipo T, Y y cruzadas sometidas a cargas axiales (ecuaciones K2-4 y K2-14 de la *AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010.*), conexiones tipo K espaciadas (ecuaciones K2-9 y K2-21 de la *AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010.*), conexiones tipo T, Y y

cruzadas sometidas a momentos (ecuaciones 4-88 y 4-90) y conexiones en perfiles tubulares al que le llega una placa transversalmente (ecuación 4-75).

El módulo de corte de  $0.6F_y$  no siempre se puede aplicar a todo el perímetro alrededor de la marca que deja la bifurcación en las placas transversales o paredes transversales de un perfil tubular de sección rectangular a través de un cordón de sección rectangular, solo se debe utilizar un ancho efectivo. Esto se debe a que la placa transversal no se carga uniformemente a través de su ancho y es sometida a grandes esfuerzos en los anchos de las paredes laterales del cordón de sección rectangular, por ello la placa transversal perfora el cordón que conecta la cara que en estas zonas está altamente cargada.



Figura 2- 13 Placa transversal conectada a perfil tubular de sección rectangular bajo carga última.

(\*) Note las rupturas iniciales en las extremidades de la placa.

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Para conexiones con perfiles tubulares de sección circular sometidos a carga axial, el punzonamiento se asume alrededor la rama que llega al miembro principal.



Figura 2- 14 Conexión tipo T de perfiles tubulares de sección circular bajo carga última.

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

### 3.3. Cedencia local debido a la distribución desigual de la carga

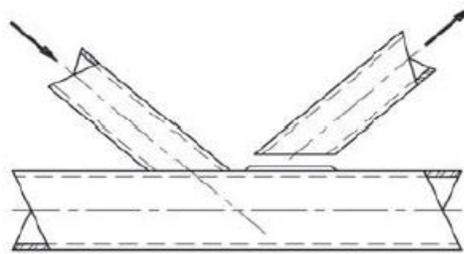


Figura 2- 15 Cedencia local debido a la distribución desigual de carga.

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

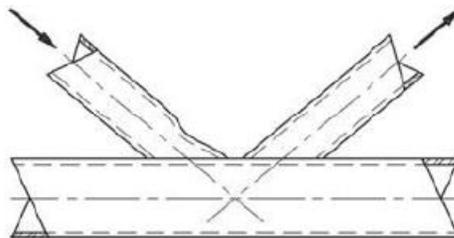


Figura 2- 16 Cedencia local por compresión en la rama, por distribución desigual de la carga.

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Este tipo de falla se aplica a placas transversales, o a las paredes transversales de un perfil tubular de sección rectangular a través de un cordón de sección rectangular. Es parecido a la falla por punzonamiento excepto que el ancho efectivo se aplica al elemento transversal en vez del perfil tubular y así resulta una falla prematura en el elemento. En tensión, la cedencia local y la falla prematura del elemento transversal ocurren, como se muestra en la Figura 2-23.

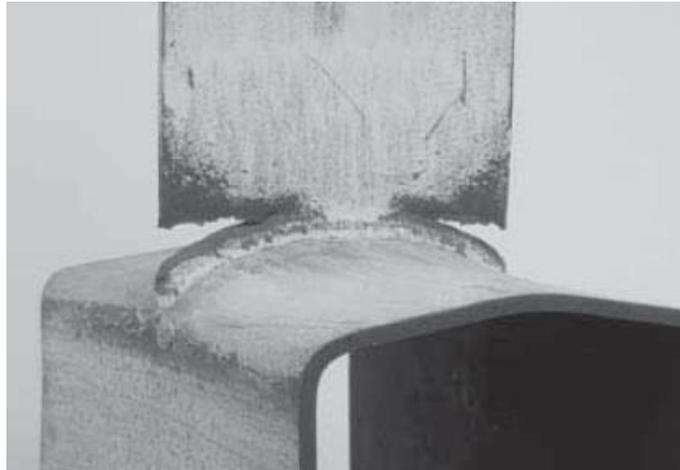


Figura 2- 17 Placa transversal conectada a perfil tubular de sección rectangular bajo carga última.

(\*) Note las rupturas iniciales en las extremidades de la placa.

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

En compresión, la cedencia local usualmente resulta un pandeo local en el elemento. Esta es la falla más común en los perfiles tubulares de sección rectangular en conexiones tipo K solapadas, en el que el pandeo local de la compresión de la rama ocurre, como se muestra en la Figura 2-24.



Figura 2- 18 Conexión tipo K de perfil tubular de sección rectangular solapado bajo carga última.

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

La comprobación por cedencia local debido a la distribución desigual de la carga se aplica a muchas conexiones en los cordones de perfiles tubulares de sección rectangular en las especificaciones de la AISC son verificadas mediante las ecuaciones, las conexiones tipo T, Y y conexiones cruzadas sometidas a carga axial (ecuación K2-18 de la *AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010.*), conexiones tipo K espaciadas y solapadas (ecuaciones K2-22, K2-24, K2-25 y K2-26 de la *AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010.*), conexiones tipo T y cruzadas sometidas a momentos (ecuaciones 4-95 y 4-98) y conexiones en perfiles tubulares al que le llega una placa transversalmente (ecuación 4-74).

La ecuación 4-74 muestra como el ancho efectivo de un elemento transversal depende de la esbeltez del cordón del perfil tubular principal, si el cordón que conecta a la cara posee una relación de ancho/espesor ( $B/t$ ) alto entonces el ancho efectivo será bajo. Por el contrario, a mayor ancho efectivo se obtendrán valores bajos de ancho/espesor ( $B/t$ ), pero se tiene un límite mayor del ancho del elemento.

Por esto se pone en prácticas principios de diseño para alcanzar altas resistencias de las conexiones de los perfiles tubulares mediante un cordón de pared gruesa.

Para los perfiles tubulares de sección cuadrada poseen una falla típica de pandeo local en las conexiones tipo K solapadas, ocurre en el cordón que conecta la cara justo al pie de la rama a tensión.

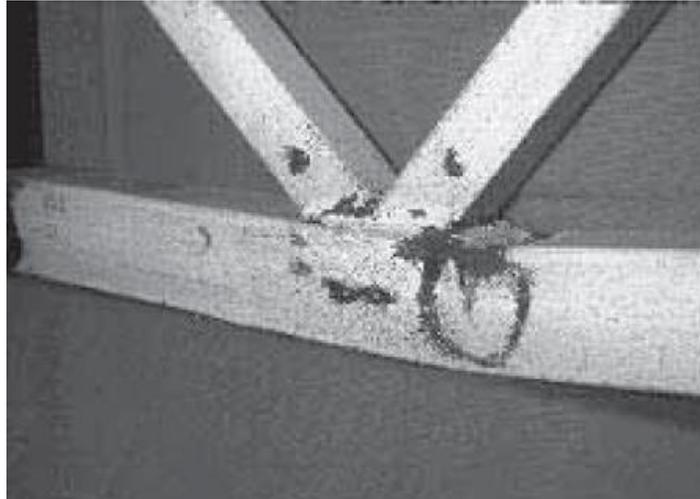


Figura 2- 19 Pandeo local del cordón debido a la distribución desigual de la carga.

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Este modo de falla es causada por el efecto de arrastre por cortante debido a que la carga axial es desproporcionada y es llevada al cordón que conecta la cara del perfil en esta zona. Se puede evitar colocando límites estrictos en la pared del cordón que conecta a la cara.

### 3.4. Falla de las paredes laterales del cordón

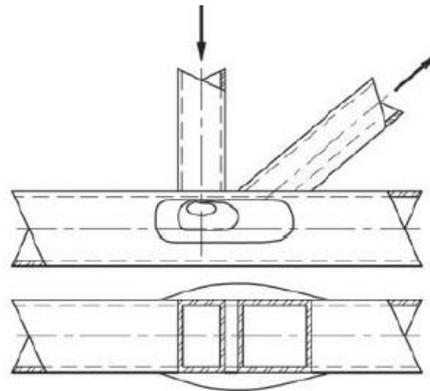


Figura 2- 20 Falla de las paredes laterales del cordón.

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

La falla de las paredes laterales del cordón, en lugar de la cara de la conexión puede ocurrir en las conexiones de los perfiles tubulares de sección rectangular cuando el ancho de la rama este cerca o igual al ancho del cordón ( $\beta \approx 1.0$ ).

Estas conexiones también son denominadas conexiones de caja enrejadas. Si el cordón está en tensión fallara por cedencia local de la pared lateral del cordón (ecuaciones 4-76, 4-94, 4-97 y la K2-15 de la *AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010.*) mientras la carga está siendo aplicada de manera dispersa en su ancho.

Este mismo mecanismo de falla es posible en si el cordón está a compresión, sobre todo si la pared lateral del cordón son relativamente fuertes, baja relación ancho/espesor ( $B/t$ ) o si la longitud del soporte es baja, como se muestra en la Figura 2-26.

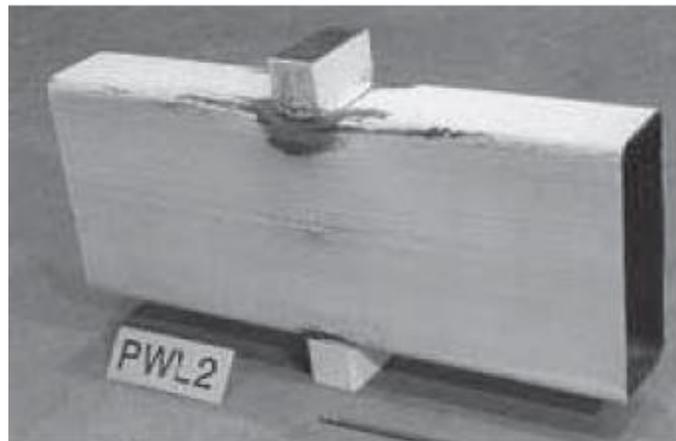


Figura 2- 21 Pandeo local de la pared.

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Si el ramal está bajo cargas de compresión, el pandeo local de la pared es un modo de fallo potencial (ecuaciones 4-77, 4-78, K2-16 y K2-17 de la *AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010.*). Las ecuaciones que representan estos estados límites se han adaptado para dos membranas en compresión para cargas concentradas en el ala de la viga de sección W, en otra parte de las especificaciones de la AISC.

El pandeo local de la pared lateral en un perfil tubular de sección rectangular con una conexión cruzada mostrada en la Figura n° 2-26, se puede observar líneas oscuras en la conexión indicando zonas de gran deformación plástica a causa de la separación de la cal.



Figura 2- 22 Pandeo local de la pared lateral.

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

En la figura n°2-28 se muestra el pandeo de una membrana en general, que produce una longitud de pandeo con valor  $H - 3t$  con ramas soldadas.



Figura 2- 23 Sección transversal de la conexión de la figura 0-30.

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

#### 4. Tipos de soldaduras entre Elementos Tubulares

Las soldaduras utilizadas en las conexiones tubulares, se rigen bajo la norma Structural Welding Code – Steel (AWS) complementándola con la American Institute of Steel Construction (AISC), las soldaduras más influyentes en las obras con miembros tubulares, son las siguientes:

##### 4.1. Las soldaduras de filete

Son las soldaduras más económicas y más utilizadas en obras de ingeniería; deben ser utilizadas en miembros tubulares siempre que sea práctico.

El tamaño mínimo de las soldaduras de filete no debe ser menor que el tamaño requerido para transmitir las fuerzas calculadas, ni menor que las limitaciones de tamaño que se muestra en la Tabla 2-6.

A efectos de nuestra investigación, la soldadura de filete será la utilizada en los ejemplos de conexiones.

Tabla 2- 6 Tamaño mínimo de soldadura de filete

Espesor de parte unida más delgada, mm	Tamaño mínimo de soldadura de filete <sup>(a)</sup> , mm
Hasta 6 inclusive	3
Entre 6 y 13	5
Entre 13 y 19	6
Mayor que 19	8

<sup>(a)</sup> Dimensión del pie de la soldadura de filete. Se deben utilizar soldaduras de paso simple.

Nota: Ver la Sección J2.2b para el tamaño máximo de soldaduras de filete.

(Fuente: Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcciones de Acero).

##### 4.1.1. Tamaño efectivo de soldadura de filete:

Cuando un miembro tubular se suelda con soldadura de filete, se requiere comprobar tanto el metal en la soldadura como el metal base. En estos casos la conexión puede evaluarse

mediante el tamaño efectivo de la soldadura de filete, que es el tamaño de la soldadura que tiene la misma resistencia que el metal base.

La fuerza nominal del metal de la soldadura, por unidad de longitud es:

$$R_n = 0.60 F_{EXX} * \frac{w}{16\sqrt{2}} \quad (2-1)$$

Donde:

w: Tamaño de la soldadura de filete como número de dieciseisavos de pulgadas.

F<sub>EXX</sub>: en unidad ksi.

La fuerza nominal a corte del metal base, por unidad de longitud es:

$$R_n = 0.60F_y * t \text{ (Cedencia al corte)} \quad (2-2)$$

$$R_n = 0.60F_u * t \text{ (Rotura al corte)} \quad (2-3)$$

El tamaño de la soldadura efectiva, se obtiene igualando la fuerza disponible del metal de soldadura y el metal base con la fuerza de cedencia al corte del metal base:

$$\phi w * 0.60 F_{EXX} * \frac{w_{eff}}{\sqrt{2}} = \phi BM * 0.60F_y * t \quad (2-4)$$

$$w_{eff} = 30.2 * \frac{F_y}{F_{EXX}} * t \quad (2-5)$$

$$\phi BM = 1.0$$

Para rotura al corte en el metal base se obtiene:

$$\phi w * 0.60 F_{EXX} * \frac{w_{eff}}{\sqrt{2}} = \phi BM * 0.60F_u * t \quad (2-6)$$

$$w_{eff} = 22.6 * \frac{F_u}{F_{EXX}} * t \quad (2-7)$$

$$\phi BM = 0.75$$

Al definir el tamaño efectivo de la soldadura, se puede determinar el espesor de pared mínima del miembro tubular para desarrollar la fuerza total de la soldadura mediante la tabla 2-11, y se puede conocer quien controla el estado límite de la soldadura mediante la tabla 2-10; estas tablas están tabuladas solamente para un FE<sub>XX</sub> de 70 ksi.

Tabla 2- 7 Control de estados límites para tamaño efectivo de soldadura de filete.

ASTM Material			$F_y$ , ksi	$F_u$ , ksi	$F_y/F_u$	Limit State	$D_{cr}$
A53 Grade B			35	60	0.583	Base metal yielding	$30.2 \left( \frac{F_y}{F_{DXX}} \right) t$
A500	Grade B	Round	42	58	0.724	Base metal yielding	$30.2 \left( \frac{F_y}{F_{DXX}} \right) t$
		Rectangular	46	58	0.793	Base metal rupture	$22.6 \left( \frac{F_u}{F_{DXX}} \right) t$
	Grade C	Round	46	62	0.742	Base metal yielding	$30.2 \left( \frac{F_y}{F_{DXX}} \right) t$
		Rectangular	50	62	0.806	Base metal rupture	$22.6 \left( \frac{F_u}{F_{DXX}} \right) t$

(Fuente: Steel Design Guide 24).

Tabla 2- 8 Espesores mínimos necesarios para el tamaño de soldadura.

Weld Size, in.	A53 Grade B	A500 Grade B, Round	A500 Grade B, Rectangular	A500 Grade C, Round	A500 Grade C, Rectangular
$\frac{1}{8}$	0.199	0.166	0.160	0.151	0.150
$\frac{1}{4}$	0.265	0.221	0.214	0.202	0.200
$\frac{3}{8}$	0.331	0.276	0.267	0.252	0.250
$\frac{1}{2}$	0.397	0.331	0.320	0.302	0.300
$\frac{5}{8}$	0.464	0.386	0.374	0.353	0.350
$\frac{3}{4}$	0.530	0.442	0.427	0.403	0.400
$\frac{7}{8}$	0.596	0.497	0.481	0.453	0.450

(Fuente: Steel Design Guide 24).

#### 4.2. Soldadura de ranura de penetración parcial de la junta (PJP) y soldadura de ranura de penetración completa (CPJ)

En las conexiones entre miembros tubulares, la soldadura puede hacerse solamente desde un lado. Por lo tanto, cualquier detalle de soldadura de la soldadura de ranura requiere preparación y la soldadura en ambos lados no es posible. Las soldaduras de ranura PJP se prefieren a las soldaduras de ranura CJP, cuando es posible utilizarlos.

El espesor de la garganta efectiva de una soldadura de ranura de penetración completa (CJP) debe ser el espesor de la parte más delgada conectada.

El espesor de garganta efectiva de una soldadura de ranura de penetración parcial (PJP) debe ser el que se muestra en la Tabla 2-8.

Tabla 2- 9 Garganta efectiva de soldadura de tope con junta de penetración parcial

Proceso de Soldado	Posición de Soldado F (plano), H (horizontal), V (vertical), OH (sobre cabeza)	Tipo de surco (Figura 3.3, AWS D1.1)	Garganta Efectiva
Arco de electrodo revestido (SMAW) Arco metálico y gas (GMAW) Arco con núcleo de fundente (FCAW)	Todos	Bisel J o U 60° V	Profundidad del bisel
Arco Sumergido (SAW)	F	Bisel J o U Bisel 60° o V	
Arco metálico y gas (GMAW) Arco con núcleo de fundente (FCAW)	F, H	Bisel 45°	Profundidad del bisel
Arco de electrodo revestido (SMAW)	Todos	Bisel 45°	Profundidad del bisel menos 3 mm
Arco metálico y gas (GMAW) Arco con núcleo de fundente (FCAW)	V, OH	Bisel 45°	

(Fuente: Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcciones de Acero).

### 4.3. Soldadura tope biselado curvo

Se utilizan en las esquinas redondeadas de los miembros tubulares rectangulares y cuadrados. Se utilizan para unir elementos planos que son más anchos que los miembros tubulares, o para las conexiones de miembro tubulares emparejados donde el ancho de un miembro de rama es la misma que la del miembro de continuo en la conexión.

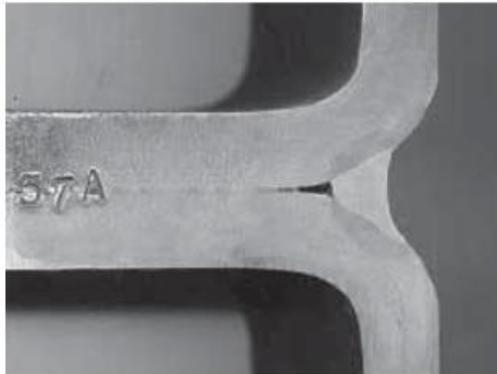


Figura 2- 24 Soldadura de tope biselada curva

(Fuente: Steel Design Guide 24).

La tabla 2-10 de la Especificación AISC presenta los tamaños de soldadura eficaces para soldaduras de tope, dependiendo del proceso de soldadura.

Tabla 2- 10 Tamaño de Soldadura efectiva de soldaduras de tope biselada curva

Proceso de Soldado	Surco de Bisel Curvo <sup>¶</sup>	Surco V Curvo
GMAW y FCAW-G	$5/8 R$	$3/4 R$
SMAW y FCAW-S	$5/16 R$	$5/8 R$
SAW	$5/16 R$	$1/2 R$

<sup>¶</sup> Para surcos de bisel curvo con  $R < 10$  mm usar solamente soldadura de filete de refuerzo en juntas llenadas a tope.

Nota general:  $R$  = radio de la superficie de junta (se puede suponer igual a  $2t$  para secciones tubulares), mm.

(Fuente: Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcciones de Acero).

El espesor mínimo de la garganta efectiva de una soldadura de tope no debe ser menor que el tamaño requerido mínimo para transmitir la fuerzas calculadas ni el tamaño limitado en la tabla 2-11; el tamaño de soldadura mínima se determina como la más delgada de las dos partes unidas.

Tabla 2- 11 Espesor mínimo de garganta efectiva

Espesor de material de parte unida más delgada, mm	Espesor mínimo de garganta efectiva, mm
Hasta 6 inclusive	3
Entre 6 y 13	5
Entre 13 y 19	6
Entre 19 y 38	8
Entre 38 y 57	10
Entre 57 y 150	13
Mayor que 150	16

(Fuente: Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcciones de Acero).

## 5. Restricciones de las Conexiones soldadas

### 5.1. Conexiones circulares (Tubulares circulares) tipo “T”, “Y” y “K”

#### 5.1.1. Falla Local

En una conexión, en la cual se suelda un miembro de ramal a un miembro principal, pueden existir esfuerzos locales en una superficie de falla en la pared del miembro principal que puede limitar el esfuerzo resistente de la junta soldada. La tensión cortante a la cual ocurre la falla depende del acero del miembro principal como también de la geometría de la conexión. Estas conexiones se dimensionan por el formato de carga última (LRFD).

Las cargas del miembro ramal, en donde ocurren las fallas plásticas en la pared del miembro ramal son:

- Carga axial:  $P_u \sin \theta = t_c^2 F_{yo} (6\pi\beta Q_q) Q_f$  (2-8)

- Momento:  $M_u \sin \theta = t_c^2 F_{yo} (d_b/4) (6\pi\beta Q_q) Q_f$  (2-9)

- Con el factor de resistencia  $\Phi = 0.8$

En donde estas cargas están sujetas a los límites de esfuerzo de corte del material del miembro principal:

- $P_u \sin \theta \leq \pi d_b F_{yo} t_c / \sqrt{3}$  (2-10)

- $M_u \sin \theta \leq d_b^2 F_{yo} t_c / \sqrt{3}$  (2-11)

- Con el factor de resistencia  $\Phi = 0.95$

El estado límite para las combinaciones de carga axial y momento está dado por:

- $(P_n/P_u)^{1.75} + (M_n/M_u) \leq 1.0$  (2-12)

Donde:

- $F_{yo}$ : No más de 2/3 de la resistencia a la tracción.
- $\beta$  y  $\theta$ : Parámetros de la geometría de la conexión indicados en la figura 2.14 de la AWS D1.1/D1.1M:2010.
- $Q_q$  y  $Q_f$ : Términos modificadores de geometría e interacción de esfuerzos, indicados en la tabla 2.10 de la AWS D1.1/D1.1M:2010.

Tabla 2- 12 Términos para la resistencia de conexiones (secciones circulares)

Términos para la Resistencia de Conexiones (Secciones Circulares) (ver 2.25.1.1)		
Geometría miembro ramal y modificador de carga $Q_q$	$Q_q = \left(\frac{1.7}{\alpha} + \frac{0.18}{\beta}\right) Q_p^{0.7(\alpha-1)}$	Para cargas axiales (ver Nota d)
	$Q_q = \left(\frac{2.1}{\alpha} + \frac{0.6}{\beta}\right) Q_p^{1.2(\alpha-0.67)}$	Para flexión
$Q_p$	$Q_p = 1.0$	Para $\beta \leq 0.6$
(Se necesita para $Q_q$ )	$Q_p = \frac{0.3}{\beta(1-0.833\beta)}$	Para $\beta > 0.6$
Cuerda	$\alpha = 1.0 + 0.7 g/d_b$	Para carga axial en conexiones K, con separación, que tienen todos los elementos estructurales en el mismo plano y las cargas transversales al elemento principal esencialmente balanceada (ver Nota a)
Ovalidad	$1.0 \leq \alpha < 1.7$	
Parametro	$\alpha = 1.7$	Para cargas axiales en uniones T y K
	$\alpha = 2.4$	Para cargas axiales en uniones en cruz
$\alpha$ (necesario para $Q_q$ )	$\alpha = 0.67$	Para flexión en el interior del plano (Nota c)
	$\alpha = 1.5$	Para flexión en el exterior del plano (Nota c)
Termino $Q_t$ de interacción de esfuerzo de miembro principal (Notas b y c)	$Q_t = 1.0 - \lambda \gamma \bar{U}^2$	
	$\lambda = 0.030$	Para carga axial en el miembro de ramal (montante o diagonal)
	$\lambda = 0.044$	Para flexión en el plano en miembro de ramal
	$\lambda = 0.018$	Para flexión fuera del plano en el miembro de ramal

\* El espacio g se define en las figuras 2.14(E), (F) y (H);  $d_b$  es el diámetro del ramal.

\*  $\bar{U}$  es la tasa de utilización (tasa de actual a permisible) para compresiones longitudinales (axial) en el miembro principal en la conexión bajo consideración.

$$\bar{U}^2 = \left(\frac{f_a}{0.6F_{yo}}\right)^2 + \left(\frac{f_b}{0.6F_{yo}}\right)^2$$

\* Para combinaciones de flexión dentro del plano y fuera del plano, use valores interpolados de  $\alpha$  y  $\lambda$ .

\* Para el colapso general (compresión transversal) también ver 2.25.1.

Notas:

1.  $\gamma$ ,  $\beta$  son parámetros geométricos definidos por la figura 2.14(M).

2.  $F_{yo}$  = el mínimo límite de fluencia especificado del elemento principal, pero no más de 2/3 de la resistencia de tracción.

(Fuente: Structural Welding Code – Steel 2010).

Tabla 2- 13 Parámetros Geométricos (secciones circulares)

PARAMETRO	SECCIONES CIRCULARES	SECCIONES CUADRADAS
$\beta$	$r_b/R$ OR $d_b/D$	$b/D$
$\eta$	---	$a_x/D$
$\gamma$	$R/t_c$	$D/2t_c$
$\tau$	$t_b/t_c$	$t_b/t_c$
$\theta$	ÁNGULO ENTRE CENTROS DE MIEMBROS	
$\psi$	ÁNGULO DIEDRO LOCAL EN DADO PUNTO EN UNA ARTICULACIÓN SOLDADA	
$C$	DIMENSIÓN DE ESQUINA MEDIDO AL PUNTO DE TANGENCIA O EN CONTACTO CON UN CUADRADO A 90° COLOCADO EN UNA ESQUINA	

(Fuente: Structural Welding Code – Steel 2010).

### 5.1.2. Colapso general

Es particularmente notable en conexiones cruzadas y conexiones sujetas a cargas aplastantes; debe tomarse en cuenta la resistencia y estabilidad de un miembro principal en una conexión tubular con refuerzo. Estas conexiones deberían reforzarse incrementando el espesor del miembro principal, o mediante de uso de diafragmas, anillos o collares.

1. Para conexiones cruzadas circulares reforzadas, la carga transversal permisible del miembro principal, debida la carga axial de compresión en el ramal no debe de exceder:

$$\bullet P \sin \theta = t_c^2 F_y (1.9 + 7.2\beta) Q_\beta Q_f \quad (2-12)$$

2. Para conexiones cruzadas circulares reforzadas por una junta tipo lata con espesor incrementado ( $t_c$ ) y longitud (L), la carga axial, puede ser

$$\bullet P = P_1 + (P_2 - P_1)L/2.5D \quad \text{para } L < 2.5/D \quad (2-13)$$

$$\bullet P = P_2 \quad \text{para } L \geq 2.5/D \quad (2-14)$$

Donde:

- $P_1$ , se obtiene usando el espesor nominal del miembro principal en la ecuación (2-12)
- $P_2$ , se obtiene usando el espesor de la junta tipo lata en la ecuación (2-12).

El estado limite final puede tomarse como 1.8 veces como 1.8 veces el ASD permisible anterior, con  $\Phi = 0.8$ .

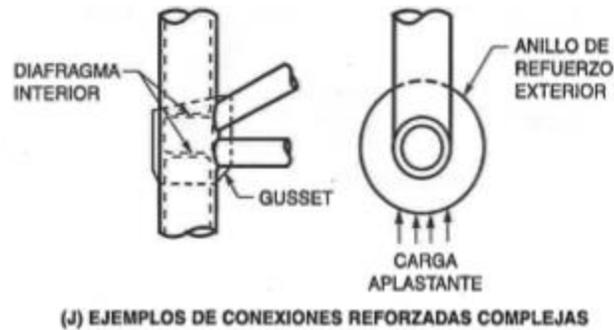


Figura 2- 25 Refuerzo de juntas (secciones circulares)

(Fuente: Structural Welding Code – Steel 2010).

### 5.1.3. Distribución irregular de la carga

Existe una diferencia entre las flexibilidades relativas del miembro principal que es cargado perpendicularmente a su superficie y el miembro ramal que recibe esfuerzos de la membrana paralela a la superficie, la transferencia de carga no es uniforme, y ocurre fluencia local antes de que la conexión alcance la carga de diseño. Para prevenir la falla de la conexión, la soldadura debe soportar en su esfuerzo de rotura final, el menor entre la resistencia a la fluencia del miembro de abrazadera o el esfuerzo local (corte por punzonamiento) del miembro principal.

- La fuerza de rotura final de las soldaduras de filete y de las soldaduras de ranura de penetración parcial de la junta debe calcularse a 2.67 veces el esfuerzo básico permisible para 60 ksi (415 Mpa) o 70 ksi (485Mpa) de esfuerzo de tracción y 2.2 veces para esfuerzos más altos.
- El corte por punzonamiento final debe tomarse como 1.8 veces el  $V_p$  permisible.

## 5.2. Conexiones de cajón (Tubulares rectangulares y cuadrados) tipo “T”, “Y” y “K”

### 5.2.1. Falla Local

La carga axial en el miembro ramal ( $P_u$ ), a la cual ocurre una falla plástica en la pared del miembro principal, es limitada por:

$$P_u \sin \theta = F_{y0} t_c^2 \left( \frac{2\eta}{1-\beta} + \frac{4}{\sqrt{1-\beta}} \right) Q_f \quad (2-15)$$

- Para conexiones cruzadas “T” y “Y” con  $0.25 \leq \beta \leq 0.85$
- $\Phi = 1.0$

$$P_u \sin \theta = F_{y0} t_c^2 (9.8 \beta_{eff} \sqrt{\gamma}) Q_f \quad (2-16)$$

- Para conexiones de abertura “K” y “N”.
- $\Phi = 0.9$

$$\beta_{eff} \geq 0.1 + \frac{\gamma}{50} \quad (2-17)$$

También las cargas están sujetas a los límites de resistencia al corte del material del miembro principal:

$$P_u \sin \theta = \left( F_{y0} / \sqrt{3} \right) t_c D (2\eta + \beta_{eop}) \quad (2-18)$$

- Para conexiones cruzadas “T” o “Y” con  $\beta > 0.85$
- $\Phi = 0.95$

$$P_u \sin \theta = \left( F_{y0} / \sqrt{3} \right) t_c D (2\eta + \beta_{eop} + \beta_{espacio}) \quad (2-19)$$

- Para conexiones de espacio “K” y “N” con  $\beta \geq 0.1 + \gamma/50$
- $\Phi = 0.95$
- No se considera esta revisión si los miembros ramales son de anchura cuadrada e igual.

### 5.2.2. Colapso general

En las conexiones tubulares con refuerzo, se debe tener en cuenta la estabilidad y resistencia de un miembro principal.

Para conexiones de cajón emparejado no reforzadas, la carga última normal al miembro principal debido a la carga axial (P) del ramal se limitara:

$$Pu \sin \theta = 2t_c F_{y0} (a_x + 5t_c) \quad (2-20)$$

- $\Phi = 1.0$  para cargas de tracción y 0.8 para compresión.

$$Pu \sin \theta = \frac{47t_c^3}{H-4t_c} \sqrt{EF_{y0}} (Q_f) \quad (2-21)$$

- $\Phi = 0.8$  para conexiones cruzadas, reacciones en los extremos etc., en compresión.

$$Pu \sin \theta = 1.5t_c^2 (1 + 3a_x/H) \sqrt{EF_{y0}} (Q_f) \quad (2-22)$$

- $\Phi = 0.75$  para todas las demás cargas en compresión e el ramal.

### 5.2.3. Distribución irregular de la carga

Al igual que las conexiones circulares, en las conexiones de cajón existen diferencias entre las flexibilidades relativas del miembro principal que es cargado perpendicularmente a su superficie y el miembro ramal que recibe esfuerzos de la membrana paralela a la superficie, la transferencia de carga es altamente irregular, y ocurre fluencia local antes de que la conexión alcance la carga de diseño. Para prevenir la falla de la conexión, la soldadura y los miembros ramales deben cumplir las siguientes revisiones:

1. Revisión del miembro ramal: La capacidad axial de la anchura efectiva ( $P_u$ ) del miembro ramal debe revisarse en todas las conexiones “K” y “N” y otras conexiones que tengan  $\beta > 0.85$ . Esta revisión no se toma en cuenta si los miembros ramales son cuadrados y de igual anchura.

$$Pu = F_y t_b (2a + b_{espacio} + b_{eoi} - 4t_b) \quad (2-23)$$

$$b_{eoi} = \frac{5bF_{y0}}{\gamma\tau F_y} \leq b \quad (2-24)$$

$$\Phi = 0.95$$

Se asume:  $\tau \leq 1.0 F_y \leq F_{y0}$

Donde:

a, b = dimensiones del ramal

$b_{espacio} = b$  para conexiones “K” y “N” con  $\zeta \leq 1.5 (1-\beta)$ .

$b_{espacio} = b_{eoi}$  para las demás conexiones.

2. Revisiones en la soldadura: Las conexiones simples “T” “Y” o “K” tienen que ser capaces de desarrollar en su resistencia a la rotura última, el menor entre la resistencia a la fluencia del miembro ramal o la resistencia local del miembro principal.

#### 5.2.4. Flexión

Los momentos de flexión (M), debido a carga aplicada, vigas voladizas, desplazamiento lateral de marcos no estribados, etc., se tienen que considerar en el diseño como una carga axial adicional.

$$P = \frac{M}{JD \sin \theta} \quad (2-25)$$

En un análisis racional JD puede tomarse:

- Para flexión en el plano como  $\eta D/4$ .
- Para flexión fuera del plano como  $\beta D/4$ .

## **6. Inspección**

### **6.1. Calificación de inspección de soldador, operador de soldadura y apuntalador**

Solo se debe permitir que la soldadura sea realizada por personal calificado según el Código de Soldadura, y el mismo debe haber demostrado su calificación bajo la supervisión y aprobación del Ingeniero.

Si la soldadura es de baja calidad según los estándares del Código de Soldadura, se puede solicitar que el soldador, operador de soldadura o apuntalador demuestre que posee habilidad para hacer soldaduras de alta calidad por medio del ensayo de rompimiento de soldadura de filete.

Se podrá solicitar una recalificación si los soldadores u operadores de soldadura si no han utilizado el proceso por un periodo mayor de seis (6) meses.

### **6.2. Inspección de trabajo y registros**

El inspector deberá verificar que se cumpla el tamaño, longitud y ubicación de las soldaduras según el Código de Soldadura y a los detalles en dibujos y que no hayan sido agregadas a soldaduras no especificadas sin previa autorización del Ingeniero. Observar cada cierto tiempo la preparación de la junta, su ensamblaje, técnica de soldadura y el desempeño del personal y así asegurarse que todo se cumpla. Al examinar el trabajo el tamaño y contorno de las soldaduras debe ser medido con galgas adecuadas, para las fisuras en la soldadura y metal base la inspección visual deberá ser realizada con una luz intensa. Con marcas distintivas u otro registro se identificaran las juntas que se han inspeccionado y aprobado, finalmente se llevara un registro de calificaciones de todos los soldadores, operadores de soldadura y apuntaladores, de todas las pruebas realizadas o calificaciones WPS, con su información respectiva.

## **7. Conexiones a Momento**

La información actual referente a las conexiones a momento para columnas con miembros tubulares es limitada, existen algunas guías de diseño, como Packer y Henderson (1997), Kurobane (2004), las Guías de Diseño del CIDECT (Código Europeo) y la guía número 24 de parte del AISC.

Estas guías de diseño, se limita a aplicaciones no sísmicas; la mejor configuración particular depende de cuatro factores:

- La magnitud del momento debe ser transferido a la columna tubular.
- La magnitud del momento debe ser transferida a través de la columna tubular.
- La magnitud de la fuerza axial en la columna tubular.
- Requisitos para enmarcar ortogonal.

### **7.1. Conexiones directamente soldadas.**

Los momentos se pueden transferir soldando las alas del perfil doble “T” o perfil “W” directamente a la pared de la columna tubular. La conexión de una placa simple permite transferir la fuerza de corte y facilita la estabilidad de la viga.

Esta conexión permite desarrollar la resistencia a la flexión completa de la columna tubular (depende del ancho de la viga en relación al ancho de la columna tubular); sin embargo la resistencia a la flexión total de la viga rara vez se alcanza.

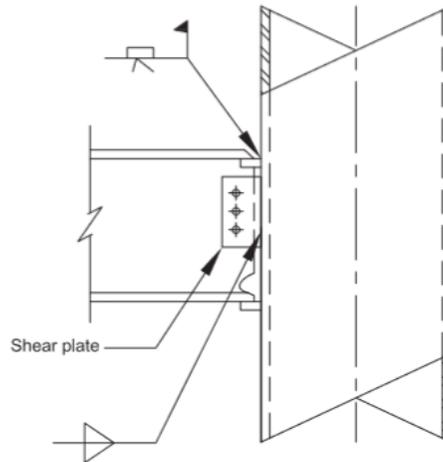


Figura 2- 26 Conexión directamente soldada

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010).

Los estados límites de diseño son considerados en la sección K1.1 para las resistencias disponibles de conexiones de planchas con secciones tubulares circulares y en la sección K1.2 para las resistencias disponibles de conexiones de planchas en secciones tubulares rectangulares de la norma “Especificación ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero”.

## 7.2. Viga continua sobre columna tubular

Una viga continua sobre una columna tubular, es una conexión muy eficiente para la construcción de un solo piso. Sin embargo, hay un problema de estabilidad importante que debe ser considerado. En este tipo de construcción, la viga se apoya solamente en el tope del ala. Por lo tanto, fuera del plano de movimiento en la parte superior de la columna tubular está restringido solamente por la débil rigidez a la flexión del alma de la viga, aumentando en gran medida la longitud efectiva de la columna.

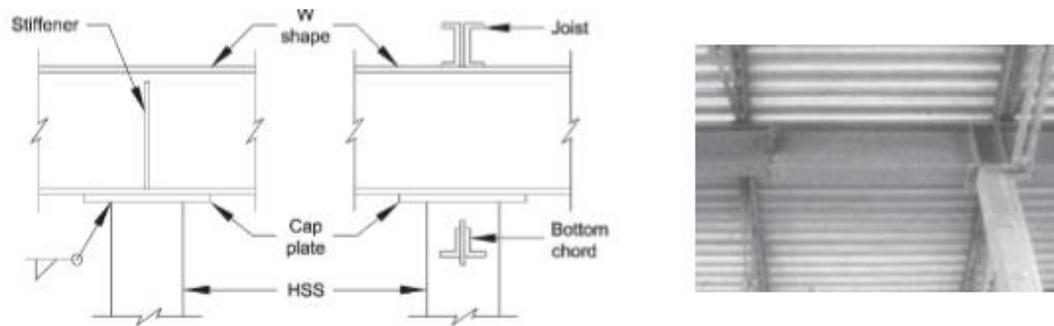


Figura 2- 27 Viga continua sobre columna tubular

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010).

## 8. Conexiones a Momento entre miembros Tubulares

La norma de la AISC 360-10 en su sección K3 se limita a conexiones planas entre miembros tubulares soldadas directamente entre sí, en forma de “T”, “Y” y conexiones cruzadas.

Los criterios de diseño de las conexiones de miembro tubulares circulares a momento, se basan en los estados límite de plastificación del cordón y la cedencia al corte. Para las conexiones de miembro tubulares rectangulares a momento, los criterios de diseño se basan en los estados límite de plastificación de la pared, cedencia de la pared lateral, cedencia local debido a la distribución desigual de la carga.

La “*Steel Design Guide 24 – Hollow Structural Section Connections*” y la Guía de Diseño n° 9 del CIDECT, presentan ejemplos de la metodología de diseño de las conexiones entre miembros tubulares.

### 8.1. Vigas y Columnas con miembros tubulares circulares.

La resistencia de la conexiones capaces de transmitir momento entre vigas y columnas con miembros tubulares circulares, se basa en el criterio de plastificación del cordón y en el criterio de punzonamiento del cordón.

La figura 6.2 de la Guía de Diseño n° 9 del CIDECT “*Para Uniones a Columna de Perfiles Tubulares Estructurales*”, la tabla K3.1 de la norma ANSI/AISC 360-10 “*Especificación para Construcciones de Acero*”, emiten recomendaciones de diseño de conexiones a momentos.

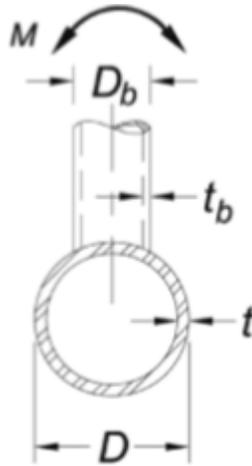


Figura 2- 28 Conexión viga-columna con miembros tubulares circulares

(Fuente: Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcciones de Acero).

## 8.2. Vigas y Columnas con miembros tubulares rectangulares.

La resistencia de las conexiones capaz de transmitir momento entre vigas y columnas con miembros tubulares rectangulares, se basa en varios criterios de modos de falla:

- Plastificación de la cara de la columna.
- Punzonamiento del cordón de la columna.
- Agrietado de la viga.
- Aplastamiento de las paredes laterales de la columna.
- Cortante de la columna.

La figura 6.5 de la Guía de Diseño 9 del CIDECT “*Para Uniones a Columna de Perfiles Tubulares Estructurales*”, la tabla K3.2 de la norma ANSI/AISC 360-10 “*Especificación para Construcciones de Acero*”, emiten recomendaciones de diseño de conexiones a momentos.

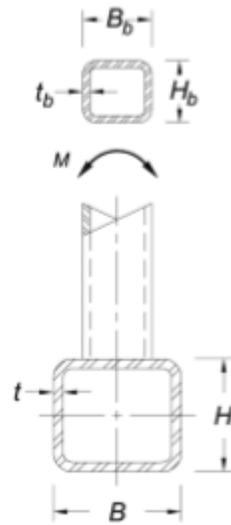


Figura 2- 29 Conexión viga-columna con miembros tubulares rectangulares  
(Fuente: Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcciones de Acero).

## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se da a conocer la metodología seleccionada y el enfoque utilizado para el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado. De igual manera, se muestra la operacionalización de los objetivos de la investigación y las fases que se siguieron para la realización de la misma.

#### 1. Diseño de la Investigación

De acuerdo con los capítulos anteriores, la investigación desarrollada tiene un propósito fundamental dar recomendaciones en la rama de las estructuras de acero siendo así de gran ayuda para los Ingenieros Estructurales y en su diseño de conexiones con perfiles tubulares.

Para el cumplimiento de los objetivos, la investigación se definió como *Investigación Documental*, con esto se llevó a cabo una revisión bibliográfica de todos los aspectos relevantes en el tema de diseño de conexiones con perfiles tubulares y todo lo relacionado a éstos.

En primer lugar, se revisaron los requisitos que establece la Normativa Americana AISC en varias de sus especificaciones para el diseño de conexiones entre secciones tubulares. Específicamente, se toma en cuenta las Especificaciones LRFD (*Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Sections*) del AISC en su versión del 2010. Se puede observar que en la Norma Venezolana vigente COVENIN 1618:1998 “*Estructuras de Acero para Edificaciones, Métodos de los Estados Límites*” no aplica para conexiones con perfiles tubulares, pues no se hace referencia en sus capítulos.

De igual manera, fueron consultados los procedimientos de diseño de la Guía de Diseño n° 24, *Hollow Structural Section Connections* en su versión del 2010, que abarca en su totalidad el diseño de las conexiones que forman parte de esta investigación. También fue de

gran utilidad el *Structural Welding Code – Steel*, de la AWS en su versión del 2010 para conocer los tipos de soldadura y la inspección que debe tener las mismas en los perfiles tubulares.

La *Guía de Diseño n° 9, Para Uniones a Columnas de Perfiles Tubulares Estructurales* del CIDECT (Código Europeo), 2004., nos muestra ejemplos de la metodología de diseño de las conexiones entre perfiles tubulares. También se consultó la *Especificación ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero* de ALACERO, 2010., se cuenta con información sobre las conexiones a momento en perfiles tubulares como son manejadas para evitar fallas en las mismas.

## **2. Operacionalización de los Objetivos de la Investigación**

Para la realización de este Trabajo Especial de Grado, el cual consiste en emitir recomendaciones para el cálculo de estructuras metálicas con perfiles tubulares, para lograr esto se debe estudiar y definir las variables involucradas en cada objetivo, para lograr el diseño de conexiones más favorables para las estructuras de acero con perfiles tubulares.

En este sentido, la Tabla 3-1 muestra la operacionalización de los objetivos de la investigación.

Tabla 3- 1 Operacionalización de Objetivos

Objetivo General	Objetivos Específicos	Variables	Técnicas	Instrumentos	Fuentes de Información
Emitir recomendaciones para los distintos tipos de diseño con estructuras metálicas bajo diversas solicitaciones.	Modelar el comportamiento de una estructura metálica conformada por perfiles tubulares.	Resistencia, conexiones.	Elementos unidimensionales en 2D y 3D.	Computador, ETABS.	Resultados obtenidos con los programas.
	Modelar el comportamiento de una estructura metálica conformada por perfiles tubulares combinada con perfiles tipo I.	Resistencia, conexiones.	Elementos unidimensionales en 2D y 3D.	Computador, ETABS.	Resultados obtenidos con los programas.
	Establecer los criterios de diseño de conexiones a momento ajustados a lo indicado en la norma.	Tipos de conexión, procedimiento de diseño.	Análisis documental de fuentes bibliográficas.	Hojas de cálculo, ecuaciones.	Normativa vigente, bibliografía especializada, artículos técnicos, guías de diseño, internet.
	Establecer el detalle de los tipos de conexiones más comunes con los perfiles tubulares nacionales.	Tipos de conexión, tipos de carga.	Comparación de resultados.	Hojas de cálculo, ecuaciones, computador.	Resultados obtenidos con el programa, hojas de cálculo.

(Fuente: Elaboración propia)

### **3. Fases de la Investigación**

En el proceso de desarrollo del Trabajo Especial de Grado estuvo compuesto por cuatro fases o etapas, las cuales son:

- Planificación
- Elaboración
- Comparación
- Redacción del Trabajo Especial de Grado Final

En la primera fase se realizó el proceso de investigación, recopilación de información referente al tema, estudio de los antecedentes, y analizando la problemática existente. En esta etapa fue realizado el anteproyecto, planteando el problema de investigación, objetivos, metodología, alcance y limitaciones, y así comprender el comportamiento de los perfiles tubulares.

La segunda fase consistió en la parte principal de la investigación, ya que se realizó el marco teórico, el cual fue basado en toda la información recopilada en toda la fase de planificación. Se realizó la verificación de los perfiles tubulares mediante ecuaciones matemáticas provenientes de las normas y ejemplos donde se mostrara el comportamiento de los perfiles y su cumplimiento con las normas.

La tercera fase consistió en la comparación de ambos modelos a estudiar al estudiar su comportamiento según los perfiles utilizados mediante el uso de programas especializados para estructuras como lo son SAP2000 y ETABS. Con esto, se diseñó conexiones más favorables para soportar diversas solicitaciones.

La cuarta fase se basó en la redacción del Trabajo Especial de Grado.

#### **4. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de Datos**

Para lograr el cumplimiento de los objetivos establecidos, se planteó como técnica para la recolección de datos un diseño definido como Investigación Documental.

Esta técnica se refiere a la revisión y el análisis de fuentes documentales, guías de diseño, bibliografía especializada y relevante, normativa vigente, artículos técnicos e internet. Así poder determinar los aspectos necesarios que deben estar presentes en un diseño de estructuras metálicas con perfiles tubulares.

Con esta técnica, se estableció todo lo referente al Marco Teórico de esta investigación que es la base para el desarrollo del Trabajo Especial de Grado.

## **CAPÍTULO IV**

### **DISEÑO DE LOS PERFILES TUBULARES**

#### **1. Estados Límites**

Según la COVENIN – MINDUR 2002, define “el estado límite como la situación más allá de la cual una estructura, miembro o componente estructural queda inútil para su uso previsto, sea por su falla resistente, deformaciones, vibraciones excesivas, inestabilidad, deterioro, colapso o cualquier otra causa. Para mantener suficientemente pequeña la probabilidad de alcanzar un estado límite, el criterio de diseño establecido en las normas debe asegurar que la demanda representada por las solicitaciones multiplicadas por sus correspondientes factores de mayoración no exceda las capacidades o resistencias teóricas minoradas”. (p.C-36).

Las condiciones de estado límite se clasifica en:

#### **1.1. Estado límite de agotamiento resistente**

Son asociados a roturas en las estructuras o algún otro tipo de fallo, poniendo en peligro la seguridad de las personas. Se deben tener en cuenta los siguientes:

- Pérdida del equilibrio de una estructura o parte de ella, considerada como cuerpo rígido.
- Pérdida de capacidad de soporte de carga, como lo son: rotura, inestabilidad, fatiga, excesivas deformaciones y tensiones.

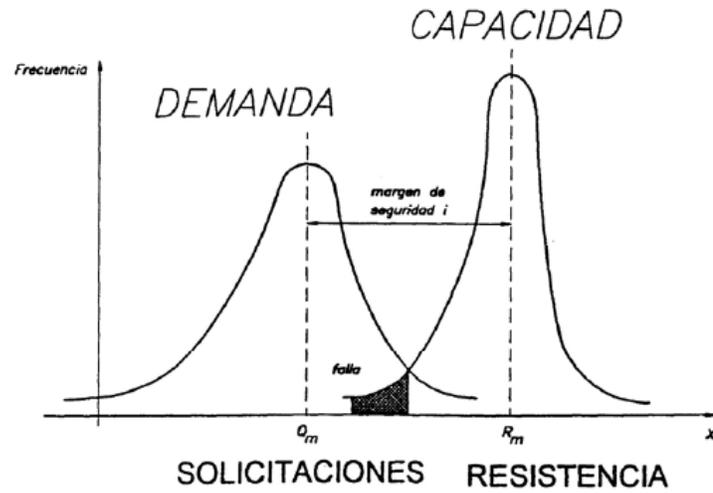


Figura 4- 1 Modelo probabilístico para el Estado Límite de Agotamiento Resistente

(Fuente: COVENIN 1618:1998 Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites, 1ra Revisión, 1998)

## 1.2. Estado límite de servicio

Corresponde a estados a partir de los cuales no se cumplen los criterios de utilización especificados. Se toman en cuenta los siguientes:

- Deformaciones o flechas que afecten el aspecto o uso de una estructura que causen daños a los remates o elementos no estructurales.
- Vibraciones causando incomodidades a personas, daños al edificio o limitan su efectividad funcional.
- Daño local por cedencia, pandeo, deslizamiento o agrietamiento que puede ocasionar corrosión y requerir excesivos mantenimientos.

## 2. Propiedades de las Secciones de Miembros Tubulares

Se procedió a realizar los cálculos de las propiedades de las secciones (Área, Momento de Inercia, Modulo Plástico) de los miembros tubulares circulares y de cajón, a través de procedimientos matemático correspondiente a las propiedades geométricas de cada sección.

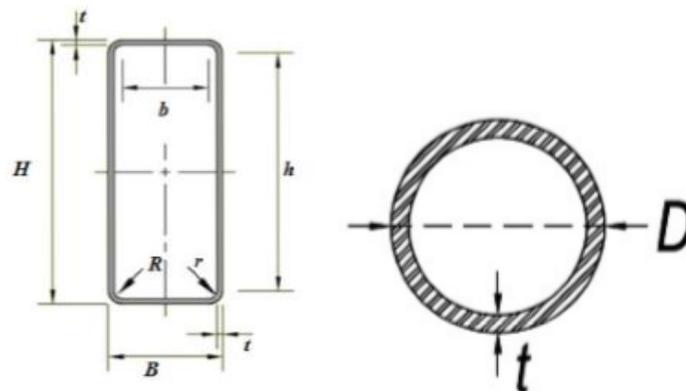


Figura 4- 2 Propiedades de las secciones

(Fuente: Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcciones de Acero).

## 2.1. Sección Circular

$$D = D_{ext} \quad (4-1)$$

$$D_{int} = D - 2t \quad (4-2)$$

$$r = \frac{D}{2} - \frac{t}{2} \quad (4-3)$$

- Área:

$$A = \frac{\pi}{4} (D_{ext}^2 - D_{int}^2) \quad (4-4)$$

- Momento de Inercia :

$$I = \frac{\pi}{64} (D_{ext}^4 - D_{int}^4) \quad (4-5)$$

- Módulo Plástico:

$$Z = \frac{2}{\pi r} \left( 2r^2 + \frac{t^2}{6} \right) \quad (4-6)$$

- Radio de Giro

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (4-7)$$

## 2.2. Secciones de Cajón

$$r = R + \frac{t}{2} \quad (4-8)$$

$$u = \frac{\pi r}{2} \quad (4-9)$$

$$h = D - 2(t + R) \quad (4-10)$$

$$b = B - 2(t + R) \quad (4-11)$$

- Área:

$$A = 2t(h + b + 2u) \quad (4-12)$$

- Momento de Inercia :

$$I_x = \frac{1}{6}(th^3 + bt^3) + 2tb\left(\frac{h}{2} + r\right)^2 + \frac{1}{4\pi r} \left[ (\pi r)^2(4r^2 + t^2) - 8\left(2r^2 + \frac{t^2}{6}\right)^2 + 2\left(\pi r h + 4r^2 + \frac{t^2}{3}\right)^2 \right] \quad (4-13)$$

$$I_y = \frac{1}{6}(tb^3 + ht^3) + 2th\left(\frac{b}{2} + r\right)^2 + \frac{1}{4\pi r} \left[ (\pi r)^2(4r^2 + t^2) - 8\left(2r^2 + \frac{t^2}{6}\right)^2 + 2\left(\pi r b + 4r^2 + \frac{t^2}{3}\right)^2 \right] \quad (4-14)$$

- Módulo Plástico:

$$Z_x = \frac{th^2}{2} + bt(h + 2r) + t\left(\pi r h + 4r^2 + \frac{t^2}{3}\right) \quad (4-15)$$

$$Z_y = \frac{tb^2}{2} + ht(b + 2r) + t\left(\pi r b + 4r^2 + \frac{t^2}{3}\right) \quad (4-16)$$

- Radio de Giro

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (4-17)$$

Tabla 4- 1 Propiedades Geométricas, para perfil tubular de sección circular

<b>Perfil</b>	<b>A</b>	<b>I</b>	<b>Z</b>	<b>r</b>
<i>pulg x mm</i>	<i>cm<sup>2</sup></i>	<i>cm<sup>4</sup></i>	<i>cm<sup>3</sup></i>	<i>cm</i>
3" x 2.25	5.23	35.77	12.31	2.62
3 1/2" x 2.25	6.12	57.52	16.90	3.07
4 1/2" x 2.50	8.78	137.26	31.25	3.95
5" x 3.00	11.69	224.75	46.14	4.38
5 1/2" x 3.40	14.56	338.30	63.18	4.82
6" x 4.00	18.65	513.73	144.40	5.25
6 5/8" x 4.30	22.15	745.35	115.68	5.80
7 5/8" x 4.50	26.75	1197.52	161.12	6.69
8 5/8" x 5.50	36.91	2106.27	250.99	7.55
9 5/8" x 5.50	41.30	2950.16	314.22	8.45
9 5/8" x 7.00	52.23	3685.75	394.96	8.40
10 3/4" x 7.00	58.52	5186.14	495.78	9.41
10 3/4" x 9.00	74.67	6517.96	627.96	9.34
12 3/4" x 9.00	89.02	11039.98	892.42	11.14
12 3/4" x 11.00	108.11	13243.34	1077.07	11.07

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 2 Propiedades Geométricas, para perfil tubular de sección rectangular

<b>Perfil</b>	<b>A</b>	<b>I<sub>x</sub></b>	<b>Z<sub>x</sub></b>	<b>r<sub>x</sub></b>	<b>I<sub>y</sub></b>	<b>Z<sub>y</sub></b>	<b>r<sub>y</sub></b>
<i>mm</i>	<i>cm<sup>2</sup></i>	<i>cm<sup>4</sup></i>	<i>cm<sup>3</sup></i>	<i>cm</i>	<i>cm<sup>4</sup></i>	<i>cm<sup>3</sup></i>	<i>cm</i>
80x40x2.25	5.15	42.67	13.24	2.88	14.35	8.13	1.67
100x40x2.25	6.05	74.60	18.84	3.51	17.56	9.83	1.70
120x60x2.50	8.70	165.04	33.84	4.36	56.09	20.87	2.54
140x60x3.00	11.56	285.54	51.06	4.97	75.50	28.09	2.56
160x65x3.40	14.74	468.55	73.32	5.64	113.49	38.95	2.77
180x65x4.00	18.82	731.08	103.70	6.23	145.12	49.98	2.78
200x70x4.30	22.32	1063.42	136.10	6.90	200.62	64.07	3.00
220x90x4.50	26.92	1624.44	185.56	7.77	398.68	98.64	3.85
260x90x5.50	37.03	2975.42	293.14	8.96	551.47	136.86	3.86
300x100x5.50	42.53	4540.49	387.79	10.33	796.02	176.44	4.33
300x100x7.00	53.62	5641.86	485.14	10.26	974.19	219.15	4.26
320x120x7.00	59.22	7352.60	583.98	11.14	1556.54	289.99	5.13
320x120x9.00	75.26	9182.36	735.31	11.05	1913.89	362.47	5.04
350x170x9.00	89.66	14178.62	1005.71	12.58	4565.67	605.35	7.14
350x170x11.00	108.52	16909.00	1202.72	12.48	5397.87	724.05	7.05

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 3 Propiedades Geométricas, para perfil tubular de sección cuadrada

<b>Perfil</b>	<b>A</b>	<b>I<sub>x</sub></b>	<b>Z<sub>x</sub></b>	<b>r<sub>x</sub></b>
<i>mm</i>	<i>cm<sup>2</sup></i>	<i>cm<sup>4</sup></i>	<i>cm<sup>3</sup></i>	<i>cm</i>
60x60x2.25	5.15	28.56	11.13	2.35
70x70x2.25	6.05	46.18	15.35	2.76
90x90x2.50	8.70	110.69	28.48	3.57
100x100x3.00	11.56	180.83	41.97	3.96
110x110x3.40	14.40	271.93	57.44	4.35
120x120x4.00	18.42	411.93	79.96	4.73
135x135x4.30	22.32	633.70	109.17	5.33
155x155x4.50	26.92	1013.40	151.61	6.14
175x175x5.50	37.03	1768.14	234.87	6.91
200x200x5.50	42.53	2674.75	309.62	7.93
200x200x7.00	53.62	3318.54	387.15	7.87
220x220x7.00	59.22	4465.08	471.98	8.68
220x220x9.00	75.26	5565.51	593.89	8.60
260x260x9.00	89.66	9386.23	841.98	10.23
260x260x11.00	108.52	11174.47	1010.43	10.15

(Fuente: Elaboración propia).

### 3. Relación Ancho/espesor

La norma ANSI/AISC 360-10 “Especificación para Construcciones de Acero” la tabla B4.1b del apartado B4, establece los límites de secciones compactas, no compactas o esbeltas de elementos atiesado o no-atiesados; para miembros tubulares circulares, rectangulares y cuadrados aplican a elementos atiesados.

Una sección se conoce como compacta, cuando las secciones son capaces de alcanzar su tensión cedente y deformarse considerablemente sin pandeo local; la deformación es consistente con el desarrollo de una distribución plenamente plástica en flexión.

Una sección se conoce como no compacta, cuando pueden desarrollar cedencia limitada en compresión, sin pandeo local, pero no desarrollar una distribución plenamente plástica.

Una sección se conoce como esbelta, cuando puede esperarse que algún componente pandee localmente antes de alcanzar la cedencia.

### 3.1. Sección circular

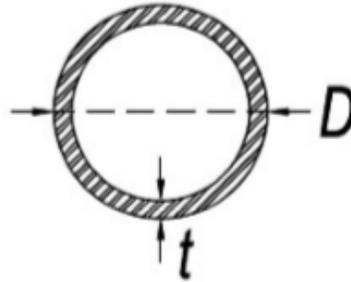


Figura 4- 3 Miembro tubular circular

(Fuente: Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcciones de Acero).

- ✓ Límite entre compacta y no compacta:

$$\lambda p = 0.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4-18)$$

- ✓ Límite entre no compacta y esbelta :

$$\lambda r = 0.31 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4-19)$$

- ✓ Relación ancho-espesor para secciones circulares:

$$\lambda = \frac{D}{t} \quad (4-20)$$

Tabla 4- 4 Relación ancho-espesor, para perfil tubular de sección circular.

Perfil	D/t
<i>pulg x mm</i>	$\lambda$
3" x 2.25	33.87
3 1/2" x 2.25	39.51
4 1/2" x 2.50	45.72
5" x 3.00	42.33
5 1/2" x 3.40	41.09
6" x 4.00	38.10
6 5/8" x 4.30	39.14
7 5/8" x 4.50	43.04
8 5/8" x 5.50	39.84
9 5/8" x 5.50	44.45
9 5/8" x 7.00	34.93
10 3/4" x 7.00	39.01
10 3/4" x 9.00	30.34
12 3/4" x 9.00	35.98
12 3/4" x 11.00	29.44

(Fuente: Elaboración propia).

### 3.2. Secciones de cajón (rectangular y cuadrado)

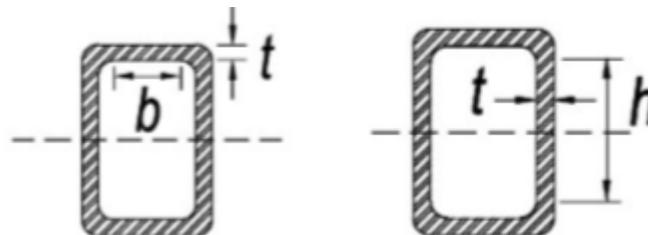


Figura 4- 4 Miembro tubular de cajón

(Fuente: Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcciones de Acero).

- ✓ Límite entre compacta y no compacta para alas:

$$\lambda_p = 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4-21)$$

- ✓ Límite entre no compacta y esbelta para alas:

$$\lambda r = 1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4-22)$$

- ✓ Límite entre compacta y no compacta para almas:

$$\lambda p = 2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4-23)$$

- ✓ Límite entre no compacta y esbelta para almas:

$$\lambda r = 5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4-24)$$

- ✓ Relación ancho-espesor, para almas de sección de cajón:

$$\lambda = \frac{h}{t} \quad (4-25)$$

- ✓ Relación ancho-espesor, para alas de sección de cajón:

$$\lambda = \frac{b}{t} \quad (4-26)$$

Tabla 4- 5 Relación ancho-espesor, para perfil tubular de sección rectangular.

<b>Perfil</b>	<b>h</b>	<b>b</b>	<b>b/t</b>	<b>h/t</b>
<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>λ<sub>ala</sub></i>	<i>λ<sub>alma</sub></i>
80x40x2.25	62.00	22.00	9.78	27.56
100x40x2.25	82.00	22.00	9.78	36.44
120x60x2.50	100.00	40.00	16.00	40.00
140x60x3.00	116.00	36.00	12.00	38.67
160x65x3.40	132.80	37.80	11.12	39.06
180x65x4.00	148.00	33.00	8.25	37.00
200x70x4.30	165.60	35.60	8.28	38.51
220x90x4.50	184.00	54.00	12.00	40.89
260x90x5.50	216.00	46.00	8.36	39.27
300x100x5.50	256.00	56.00	10.18	46.55
300x100x7.00	244.00	44.00	6.29	34.86
320x120x7.00	264.00	64.00	9.14	37.71
320x120x9.00	248.00	48.00	5.33	27.56
350x170x9.00	278.00	98.00	10.89	30.89
350x170x11.00	262.00	82.00	7.45	23.82

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 4- 6 Relación ancho-espesor, para perfil tubular de sección cuadrada.

<b>Perfil</b>	<b>h</b>	<b>b</b>	<b>b/t</b>	<b>h/t</b>
<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>λ<sub>ala</sub></i>	<i>λ<sub>alma</sub></i>
60x60x2.25	42.00	42.00	18.67	18.67
70x70x2.25	52.00	52.00	23.11	23.11
90x90x2.50	70.00	70.00	28.00	28.00
100x100x3.00	76.00	76.00	25.33	25.33
110x110x3.40	82.80	82.80	24.35	24.35
120x120x4.00	88.00	88.00	22.00	22.00
135x135x4.30	100.60	100.60	23.40	23.40
155x155x4.50	119.00	119.00	26.44	26.44
175x175x5.50	131.00	131.00	23.82	23.82
200x200x5.50	156.00	156.00	28.36	28.36
200x200x7.00	144.00	144.00	20.57	20.57
220x220x7.00	164.00	164.00	23.43	23.43
220x220x9.00	148.00	148.00	16.44	16.44
260x260x9.00	188.00	188.00	20.89	20.89
260x260x11.00	172.00	172.00	15.64	15.64

(Fuente: Elaboración propia).

## 4. Ductilidad

El capítulo D de la norma ANSI/AISC 341-10 “*Seismic Provisions for Structural Steel Building*”, establece los límites de ductilidad ante eventos sísmicos para perfiles de sección tubular.

Una sección se conoce como compacto sismo resistente, cuando son adecuadas para ductilidades muy altas, que según estudios previos son las adecuadas para disipar dichos eventos.

### 4.1. Sección Circular

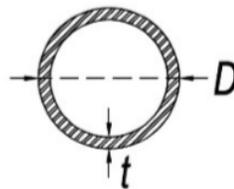


Figura 4- 5 Miembro tubular circular.

(Fuente: Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcciones de Acero).

- ✓ Límite para miembros altamente dúctiles:

$$\lambda_{hd} = 0.038 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4-27)$$

- ✓ Límite para moderadamente dúctiles :

$$\lambda_{md} = 0.044 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4-28)$$

Si las secciones de miembros tubulares circulares desean cumplir con los requerimientos de la norma sísmica ANSI/AISC 341-10, no deberá exceder el límite de una sección compacta.

Tabla 4- 7 Ductilidad, para perfil tubular de sección circular, Grado A.

$F_y = 2320 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

<b>Perfil</b>	<b>D/t</b>	$\lambda_{hd}$	$\lambda_{md}$	<i>Comportamiento Dúctil</i>
<i>pulg x mm</i>	$\lambda$			
3" x 2.25	33.87	1.14	1.32	Mínimamente Dúctil
3 1/2" x 2.25	39.51	1.14	1.32	Mínimamente Dúctil
4 1/2" x 2.50	45.72	1.14	1.32	Mínimamente Dúctil
5" x 3.00	42.33	1.14	1.32	Mínimamente Dúctil
5 1/2" x 3.40	41.09	1.14	1.32	Mínimamente Dúctil
6" x 4.00	38.10	1.14	1.32	Mínimamente Dúctil
6 5/8" x 4.30	39.14	1.14	1.32	Mínimamente Dúctil
7 5/8" x 4.50	43.04	1.14	1.32	Mínimamente Dúctil
8 5/8" x 5.50	39.84	1.14	1.32	Mínimamente Dúctil
9 5/8" x 5.50	44.45	1.14	1.32	Mínimamente Dúctil
9 5/8" x 7.00	34.93	1.14	1.32	Mínimamente Dúctil
10 3/4" x 7.00	39.01	1.14	1.32	Mínimamente Dúctil
10 3/4" x 9.00	30.34	1.14	1.32	Mínimamente Dúctil
12 3/4" x 9.00	35.98	1.14	1.32	Mínimamente Dúctil
12 3/4" x 11.00	29.44	1.14	1.32	Mínimamente Dúctil

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 8 Ductilidad, para perfil tubular de sección circular, Grado B.

$F_y = 2955 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

<b>Perfil</b>	<b>D/t</b>	$\lambda_{hd}$	$\lambda_{md}$	<i>Comportamiento Dúctil</i>
<i>pulg x mm</i>	$\lambda$			
3" x 2.25	33.87	1.01	1.17	Mínimamente Dúctil
3 1/2" x 2.25	39.51	1.01	1.17	Mínimamente Dúctil
4 1/2" x 2.50	45.72	1.01	1.17	Mínimamente Dúctil
5" x 3.00	42.33	1.01	1.17	Mínimamente Dúctil
5 1/2" x 3.40	41.09	1.01	1.17	Mínimamente Dúctil
6" x 4.00	38.10	1.01	1.17	Mínimamente Dúctil
6 5/8" x 4.30	39.14	1.01	1.17	Mínimamente Dúctil
7 5/8" x 4.50	43.04	1.01	1.17	Mínimamente Dúctil
8 5/8" x 5.50	39.84	1.01	1.17	Mínimamente Dúctil
9 5/8" x 5.50	44.45	1.01	1.17	Mínimamente Dúctil
9 5/8" x 7.00	34.93	1.01	1.17	Mínimamente Dúctil
10 3/4" x 7.00	39.01	1.01	1.17	Mínimamente Dúctil
10 3/4" x 9.00	30.34	1.01	1.17	Mínimamente Dúctil
12 3/4" x 9.00	35.98	1.01	1.17	Mínimamente Dúctil
12 3/4" x 11.00	29.44	1.01	1.17	Mínimamente Dúctil

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 9 Ductilidad, para perfil tubular de sección circular, Grado C.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil <i>pulg x mm</i>	D/t	$\lambda_{hd}$	$\lambda_{md}$	Comportamiento Dúctil
	$\lambda$			
3" x 2.25	33.87	0.30	1.12	Mínimamente Dúctil
3 1/2" x 2.25	39.51	0.30	1.12	Mínimamente Dúctil
4 1/2" x 2.50	45.72	0.30	1.12	No Cumple
5" x 3.00	42.33	0.30	1.12	Mínimamente Dúctil
5 1/2" x 3.40	41.09	0.30	1.12	Mínimamente Dúctil
6" x 4.00	38.10	0.30	1.12	Mínimamente Dúctil
6 5/8" x 4.30	39.14	0.30	1.12	Mínimamente Dúctil
7 5/8" x 4.50	43.04	0.30	1.12	Mínimamente Dúctil
8 5/8" x 5.50	39.84	0.30	1.12	Mínimamente Dúctil
9 5/8" x 5.50	44.45	0.30	1.12	Mínimamente Dúctil
9 5/8" x 7.00	34.93	0.30	1.12	Mínimamente Dúctil
10 3/4" x 7.00	39.01	0.30	1.12	Mínimamente Dúctil
10 3/4" x 9.00	30.34	0.30	1.12	Mínimamente Dúctil
12 3/4" x 9.00	35.98	0.30	1.12	Mínimamente Dúctil
12 3/4" x 11.00	29.44	0.30	1.12	Mínimamente Dúctil

(Fuente: Elaboración propia).

#### 4.2. Secciones de cajón (rectangular y cuadrada)

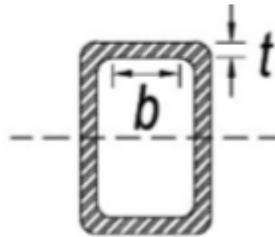


Figura 4- 6 Miembro tubular de cajón.

(Fuente: Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcciones de Acero).

- ✓ Límite para miembros altamente dúctiles:

$$\lambda_{hd} = 0.55 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4-29)$$

- ✓ Límite para moderadamente dúctiles :

$$\lambda_{md} = 0.64 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (4-30)$$

Si las secciones de miembros tubulares rectangulares y cuadradas desean cumplir con los requerimientos de la norma sísmica ANSI/AISC 341-10, no deberá exceder el límite de una sección compacta.

Tabla 4- 10 Ductilidad, para perfil tubular de sección rectangular, Grado A.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

Perfil <i>mm</i>	$b/t$ <i><math>\lambda_{ala}</math></i>	$\lambda_{hd}$	$\lambda_{md}$	Comportamiento Dúctil
80x40x2.25	9.78	15.23	17.72	Altamente Dúctil
100x40x2.25	9.78	15.23	17.72	Altamente Dúctil
120x60x2.50	16.00	15.23	17.72	Moderadamente Dúctil
140x60x3.00	12.00	15.23	17.72	Altamente Dúctil
160x65x3.40	11.12	15.23	17.72	Altamente Dúctil
180x65x4.00	8.25	15.23	17.72	Altamente Dúctil
200x70x4.30	8.28	15.23	17.72	Altamente Dúctil
220x90x4.50	12.00	15.23	17.72	Altamente Dúctil
260x90x5.50	8.36	15.23	17.72	Altamente Dúctil
300x100x5.50	10.18	15.23	17.72	Altamente Dúctil
300x100x7.00	6.29	15.23	17.72	Altamente Dúctil
320x120x7.00	9.14	15.23	17.72	Altamente Dúctil
320x120x9.00	5.33	15.23	17.72	Altamente Dúctil
350x170x9.00	10.89	15.23	17.72	Altamente Dúctil
350x170x11.00	7.45	15.23	17.72	Altamente Dúctil

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 11 Ductilidad, para perfil tubular de sección rectangular, Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

Perfil <i>mm</i>	b/t <i>λala</i>	$λhd$	$λmd$	Comportamiento Dúctil
100x40x2.25	9.78	14.02	16.32	Altamente Dúctil
120x60x2.50	16.00	14.02	16.32	Moderadamente Dúctil
140x60x3.00	12.00	14.02	16.32	Altamente Dúctil
160x65x3.40	11.12	14.02	16.32	Altamente Dúctil
180x65x4.00	8.25	14.02	16.32	Altamente Dúctil
200x70x4.30	8.28	14.02	16.32	Altamente Dúctil
220x90x4.50	12.00	14.02	16.32	Altamente Dúctil
260x90x5.50	8.36	14.02	16.32	Altamente Dúctil
300x100x5.50	10.18	14.02	16.32	Altamente Dúctil
300x100x7.00	6.29	14.02	16.32	Altamente Dúctil
320x120x7.00	9.14	14.02	16.32	Altamente Dúctil
320x120x9.00	5.33	14.02	16.32	Altamente Dúctil
350x170x9.00	10.89	14.02	16.32	Altamente Dúctil
350x170x11.00	7.45	14.02	16.32	Altamente Dúctil

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 12 Ductilidad, para perfil tubular de sección rectangular Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil <i>mm</i>	b/t <i>λala</i>	$λhd$	$λmd$	Comportamiento Dúctil
100x40x2.25	9.78	13.44	15.64	Altamente Dúctil
120x60x2.50	16.00	13.44	15.64	Minimamente Dúctil
140x60x3.00	12.00	13.44	15.64	Altamente Dúctil
160x65x3.40	11.12	13.44	15.64	Altamente Dúctil
180x65x4.00	8.25	13.44	15.64	Altamente Dúctil
200x70x4.30	8.28	13.44	15.64	Altamente Dúctil
220x90x4.50	12.00	13.44	15.64	Altamente Dúctil
260x90x5.50	8.36	13.44	15.64	Altamente Dúctil
300x100x5.50	10.18	13.44	15.64	Altamente Dúctil
300x100x7.00	6.29	13.44	15.64	Altamente Dúctil
320x120x7.00	9.14	13.44	15.64	Altamente Dúctil
320x120x9.00	5.33	13.44	15.64	Altamente Dúctil
350x170x9.00	10.89	13.44	15.64	Altamente Dúctil
350x170x11.00	7.45	13.44	15.64	Altamente Dúctil

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 13 Ductilidad, para perfil tubular de sección cuadrada, Grado A.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

<b>Perfil</b>	<b>b/t</b>	$\lambda_{hd}$	$\lambda_{md}$	<i>Comportamiento Dúctil</i>
<i>mm</i>	$\lambda_{ala}$			
60x60x2.25	18.67	15.23	17.72	Mínimamente Dúctil
70x70x2.25	23.11	15.23	17.72	Mínimamente Dúctil
90x90x2.50	28.00	15.23	17.72	Mínimamente Dúctil
100x100x3.00	25.33	15.23	17.72	Mínimamente Dúctil
110x110x3.40	24.35	15.23	17.72	Mínimamente Dúctil
120x120x4.00	22.00	15.23	17.72	Mínimamente Dúctil
135x135x4.30	23.40	15.23	17.72	Mínimamente Dúctil
155x155x4.50	26.44	15.23	17.72	Mínimamente Dúctil
175x175x5.50	23.82	15.23	17.72	Mínimamente Dúctil
200x200x5.50	28.36	15.23	17.72	Mínimamente Dúctil
200x200x7.00	20.57	15.23	17.72	Mínimamente Dúctil
220x220x7.00	23.43	15.23	17.72	Mínimamente Dúctil
220x220x9.00	16.44	15.23	17.72	Moderadamente Dúctil
260x260x9.00	20.89	15.23	17.72	Mínimamente Dúctil
260x260x11.00	15.64	15.23	17.72	Moderadamente Dúctil

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 14 Ductilidad, para perfil tubular de sección cuadrada, Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

<b>Perfil</b>	<b>b/t</b>	$\lambda_{hd}$	$\lambda_{md}$	<i>Comportamiento Dúctil</i>
<i>mm</i>	$\lambda_{ala}$			
60x60x2.25	18.67	14.02	16.32	Mínimamente Dúctil
70x70x2.25	23.11	14.02	16.32	Mínimamente Dúctil
90x90x2.50	28.00	14.02	16.32	Mínimamente Dúctil
100x100x3.00	25.33	14.02	16.32	Mínimamente Dúctil
110x110x3.40	24.35	14.02	16.32	Mínimamente Dúctil
120x120x4.00	22.00	14.02	16.32	Mínimamente Dúctil
135x135x4.30	23.40	14.02	16.32	Mínimamente Dúctil
155x155x4.50	26.44	14.02	16.32	Mínimamente Dúctil
175x175x5.50	23.82	14.02	16.32	Mínimamente Dúctil
200x200x5.50	28.36	14.02	16.32	Mínimamente Dúctil
200x200x7.00	20.57	14.02	16.32	Mínimamente Dúctil
220x220x7.00	23.43	14.02	16.32	Mínimamente Dúctil
220x220x9.00	16.44	14.02	16.32	Mínimamente Dúctil
260x260x9.00	20.89	14.02	16.32	Mínimamente Dúctil
260x260x11.00	15.64	14.02	16.32	Moderadamente Dúctil

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 15 Ductilidad, para perfil tubular de sección cuadrada, Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil <i>mm</i>	b/t <i>λala</i>	$λhd$	$λmd$	Comportamiento Dúctil
60x60x2.25	18.67	13.44	15.64	Mínimamente Dúctil
70x70x2.25	23.11	13.44	15.64	Mínimamente Dúctil
90x90x2.50	28.00	13.44	15.64	No Cumple
100x100x3.00	25.33	13.44	15.64	Mínimamente Dúctil
110x110x3.40	24.35	13.44	15.64	Mínimamente Dúctil
120x120x4.00	22.00	13.44	15.64	Mínimamente Dúctil
135x135x4.30	23.40	13.44	15.64	Mínimamente Dúctil
155x155x4.50	26.44	13.44	15.64	Mínimamente Dúctil
175x175x5.50	23.82	13.44	15.64	Mínimamente Dúctil
200x200x5.50	28.36	13.44	15.64	No Cumple
200x200x7.00	20.57	13.44	15.64	Mínimamente Dúctil
220x220x7.00	23.43	13.44	15.64	Mínimamente Dúctil
220x220x9.00	16.44	13.44	15.64	Mínimamente Dúctil
260x260x9.00	20.89	13.44	15.64	Mínimamente Dúctil
260x260x11.00	15.64	13.44	15.64	Moderadamente Dúctil

(Fuente: Elaboración propia).

## 5. Tipos de diseño

### 5.1. Diseño a compresión

El capítulo E de la norma ANSI/AISC 360-10 y capítulo 4 de la norma AISC 2000 *Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Sections*, aplica a miembros de sección tubular circular. Para satisfacer el requisito de resistencia por corte, se debe cumplir que:

$$P_u \leq \phi_c P_n \quad (4-31)$$

$$P_n = A * F_{cr} \quad (4-32)$$

La resistencia a compresión en perfiles tubulares rectangulares, cuadrados y circulares, estará limitado por el estado límite de pandeo flexional. Esta se verá reducida en aquellas situaciones donde existan secciones esbeltas y se produzca pandeo local.

### 5.1.1. Pandeo flexional

Este fenómeno aplica a perfiles tubulares rectangulares, cuadrados y circulares donde su sección es compacta o no compacta. El parámetro de esbeltez ( $\lambda c$ ) determinara si el pandeo flexional será elástico o inelástico.

$$\text{Parámetro de esbeltez} = \lambda c = \frac{K*L}{r*\pi} * \sqrt{\frac{E}{Fy}} \quad (4-33)$$

Donde:

Para pandeo flexional inelástico ( $\lambda c \leq 1.5$ ).

$$Fcr = (0.658^{\lambda c^2}) * Fy \quad (4-34)$$

Para pandeo flexional elástico ( $\lambda c > 1.5$ ).

$$Fcr = \frac{0.877}{\lambda c^2} * Fy \quad (4-35)$$

### 5.1.2. Pandeo Local

Este fenómeno ocurre cuando un perfil tubular rectangular, cuadrado o circular con una sección transversal que no cumpla los requisitos de sección compacta o no compacta, la resistencia a compresión por pandeo flexional disminuye. El parámetro de esbeltez ( $\lambda c$ ) determinara si el pandeo flexional será elástico o inelástico.

La sección E7 de la sección de la norma ANSI/AISC-360 determina el cálculo del coeficiente por efecto de pandeo local (Q); en el caso de los perfiles tubulares todos sus elementos o caras son rigidizados por lo tanto  $Qs = 1.0$ , por lo cual:

$$Q = Qa \quad (4-36)$$

El factor de reducción  $Qa$ , para elementos esbeltos rigidizados, en perfiles tubulares rectangulares y cuadrados, se define:

$$Qa = \frac{Ae}{A} \quad (4-37)$$

Donde:

$$be = 1.92 * t * \sqrt{\frac{E}{Fy}} \left( 1 - \frac{0.38}{\frac{b}{t}} * \sqrt{E/F} \right) \quad (4-38)$$

Se toma de forma conservadora  $Fy$ .

El factor de reducción  $Qa$ , para elementos esbeltos rigidizados, en perfiles tubulares circulares, se define:

$$Qa = \frac{0.038E}{Fy(D/t)} + 2/3 \quad (4-39)$$

Para pandeo local inelástico ( $\lambda c \sqrt{Q} \leq 1.5$ ).

$$Fcr = Q(0.658\lambda c^2) * Fy \quad (4-40)$$

Para pandeo local elástico ( $\lambda c \sqrt{Q} > 1.5$ ).

$$Fcr = \frac{0.877}{\lambda c^2} * Fy \quad (4-41)$$

A efectos de nuestra propia verificación, consideramos:

6. Una longitud estándar de seis (6.0) metros.
7. Un valor de la constante “K” igual a 1.0, 1.2 y 1.4.

✓ Sección circular.

Tabla 4- 16 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular (K=1), Grado A.

$F_y = 2320 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

<b>Perfil</b>	$\lambda_c$	<b>Pandeo</b>	<b>Fcr</b>	<b>Pn</b>	<b><math>\Phi Pn</math></b>
<i>pulg x mm</i>			<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
3" x 2.25	2.43	Elástica	345.33	1806.07	1625.46
3 1/2" x 2.25	2.07	Elástica	474.55	2904.26	2613.83
4 1/2" x 2.50	1.61	Elástica	789.34	6930.43	6237.39
5" x 3.00	1.45	Inelástica	964.93	11279.98	10151.98
5 1/2" x 3.40	1.32	Inelástica	1122.62	16345.33	14710.80
6" x 4.00	1.21	Inelástica	1257.68	23455.73	21110.16
6 5/8" x 4.30	1.09	Inelástica	1405.43	31130.24	28017.22
7 5/8" x 4.50	0.95	Inelástica	1591.71	42578.34	38320.51
8 5/8" x 5.50	0.84	Inelástica	1726.34	63719.29	57347.36
9 5/8" x 5.50	0.75	Inelástica	1832.08	75664.92	68098.43
9 5/8" x 7.00	0.76	Inelástica	1826.79	95413.09	85871.78
10 3/4" x 7.00	0.67	Inelástica	1917.94	112237.60	101013.84
10 3/4" x 9.00	0.68	Inelástica	1912.38	142797.12	128517.41
12 3/4" x 9.00	0.57	Inelástica	2025.00	180265.07	162238.56
12 3/4" x 11.00	0.57	Inelástica	2021.59	218553.57	196698.21

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 17 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular (K=1.2) Grado A.

$F_y = 2320 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

<b>Perfil</b>	$\lambda_c$	<b>Pandeo</b>	<b>F<sub>cr</sub></b>	<b>P<sub>n</sub></b>	<b>ΦP<sub>n</sub></b>
<i>pulg x mm</i>			<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
3" x 2.25	2.91	Elástica	239.81	1254.22	1128.80
3 1/2" x 2.25	2.48	Elástica	329.55	2016.84	1815.16
4 1/2" x 2.50	1.93	Elástica	548.15	4812.80	4331.52
5" x 3.00	1.74	Elástica	674.12	7880.49	7092.44
5 1/2" x 3.40	1.58	Elástica	814.69	11861.94	10675.74
6" x 4.00	1.45	Inelástica	960.65	17916.17	16124.55
6 5/8" x 4.30	1.31	Inelástica	1127.28	24969.14	22472.23
7 5/8" x 4.50	1.14	Inelástica	1348.56	36074.02	32466.62
8 5/8" x 5.50	1.01	Inelástica	1515.82	55948.96	50354.07
9 5/8" x 5.50	0.90	Inelástica	1651.30	68198.60	61378.74
9 5/8" x 7.00	0.91	Inelástica	1644.43	85888.68	77299.81
10 3/4" x 7.00	0.81	Inelástica	1763.87	103221.61	92899.45
10 3/4" x 9.00	0.82	Inelástica	1756.51	131158.67	118042.80
12 3/4" x 9.00	0.68	Inelástica	1907.37	169794.43	152814.98
12 3/4" x 11.00	0.69	Inelástica	1902.75	205706.34	185135.71

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 18 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular (K=1.4) Grado A.

$F_y = 2320 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

<b>Perfil</b>	$\lambda_c$	<b>Pandeo</b>	<b>F<sub>cr</sub></b>	<b>P<sub>n</sub></b>	<b>ΦP<sub>n</sub></b>
<i>pulg x mm</i>			<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
3" x 2.25	3.40	Elástica	176.19	921.47	829.32
3 1/2" x 2.25	2.90	Elástica	242.12	1481.76	1333.59
4 1/2" x 2.50	2.25	Elástica	402.73	3535.93	3182.34
5" x 3.00	2.03	Elástica	495.27	5789.75	5210.77
5 1/2" x 3.40	1.84	Elástica	598.55	8714.89	7843.40
6" x 4.00	1.69	Elástica	709.60	13234.12	11910.71
6 5/8" x 4.30	1.53	Elástica	866.86	19200.84	17280.76
7 5/8" x 4.50	1.33	Inelástica	1108.63	29655.87	26690.28
8 5/8" x 5.50	1.18	Inelástica	1299.87	47978.23	43180.41
9 5/8" x 5.50	1.05	Inelástica	1460.50	60318.82	54286.94
9 5/8" x 7.00	1.06	Inelástica	1452.24	75850.75	68265.68
10 3/4" x 7.00	0.94	Inelástica	1597.67	93495.47	84145.93
10 3/4" x 9.00	0.95	Inelástica	1588.60	118620.94	106758.85
12 3/4" x 9.00	0.80	Inelástica	1777.14	158201.34	142381.21
12 3/4" x 11.00	0.80	Inelástica	1771.28	191493.39	172344.05

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 19 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular (K=1), Grado B.

$F_y = 2955 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

<b>Perfil</b>	$\lambda_c$	<b>Pandeo</b>	<b>Fcr</b>	<b>Pn</b>	<b><math>\Phi P_n</math></b>
<i>pulg x mm</i>			<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
3" x 2.25	2.74	Elástica	345.33	1806.07	1625.46
3 1/2" x 2.25	2.34	Elástica	474.55	2904.26	2613.83
4 1/2" x 2.50	1.81	Elástica	789.34	6930.43	6237.39
5" x 3.00	1.63	Elástica	970.74	11347.91	10213.12
5 1/2" x 3.40	1.49	Inelástica	1172.23	17067.72	15360.95
6" x 4.00	1.37	Inelástica	1354.74	25265.91	22739.32
6 5/8" x 4.30	1.24	Inelástica	1560.62	34567.80	31111.02
7 5/8" x 4.50	1.07	Inelástica	1828.73	48918.54	44026.68
8 5/8" x 5.50	0.95	Inelástica	2027.98	74852.64	67367.37
9 5/8" x 5.50	0.85	Inelástica	2187.50	90343.57	81309.21
9 5/8" x 7.00	0.85	Inelástica	2179.45	113832.60	102449.34
10 3/4" x 7.00	0.76	Inelástica	2318.89	135701.58	122131.42
10 3/4" x 9.00	0.77	Inelástica	2310.33	172512.65	155261.38
12 3/4" x 9.00	0.64	Inelástica	2485.01	221215.15	199093.63
12 3/4" x 11.00	0.65	Inelástica	2479.68	268077.79	241270.01

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 20 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular (K=1.2) Grado B.

$F_y = 2955 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

<b>Perfil</b>	$\lambda_c$	<b>Pandeo</b>	<b>Fcr</b>	<b>Pn</b>	<b><math>\Phi P_n</math></b>
<i>pulg x mm</i>			<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
3" x 2.25	3.29	Elástica	239.81	1254.22	1128.80
3 1/2" x 2.25	2.80	Elástica	329.55	2016.84	1815.16
4 1/2" x 2.50	2.17	Elástica	548.15	4812.80	4331.52
5" x 3.00	1.96	Elástica	674.12	7880.49	7092.44
5 1/2" x 3.40	1.78	Elástica	814.69	11861.94	10675.74
6" x 4.00	1.64	Elástica	965.85	18013.10	16211.79
6 5/8" x 4.30	1.48	Inelástica	1178.43	26102.23	23492.00
7 5/8" x 4.50	1.28	Inelástica	1480.64	39607.19	35646.47
8 5/8" x 5.50	1.14	Inelástica	1718.40	63426.32	57083.69
9 5/8" x 5.50	1.02	Inelástica	1916.37	79145.95	71231.36
9 5/8" x 7.00	1.02	Inelástica	1906.22	99562.06	89605.86
10 3/4" x 7.00	0.91	Inelástica	2084.29	121972.82	109775.54
10 3/4" x 9.00	0.92	Inelástica	2073.22	154807.70	139326.93
12 3/4" x 9.00	0.77	Inelástica	2302.64	204980.98	184482.89
12 3/4" x 11.00	0.78	Inelástica	2295.53	248170.02	223353.02

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 21 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular (K=1.4) Grado B.

$F_y = 2955 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

<b>Perfil</b>	$\lambda c$	<b>Pandeo</b>	<b>Fcr</b>	<b>Pn</b>	$\Phi Pn$
<i>pulg x mm</i>			<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
3" x 2.25	3.84	Elástica	176.19	921.47	829.32
3 1/2" x 2.25	3.27	Elástica	242.12	1481.76	1333.59
4 1/2" x 2.50	2.54	Elástica	402.73	3535.93	3182.34
5" x 3.00	2.29	Elástica	495.27	5789.75	5210.77
5 1/2" x 3.40	2.08	Elástica	598.55	8714.89	7843.40
6" x 4.00	1.91	Elástica	709.60	13234.12	11910.71
6 5/8" x 4.30	1.73	Elástica	866.86	19200.84	17280.76
7 5/8" x 4.50	1.50	Inelástica	1153.66	30860.43	27774.39
8 5/8" x 5.50	1.33	Inelástica	1412.89	52149.78	46934.80
9 5/8" x 5.50	1.19	Inelástica	1638.93	67687.95	60919.15
9 5/8" x 7.00	1.19	Inelástica	1627.14	84985.38	76486.84
10 3/4" x 7.00	1.07	Inelástica	1837.45	107527.39	96774.65
10 3/4" x 9.00	1.07	Inelástica	1824.18	136211.43	122590.28
12 3/4" x 9.00	0.90	Inelástica	2104.29	187324.19	168591.77
12 3/4" x 11.00	0.91	Inelástica	2095.46	226539.96	203885.96

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 22 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular (K=1), Grado C.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

<b>Perfil</b>	$\lambda c$	<b>Pandeo</b>	<b>Fcr</b>	<b>Pn</b>	$\Phi Pn$
<i>pulg x mm</i>			<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
3" x 2.25	2.86	Elástica	345.33	1806.07	1625.46
3 1/2" x 2.25	2.44	Elástica	474.55	2904.26	2613.83
4 1/2" x 2.50	1.89	Elástica	789.34	6930.43	6237.39
5" x 3.00	1.71	Elástica	970.74	11347.91	10213.12
5 1/2" x 3.40	1.55	Elástica	1173.16	17081.19	15373.07
6" x 4.00	1.43	Inelástica	1377.15	25683.82	23115.44
6 5/8" x 4.30	1.29	Inelástica	1607.46	35605.27	32044.74
7 5/8" x 4.50	1.12	Inelástica	1911.61	51135.62	46022.06
8 5/8" x 5.50	0.99	Inelástica	2140.39	79001.79	71101.61
9 5/8" x 5.50	0.89	Inelástica	2325.08	96025.67	86423.10
9 5/8" x 7.00	0.89	Inelástica	2315.73	120950.54	108855.48
10 3/4" x 7.00	0.80	Inelástica	2478.15	145021.57	130519.41
10 3/4" x 9.00	0.80	Inelástica	2468.16	184297.39	165867.65
12 3/4" x 9.00	0.67	Inelástica	2672.83	237935.25	214141.72
12 3/4" x 11.00	0.68	Inelástica	2666.56	288282.31	259454.08

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 23 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular (K=1.2) Grado C.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

<b>Perfil</b>	$\lambda_c$	<b>Pandeo</b>	<b>Fcr</b>	<b>Pn</b>	$\Phi P_n$
<i>pulg x mm</i>			<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
3" x 2.25	3.44	Elástica	239.81	1254.22	1128.80
3 1/2" x 2.25	2.93	Elástica	329.55	2016.84	1815.16
4 1/2" x 2.50	2.27	Elástica	548.15	4812.80	4331.52
5" x 3.00	2.05	Elástica	674.12	7880.49	7092.44
5 1/2" x 3.40	1.86	Elástica	814.69	11861.94	10675.74
6" x 4.00	1.71	Elástica	965.85	18013.10	16211.79
6 5/8" x 4.30	1.55	Elástica	1179.89	26134.48	23521.03
7 5/8" x 4.50	1.34	Inelástica	1517.63	40596.66	36536.99
8 5/8" x 5.50	1.19	Inelástica	1785.91	65918.10	59326.29
9 5/8" x 5.50	1.06	Inelástica	2011.97	83094.18	74784.77
9 5/8" x 7.00	1.07	Inelástica	2000.33	104477.15	94029.44
10 3/4" x 7.00	0.95	Inelástica	2205.44	129062.46	116156.22
10 3/4" x 9.00	0.96	Inelástica	2192.64	163724.70	147352.23
12 3/4" x 9.00	0.81	Inelástica	2459.17	218915.75	197024.17
12 3/4" x 11.00	0.81	Inelástica	2450.88	264964.57	238468.12

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 24 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección circular (K=1.4) Grado C.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

<b>Perfil</b>	$\lambda_c$	<b>Pandeo</b>	<b>Fcr</b>	<b>Pn</b>	$\Phi P_n$
<i>pulg x mm</i>			<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
3" x 2.25	4.01	Elástica	176.19	921.47	829.32
3 1/2" x 2.25	3.42	Elástica	242.12	1481.76	1333.59
4 1/2" x 2.50	2.65	Elástica	402.73	3535.93	3182.34
5" x 3.00	2.39	Elástica	495.27	5789.75	5210.77
5 1/2" x 3.40	2.18	Elástica	598.55	8714.89	7843.40
6" x 4.00	2.00	Elástica	709.60	13234.12	11910.71
6 5/8" x 4.30	1.81	Elástica	866.86	19200.84	17280.76
7 5/8" x 4.50	1.57	Elástica	1153.24	30849.12	27764.21
8 5/8" x 5.50	1.39	Inelástica	1441.89	53220.10	47898.09
9 5/8" x 5.50	1.24	Inelástica	1695.83	70037.83	63034.05
9 5/8" x 7.00	1.25	Inelástica	1682.49	87876.68	79089.01
10 3/4" x 7.00	1.11	Inelástica	1921.57	112450.49	101205.44
10 3/4" x 9.00	1.12	Inelástica	1906.41	142351.77	128116.60
12 3/4" x 9.00	0.94	Inelástica	2228.58	198388.60	178549.74
12 3/4" x 11.00	0.95	Inelástica	2218.36	239826.74	215844.06

(Fuente: Elaboración propia).

✓ Sección Rectangular.

Tabla 4- 25 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular (K=1), con eje de pandeo en torno a X, Grado A.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

<b>Perfil</b>	$\lambda_c$	<b>Pandeo</b>	<b>Fcr</b>	<b>Pn</b>	$\Phi P_n$
<i>mm</i>			<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
80x40x2.25	2.40	Elástica	418.34	2154.46	1939.02
100x40x2.25	1.96	Elástica	622.59	3766.65	3389.98
120x60x2.50	1.58	Elástica	957.82	8333.08	7499.77
140x60x3.00	1.39	Inelástica	1223.26	14140.85	12726.76
160x65x3.40	1.22	Inelástica	1464.20	21582.34	19424.11
180x65x4.00	1.11	Inelástica	1640.78	30879.47	27791.53
200x70x4.30	1.00	Inelástica	1803.75	40259.65	36233.69
220x90x4.50	0.89	Inelástica	1969.64	53022.78	47720.50
260x90x5.50	0.77	Inelástica	2138.39	79184.47	71266.03
300x100x5.50	0.67	Inelástica	2273.62	96697.12	87027.41
300x100x7.00	0.67	Inelástica	2267.42	121579.03	109421.13
320x120x7.00	0.62	Inelástica	2333.85	138210.59	124389.53
320x120x9.00	0.62	Inelástica	2327.26	175149.91	157634.92
350x170x9.00	0.55	Inelástica	2415.71	216592.70	194933.43
350x170x11.00	0.55	Inelástica	2411.18	261661.16	235495.05

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 26 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular ( $K=1.2$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado A.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

Perfil <i>mm</i>	$\lambda_c$	Pandeo	Fcr	Pn	$\Phi P_n$
			<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
80x40x2.25	2.88	Elástica	290.52	1496.15	1346.54
100x40x2.25	2.36	Elástica	432.35	2615.73	2354.15
120x60x2.50	1.90	Elástica	665.16	5786.86	5208.17
140x60x3.00	1.67	Elástica	866.09	10011.99	9010.79
160x65x3.40	1.47	Inelástica	1111.36	16381.46	14743.32
180x65x4.00	1.33	Inelástica	1309.37	24642.33	22178.10
200x70x4.30	1.20	Inelástica	1500.66	33494.78	30145.30
220x90x4.50	1.07	Inelástica	1703.36	45854.58	41269.12
260x90x5.50	0.92	Inelástica	1917.41	71001.54	63901.39
300x100x5.50	0.80	Inelástica	2094.42	89075.71	80168.14
300x100x7.00	0.81	Inelástica	2086.20	111861.97	100675.77
320x120x7.00	0.74	Inelástica	2174.78	128790.30	115911.27
320x120x9.00	0.75	Inelástica	2165.95	163009.08	146708.17
350x170x9.00	0.66	Inelástica	2285.47	204914.84	184423.36
350x170x11.00	0.66	Inelástica	2279.29	247348.91	222614.02

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 27 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular ( $K=1.4$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado A.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

Perfil <i>mm</i>	$\lambda_c$	Pandeo	Fcr	Pn	$\Phi P_n$
			<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
80x40x2.25	3.36	Elástica	213.44	1099.22	989.29
100x40x2.25	2.75	Elástica	317.65	1921.76	1729.58
120x60x2.50	2.22	Elástica	488.69	4251.57	3826.41
140x60x3.00	1.94	Elástica	636.31	7355.75	6620.18
160x65x3.40	1.71	Elástica	818.88	12070.24	10863.22
180x65x4.00	1.55	Elástica	1000.70	18833.24	16949.91
200x70x4.30	1.40	Inelástica	1207.44	26949.97	24254.97
220x90x4.50	1.24	Inelástica	1434.69	38621.93	34759.73
260x90x5.50	1.08	Inelástica	1685.50	62414.05	56172.65
300x100x5.50	0.93	Inelástica	1900.76	80839.28	72755.35
300x100x7.00	0.94	Inelástica	1890.61	101374.50	91237.05
320x120x7.00	0.87	Inelástica	2000.70	118481.56	106633.41
320x120x9.00	0.87	Inelástica	1989.65	149741.19	134767.07
350x170x9.00	0.77	Inelástica	2140.56	191922.80	172730.52
350x170x11.00	0.77	Inelástica	2132.70	231440.33	208296.29

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 28 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular (K=1), con eje de pandeo en torno a X, Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

Perfil <i>mm</i>	$\lambda_c$	Pandeo	Fcr	Pn	$\Phi P_n$
			<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
80x40x2.25	2.60	Elástica	418.34	2154.46	1939.02
100x40x2.25	2.13	Elástica	622.59	3766.65	3389.98
120x60x2.50	1.72	Elástica	957.82	8333.08	7499.77
140x60x3.00	1.51	Elástica	1247.17	14417.27	12975.54
160x65x3.40	1.33	Inelástica	1543.06	22744.76	20470.29
180x65x4.00	1.20	Inelástica	1764.72	33212.07	29890.86
200x70x4.30	1.09	Inelástica	1973.13	44040.33	39636.30
220x90x4.50	0.96	Inelástica	2188.78	58921.87	53029.68
260x90x5.50	0.84	Inelástica	2411.48	89297.27	80367.54
300x100x5.50	0.72	Inelástica	2592.26	110248.91	99224.02
300x100x7.00	0.73	Inelástica	2583.93	138550.25	124695.22
320x120x7.00	0.67	Inelástica	2673.40	158318.87	142486.98
320x120x9.00	0.68	Inelástica	2664.51	200531.14	180478.03
350x170x9.00	0.60	Inelástica	2784.29	249639.14	224675.23
350x170x11.00	0.60	Inelástica	2778.13	301482.62	271334.35

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 29 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular (K=1.2), con eje de pandeo en torno a X, Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

Perfil <i>mm</i>	$\lambda_c$	Pandeo	Fcr	Pn	$\Phi P_n$
			<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
80x40x2.25	3.12	Elástica	290.52	1496.15	1346.54
100x40x2.25	2.56	Elástica	432.35	2615.73	2354.15
120x60x2.50	2.06	Elástica	665.16	5786.86	5208.17
140x60x3.00	1.81	Elástica	866.09	10011.99	9010.79
160x65x3.40	1.59	Elástica	1114.58	16428.94	14786.05
180x65x4.00	1.44	Inelástica	1352.59	25455.66	22910.09
200x70x4.30	1.30	Inelástica	1588.46	35454.41	31908.97
220x90x4.50	1.16	Inelástica	1844.34	49649.64	44684.67
260x90x5.50	1.00	Inelástica	2120.51	78522.52	70670.27
300x100x5.50	0.87	Inelástica	2353.14	100079.22	90071.30
300x100x7.00	0.88	Inelástica	2342.26	125591.89	113032.70
320x120x7.00	0.81	Inelástica	2459.93	145677.29	131109.56
320x120x9.00	0.81	Inelástica	2448.16	184248.71	165823.84
350x170x9.00	0.71	Inelástica	2608.19	233850.18	210465.16
350x170x11.00	0.72	Inelástica	2599.89	282139.74	253925.77

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 30 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular ( $K=1.4$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

Perfil <i>mm</i>	$\lambda_c$	Pandeo	Fcr	Pn	$\Phi P_n$
			<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
80x40x2.25	3.64	Elástica	213.44	1099.22	989.29
100x40x2.25	2.99	Elástica	317.65	1921.76	1729.58
120x60x2.50	2.41	Elástica	488.69	4251.57	3826.41
140x60x3.00	2.11	Elástica	636.31	7355.75	6620.18
160x65x3.40	1.86	Elástica	818.88	12070.24	10863.22
180x65x4.00	1.68	Elástica	1000.70	18833.24	16949.91
200x70x4.30	1.52	Elástica	1227.36	27394.60	24655.14
220x90x4.50	1.35	Inelástica	1506.47	40554.17	36498.75
260x90x5.50	1.17	Inelástica	1821.56	67452.31	60707.08
300x100x5.50	1.01	Inelástica	2098.83	89263.04	80336.73
300x100x7.00	1.02	Inelástica	2085.62	111830.99	100647.89
320x120x7.00	0.94	Inelástica	2229.52	132032.23	118829.00
320x120x9.00	0.95	Inelástica	2215.01	166701.81	150031.63
350x170x9.00	0.83	Inelástica	2414.38	216472.96	194825.66
350x170x11.00	0.84	Inelástica	2403.92	260873.67	234786.30

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 31 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular ( $K=1$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil <i>mm</i>	$\lambda_c$	Pandeo	Fcr	Pn	$\Phi P_n$
			<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
80x40x2.25	2.71	Elástica	418.34	2154.46	1939.02
100x40x2.25	2.23	Elástica	622.59	3766.65	3389.98
120x60x2.50	1.79	Elástica	957.82	8333.08	7499.77
140x60x3.00	1.57	Elástica	1247.17	14417.27	12975.54
160x65x3.40	1.39	Inelástica	1573.26	23189.78	20870.80
180x65x4.00	1.25	Inelástica	1820.69	34265.31	30838.78
200x70x4.30	1.13	Inelástica	2055.86	45886.72	41298.04
220x90x4.50	1.01	Inelástica	2301.51	61956.59	55760.93
260x90x5.50	0.87	Inelástica	2557.46	94702.69	85232.42
300x100x5.50	0.76	Inelástica	2766.77	117670.76	105903.69
300x100x7.00	0.76	Inelástica	2757.09	147835.31	133051.78
320x120x7.00	0.70	Inelástica	2861.14	169436.90	152493.21
320x120x9.00	0.71	Inelástica	2850.79	214550.48	193095.43
350x170x9.00	0.62	Inelástica	2990.52	268129.95	241316.95
350x170x11.00	0.63	Inelástica	2983.32	323750.23	291375.20

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 32 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular (K=1.2), con eje de pandeo en torno a X, Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil <i>mm</i>	$\lambda_c$	Pandeo	Fcr	Pn	$\Phi Pn$
			<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
80x40x2.25	3.26	Elástica	290.52	1496.15	1346.54
100x40x2.25	2.67	Elástica	432.35	2615.73	2354.15
120x60x2.50	2.15	Elástica	665.16	5786.86	5208.17
140x60x3.00	1.89	Elástica	866.09	10011.99	9010.79
160x65x3.40	1.66	Elástica	1114.58	16428.94	14786.05
180x65x4.00	1.50	Elástica	1362.07	25634.13	23070.71
200x70x4.30	1.36	Inelástica	1623.69	36240.71	32616.64
220x90x4.50	1.21	Inelástica	1910.25	51423.99	46281.60
260x90x5.50	1.05	Inelástica	2223.50	82336.23	74102.61
300x100x5.50	0.91	Inelástica	2490.20	105908.21	95317.39
300x100x7.00	0.91	Inelástica	2477.67	132852.46	119567.22
320x120x7.00	0.84	Inelástica	2613.42	154766.96	139290.27
320x120x9.00	0.85	Inelástica	2599.82	195662.26	176096.03
350x170x9.00	0.75	Inelástica	2785.27	249727.68	224754.91
350x170x11.00	0.75	Inelástica	2775.63	301211.16	271090.05

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 33 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección rectangular (K=1.4), con eje de pandeo en torno a X, Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil <i>mm</i>	$\lambda_c$	Pandeo	Fcr	Pn	$\Phi Pn$
			<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
80x40x2.25	3.80	Elástica	213.44	1099.22	989.29
100x40x2.25	3.12	Elástica	317.65	1921.76	1729.58
120x60x2.50	2.51	Elástica	488.69	4251.57	3826.41
140x60x3.00	2.20	Elástica	636.31	7355.75	6620.18
160x65x3.40	1.94	Elástica	818.88	12070.24	10863.22
180x65x4.00	1.76	Elástica	1000.70	18833.24	16949.91
200x70x4.30	1.58	Elástica	1227.36	27394.60	24655.14
220x90x4.50	1.41	Inelástica	1532.70	41260.18	37134.16
260x90x5.50	1.22	Inelástica	1884.59	69786.32	62807.69
300x100x5.50	1.06	Inelástica	2198.77	93513.54	84162.19
300x100x7.00	1.07	Inelástica	2183.72	117090.90	105381.81
320x120x7.00	0.98	Inelástica	2348.17	139058.54	125152.69
320x120x9.00	0.99	Inelástica	2331.54	175472.01	157924.80
350x170x9.00	0.87	Inelástica	2560.80	229600.98	206640.88
350x170x11.00	0.88	Inelástica	2548.73	276588.45	248929.61

(Fuente: Elaboración propia).

✓ Sección Cuadrada.

Tabla 4- 34 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada (K=1), con eje de pandeo en torno a X, Grado A.

*Fy= 2740 kg/cm2 Grado A*

<b>Perfil</b>	$\lambda_c$	<b>Pandeo</b>	<b>Fcr</b>	<b>Pn</b>	$\Phi Pn$
<i>mm</i>			<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
60x60x2.25	2.93	Elástica	280.01	1442.03	1297.83
70x70x2.25	2.50	Elástica	385.40	2331.69	2098.52
90x90x2.50	1.93	Elástica	642.40	5588.88	5029.99
100x100x3.00	1.74	Elástica	789.82	9130.33	8217.30
110x110x3.40	1.59	Elástica	953.48	13730.09	12357.08
120x120x4.00	1.46	Inelástica	1124.37	20710.92	18639.83
135x135x4.30	1.29	Inelástica	1358.46	30320.89	27288.80
155x155x4.50	1.12	Inelástica	1614.15	43453.05	39107.74
175x175x5.50	1.00	Inelástica	1805.40	66853.98	60168.58
200x200x5.50	0.87	Inelástica	1996.16	84896.61	76406.95
200x200x7.00	0.88	Inelástica	1985.96	106487.13	95838.42
220x220x7.00	0.79	Inelástica	2103.84	124589.52	112130.57
220x220x9.00	0.80	Inelástica	2092.99	157518.33	141766.50
260x260x9.00	0.67	Inelástica	2265.24	203101.20	182791.08
260x260x11.00	0.68	Inelástica	2258.07	245045.59	220541.03

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 35 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada ( $K=1.2$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado A.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

Perfil <i>mm</i>	$\lambda_c$	Pandeo	Fcr	Pn	$\Phi P_n$
			<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
60x60x2.25	3.52	Elástica	194.45	1001.41	901.27
70x70x2.25	3.00	Elástica	267.64	1619.23	1457.30
90x90x2.50	2.32	Elástica	446.11	3881.16	3493.05
100x100x3.00	2.09	Elástica	548.49	6340.51	5706.46
110x110x3.40	1.91	Elástica	662.14	9534.78	8581.30
120x120x4.00	1.75	Elástica	784.13	14443.65	12999.29
135x135x4.30	1.55	Elástica	995.50	22219.66	19997.69
155x155x4.50	1.35	Inelástica	1278.88	34427.53	30984.78
175x175x5.50	1.20	Inelástica	1502.64	55642.85	50078.57
200x200x5.50	1.04	Inelástica	1736.48	73852.62	66467.36
200x200x7.00	1.05	Inelástica	1723.72	92425.93	83183.34
220x220x7.00	0.95	Inelástica	1872.96	110916.72	99825.05
220x220x9.00	0.96	Inelástica	1859.06	139913.07	125921.76
260x260x9.00	0.81	Inelástica	2083.31	186789.42	168110.48
260x260x11.00	0.82	Inelástica	2073.82	225051.01	202545.91

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 36 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada ( $K=1.4$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado A.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

Perfil <i>mm</i>	$\lambda_c$	Pandeo	Fcr	Pn	$\Phi P_n$
			<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
60x60x2.25	4.10	Elástica	142.86	735.73	662.16
70x70x2.25	3.50	Elástica	196.63	1189.64	1070.67
90x90x2.50	2.71	Elástica	327.75	2851.47	2566.32
100x100x3.00	2.44	Elástica	402.97	4658.33	4192.50
110x110x3.40	2.22	Elástica	486.47	7005.15	6304.63
120x120x4.00	2.04	Elástica	576.09	10611.66	9550.50
135x135x4.30	1.81	Elástica	731.39	16324.65	14692.18
155x155x4.50	1.57	Elástica	969.76	26106.04	23495.43
175x175x5.50	1.40	Inelástica	1209.61	44791.68	40312.51
200x200x5.50	1.22	Inelástica	1472.79	62637.87	56374.09
200x200x7.00	1.23	Inelástica	1458.08	78182.24	70364.01
220x220x7.00	1.11	Inelástica	1632.54	96679.31	87011.38
220x220x9.00	1.12	Inelástica	1616.08	121626.09	109463.48
260x260x9.00	0.94	Inelástica	1887.05	169192.51	152273.26
260x260x11.00	0.95	Inelástica	1875.36	203513.84	183162.46

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 37 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada (K=1), con eje de pandeo en torno a X, Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

Perfil <i>mm</i>	$\lambda_c$	Pandeo	Fcr	Pn	$\Phi P_n$
			<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
60x60x2.25	3.18	Elástica	280.01	1442.03	1297.83
70x70x2.25	2.71	Elástica	385.40	2331.69	2098.52
90x90x2.50	2.10	Elástica	642.40	5588.88	5029.99
100x100x3.00	1.89	Elástica	789.82	9130.33	8217.30
110x110x3.40	1.72	Elástica	953.48	13730.09	12357.08
120x120x4.00	1.58	Elástica	1129.15	20798.86	18718.97
135x135x4.30	1.41	Inelástica	1412.57	31528.49	28375.64
155x155x4.50	1.22	Inelástica	1731.01	46598.89	41939.00
175x175x5.50	1.08	Inelástica	1975.26	73144.04	65829.64
200x200x5.50	0.94	Inelástica	2223.55	94567.73	85110.96
200x200x7.00	0.95	Inelástica	2210.17	118509.15	106658.24
220x220x7.00	0.86	Inelástica	2365.63	140092.45	126083.21
220x220x9.00	0.87	Inelástica	2351.25	176954.91	159259.42
260x260x9.00	0.73	Inelástica	2581.00	231412.24	208271.01
260x260x11.00	0.74	Inelástica	2571.37	279045.19	251140.67

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 38 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada (K=1.2), con eje de pandeo en torno a X, Grado B.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil <i>mm</i>	$\lambda_c$	Pandeo	Fcr	Pn	$\Phi P_n$
			<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
60x60x2.25	3.98	Elástica	194.45	1001.41	901.27
70x70x2.25	3.39	Elástica	267.64	1619.23	1457.30
90x90x2.50	2.63	Elástica	446.11	3881.16	3493.05
100x100x3.00	2.37	Elástica	548.49	6340.51	5706.46
110x110x3.40	2.16	Elástica	662.14	9534.78	8581.30
120x120x4.00	1.98	Elástica	784.13	14443.65	12999.29
135x135x4.30	1.76	Elástica	995.50	22219.66	19997.69
155x155x4.50	1.53	Elástica	1319.96	35533.22	31979.90
175x175x5.50	1.36	Inelástica	1626.44	60226.95	54204.26
200x200x5.50	1.18	Inelástica	1958.03	83274.95	74947.45
200x200x7.00	1.19	Inelástica	1939.59	104000.68	93600.62
220x220x7.00	1.08	Inelástica	2157.60	127773.07	114995.76
220x220x9.00	1.09	Inelástica	2137.08	160836.89	144753.20
260x260x9.00	0.92	Inelástica	2473.26	221752.81	199577.53
260x260x11.00	0.92	Inelástica	2458.82	266831.50	240148.35

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 39 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada ( $K=1.4$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

Perfil	$\lambda_c$	Pandeo	Fcr	Pn	$\Phi P_n$
mm			$\text{Kg/cm}^2$	Kg	Kg
60x60x2.25	4.45	Elástica	142.86	735.73	662.16
70x70x2.25	3.80	Elástica	196.63	1189.64	1070.67
90x90x2.50	2.94	Elástica	327.75	2851.47	2566.32
100x100x3.00	2.65	Elástica	402.97	4658.33	4192.50
110x110x3.40	2.41	Elástica	486.47	7005.15	6304.63
120x120x4.00	2.22	Elástica	576.09	10611.66	9550.50
135x135x4.30	1.97	Elástica	731.39	16324.65	14692.18
155x155x4.50	1.71	Elástica	969.76	26106.04	23495.43
175x175x5.50	1.52	Elástica	1230.05	45548.78	40993.90
200x200x5.50	1.32	Inelástica	1553.74	66080.64	59472.57
200x200x7.00	1.33	Inelástica	1535.46	82331.41	74098.27
220x220x7.00	1.21	Inelástica	1754.29	103888.81	93499.93
220x220x9.00	1.22	Inelástica	1733.45	130459.18	117413.27
260x260x9.00	1.02	Inelástica	2080.99	186581.24	167923.12
260x260x11.00	1.03	Inelástica	2065.80	224180.73	201762.66

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 40 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada ( $K=1$ ), con eje de pandeo en torno a X, Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil	$\lambda_c$	Pandeo	Fcr	Pn	$\Phi P_n$
mm			$\text{Kg/cm}^2$	Kg	Kg
60x60x2.25	3.32	Elástica	280.01	1442.03	1297.83
70x70x2.25	2.83	Elástica	385.40	2331.69	2098.52
90x90x2.50	2.19	Elástica	642.40	5588.88	5029.99
100x100x3.00	1.98	Elástica	789.82	9130.33	8217.30
110x110x3.40	1.80	Elástica	953.48	13730.09	12357.08
120x120x4.00	1.65	Elástica	1129.15	20798.86	18718.97
135x135x4.30	1.47	Inelástica	1429.02	31895.72	28706.15
155x155x4.50	1.27	Inelástica	1782.87	47994.92	43195.43
175x175x5.50	1.13	Inelástica	2058.27	76217.85	68596.07
200x200x5.50	0.99	Inelástica	2341.33	99576.76	89619.08
200x200x7.00	0.99	Inelástica	2325.99	124719.83	112247.85
220x220x7.00	0.90	Inelástica	2504.58	148321.18	133489.06
220x220x9.00	0.91	Inelástica	2488.02	187248.10	168523.29
260x260x9.00	0.76	Inelástica	2753.69	246895.80	222206.22
260x260x11.00	0.77	Inelástica	2742.51	297617.67	267855.91

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 41 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada (K=1.2), con eje de pandeo en torno a X, Grado C.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

Perfil	$\lambda_c$	Pandeo	Fcr	Pn	$\Phi P_n$
mm			Kg/cm <sup>2</sup>	Kg	Kg
60x60x2.25	3.82	Elástica	194.45	1001.41	901.27
70x70x2.25	3.25	Elástica	267.64	1619.23	1457.30
90x90x2.50	2.52	Elástica	446.11	3881.16	3493.05
100x100x3.00	2.27	Elástica	548.49	6340.51	5706.46
110x110x3.40	2.07	Elástica	662.14	9534.78	8581.30
120x120x4.00	1.90	Elástica	784.13	14443.65	12999.29
135x135x4.30	1.69	Elástica	995.50	22219.66	19997.69
155x155x4.50	1.46	Inelástica	1315.54	35414.31	31872.88
175x175x5.50	1.30	Inelástica	1590.93	58912.16	53020.94
200x200x5.50	1.13	Inelástica	1886.69	80240.71	72216.64
200x200x7.00	1.14	Inelástica	1870.35	100288.20	90259.38
220x220x7.00	1.04	Inelástica	2062.69	122152.40	109937.16
220x220x9.00	1.05	Inelástica	2044.66	153880.93	138492.84
260x260x9.00	0.88	Inelástica	2338.43	209663.94	188697.55
260x260x11.00	0.89	Inelástica	2325.88	252404.98	227164.48

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 42 Resistencia a la compresión, para perfil tubular de sección cuadrada (K=1.4), con eje de pandeo en torno a X, Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil	$\lambda_c$	Pandeo	Fcr	Pn	$\Phi P_n$
mm			Kg/cm <sup>2</sup>	Kg	Kg
60x60x2.25	4.65	Elástica	142.86	735.73	662.16
70x70x2.25	3.96	Elástica	196.63	1189.64	1070.67
90x90x2.50	3.07	Elástica	327.75	2851.47	2566.32
100x100x3.00	2.77	Elástica	402.97	4658.33	4192.50
110x110x3.40	2.52	Elástica	486.47	7005.15	6304.63
120x120x4.00	2.31	Elástica	576.09	10611.66	9550.50
135x135x4.30	2.05	Elástica	731.39	16324.65	14692.18
155x155x4.50	1.78	Elástica	969.76	26106.04	23495.43
175x175x5.50	1.58	Elástica	1230.05	45548.78	40993.90
200x200x5.50	1.38	Inelástica	1585.11	67414.57	60673.11
200x200x7.00	1.39	Inelástica	1564.82	83905.72	75515.14
220x220x7.00	1.26	Inelástica	1808.97	107127.32	96414.59
220x220x9.00	1.27	Inelástica	1785.60	134384.19	120945.77
260x260x9.00	1.07	Inelástica	2178.44	195318.66	175786.79
260x260x11.00	1.08	Inelástica	2161.14	234527.29	211074.56

(Fuente: Elaboración propia).

## 5.2. Diseño a tracción

El capítulo 3 de la norma AISC 2000 *Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Sections*, aplica a miembros de sección tubular. Para satisfacer el requisito de resistencia por tracción, se debe cumplir que:

$$P_u \leq \phi_c * P_n \quad (4-42)$$

$$P_n = A * F_y \quad (4-43)$$

Tabla 4- 43 Resistencia a la tracción para perfil tubular de sección circular Grado A.

$F_y = 2320 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

Perfil	Cedencia	
	Pn	$\Phi P_n$
<i>pulg x mm</i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
3" x 2.25	12133.60	10920.24
3 1/2" x 2.25	14198.40	12778.56
4 1/2" x 2.50	20369.60	18332.64
5" x 3.00	27120.80	24408.72
5 1/2" x 3.40	33779.20	30401.28
6" x 4.00	43268.00	38941.20
6 5/8" x 4.30	51388.00	46249.20
7 5/8" x 4.50	62060.00	55854.00
8 5/8" x 5.50	85631.20	77068.08
9 5/8" x 5.50	95816.00	86234.40
9 5/8" x 7.00	121173.60	109056.24
10 3/4" x 7.00	135766.40	122189.76
10 3/4" x 9.00	173234.40	155910.96
12 3/4" x 9.00	206526.40	185873.76
12 3/4" x 11.00	250815.20	225733.68

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 4- 44 Resistencia a la tracción para perfil tubular de sección circular Grado B.

*Fy= 2955 kg/cm2 Grado B*

Perfil	Cedencia	
	Pn	ΦPn
<i>pulg x mm</i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
3" x 2.25	15454.65	13909.19
3 1/2" x 2.25	18084.60	16276.14
4 1/2" x 2.50	25944.90	23350.41
5" x 3.00	34543.95	31089.56
5 1/2" x 3.40	43024.80	38722.32
6" x 4.00	55110.75	49599.68
6 5/8" x 4.30	65453.25	58907.93
7 5/8" x 4.50	79046.25	71141.63
8 5/8" x 5.50	109069.05	98162.15
9 5/8" x 5.50	122041.50	109837.35
9 5/8" x 7.00	154339.65	138905.69
10 3/4" x 7.00	172926.60	155633.94
10 3/4" x 9.00	220649.85	198584.87
12 3/4" x 9.00	263054.10	236748.69
12 3/4" x 11.00	319465.05	287518.55

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 45 Resistencia al corte para perfil tubular de sección circular Grado C.

*Fy= 3230 kg/cm2 Grado C*

Perfil	Cedencia	
	Pn	ΦPn
<i>pulg x mm</i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
3" x 2.25	16892.90	15203.61
3 1/2" x 2.25	19767.60	17790.84
4 1/2" x 2.50	28359.40	25523.46
5" x 3.00	37758.70	33982.83
5 1/2" x 3.40	47028.80	42325.92
6" x 4.00	60239.50	54215.55
6 5/8" x 4.30	71544.50	64390.05
7 5/8" x 4.50	86402.50	77762.25
8 5/8" x 5.50	119219.30	107297.37
9 5/8" x 5.50	133399.00	120059.10
9 5/8" x 7.00	168702.90	151832.61
10 3/4" x 7.00	189019.60	170117.64
10 3/4" x 9.00	241184.10	217065.69
12 3/4" x 9.00	287534.60	258781.14
12 3/4" x 11.00	349195.30	314275.77

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 46 Resistencia a la tracción para perfil tubular de sección rectangular Grado A.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

Perfil	Cedencia	
	Pn	$\Phi$ Pn
mm	Kg	Kg
80x40x2.25	14111.00	12699.90
100x40x2.25	16577.00	14919.30
120x60x2.50	23838.00	21454.20
140x60x3.00	31674.40	28506.96
160x65x3.40	40387.60	36348.84
180x65x4.00	51566.80	46410.12
200x70x4.30	61156.80	55041.12
220x90x4.50	73760.80	66384.72
260x90x5.50	101462.20	91315.98
300x100x5.50	116532.20	104878.98
300x100x7.00	146918.80	132226.92
320x120x7.00	162262.80	146036.52
320x120x9.00	206212.40	185591.16
350x170x9.00	245668.40	221101.56
350x170x11.00	297344.80	267610.32

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 47 Resistencia a la tracción para perfil tubular de sección rectangular Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

Perfil	Cedencia	
	Pn	$\Phi$ Pn
mm	Kg	Kg
80x40x2.25	16634.50	14971.05
100x40x2.25	19541.50	17587.35
120x60x2.50	28101.00	25290.90
140x60x3.00	37338.80	33604.92
160x65x3.40	47610.20	42849.18
180x65x4.00	60788.60	54709.74
200x70x4.30	72093.60	64884.24
220x90x4.50	86951.60	78256.44
260x90x5.50	119606.90	107646.21
300x100x5.50	137371.90	123634.71
300x100x7.00	173192.60	155873.34
320x120x7.00	191280.60	172152.54
320x120x9.00	243089.80	218780.82
350x170x9.00	289601.80	260641.62
350x170x11.00	350519.60	315467.64

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 48 Resistencia a la tracción para perfil tubular de sección rectangular Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil	Cedencia	
	Pn	$\Phi$ Pn
mm	Kg	Kg
80x40x2.25	18102.25	16292.03
100x40x2.25	21265.75	19139.18
120x60x2.50	30580.50	27522.45
140x60x3.00	40633.40	36570.06
160x65x3.40	51811.10	46629.99
180x65x4.00	66152.30	59537.07
200x70x4.30	78454.80	70609.32
220x90x4.50	94623.80	85161.42
260x90x5.50	130160.45	117144.41
300x100x5.50	149492.95	134543.66
300x100x7.00	188474.30	169626.87
320x120x7.00	208158.30	187342.47
320x120x9.00	264538.90	238085.01
350x170x9.00	315154.90	283639.41
350x170x11.00	381447.80	343303.02

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 49 Resistencia a la tracción para perfil tubular de sección cuadrada Grado A.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

Perfil	Cedencia	
	Pn	$\Phi$ Pn
mm	Kg	Kg
60x60x2.25	14111.00	12699.90
70x70x2.25	16577.00	14919.30
90x90x2.50	23838.00	21454.20
100x100x3.00	31674.40	28506.96
110x110x3.40	39456.00	35510.40
120x120x4.00	50470.80	45423.72
135x135x4.30	61156.80	55041.12
155x155x4.50	73760.80	66384.72
175x175x5.50	101462.20	91315.98
200x200x5.50	116532.20	104878.98
200x200x7.00	146918.80	132226.92
220x220x7.00	162262.80	146036.52
220x220x9.00	206212.40	185591.16
260x260x9.00	245668.40	221101.56
260x260x11.00	297344.80	267610.32

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 50 Resistencia a la tracción para perfil tubular de sección cuadrada Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

Perfil	Cedencia	
	Pn	$\Phi$ Pn
mm	Kg	Kg
60x60x2.25	16634.50	14971.05
70x70x2.25	19541.50	17587.35
90x90x2.50	28101.00	25290.90
100x100x3.00	37338.80	33604.92
110x110x3.40	46512.00	41860.80
120x120x4.00	59496.60	53546.94
135x135x4.30	72093.60	64884.24
155x155x4.50	86951.60	78256.44
175x175x5.50	119606.90	107646.21
200x200x5.50	137371.90	123634.71
200x200x7.00	173192.60	155873.34
220x220x7.00	191280.60	172152.54
220x220x9.00	243089.80	218780.82
260x260x9.00	289601.80	260641.62
260x260x11.00	350519.60	315467.64

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 51 Resistencia a la tracción para perfil tubular de sección cuadrada Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil	Cedencia	
	Pn	$\Phi$ Pn
mm	Kg	Kg
60x60x2.25	18102.25	16292.03
70x70x2.25	21265.75	19139.18
90x90x2.50	30580.50	27522.45
100x100x3.00	40633.40	36570.06
110x110x3.40	50616.00	45554.40
120x120x4.00	64746.30	58271.67
135x135x4.30	78454.80	70609.32
155x155x4.50	94623.80	85161.42
175x175x5.50	130160.45	117144.41
200x200x5.50	149492.95	134543.66
200x200x7.00	188474.30	169626.87
220x220x7.00	208158.30	187342.47
220x220x9.00	264538.90	238085.01
260x260x9.00	315154.90	283639.41
260x260x11.00	381447.80	343303.02

(Fuente: Elaboración propia).

### 5.3. Diseño por corte

#### 5.3.1. Perfiles Tubulares Circulares

La sección G6 de la norma ANSI/AISC 360-10, aplica a miembros de sección tubular circular. Para satisfacer el requisito de resistencia por corte, se debe cumplir que:

$$Vu \leq \phi v * Vn \quad (4-44)$$

La resistencia nominal a corte viene dada por la resistencia de las almas de la sección, el estado límite de fluencia en corte y pandeo en corte:

$$Vn = \frac{Fcr * Ag}{2} \quad (4-45)$$

Donde:

Fcr: El mayor de las siguientes condiciones. El valor máximo tomado de Fcr no excederá el valor de 0.6 Fy.

$$Fcr = \frac{1.60 E}{\sqrt{\frac{Lv}{D} \left(\frac{D}{t}\right)^{5/4}}}; \frac{0.78 E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{3/2}} \quad (4-46)$$

Tabla 4- 52 Resistencia al corte para perfil tubular de sección circular Grado A.

$F_y = 2320 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

Perfil	Fcr(1)	0.6Fy(2)	Fcr	Vn	$\Phi Vn$
pulg x mm	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg	Kg
3" x 2.25	8311.04	1392.00	1392.00	3640.08	3276.07
3 1/2" x 2.25	6595.31	1392.00	1392.00	4259.52	3833.57
4 1/2" x 2.50	5298.52	1392.00	1392.00	6110.88	5499.79
5" x 3.00	5946.89	1392.00	1392.00	8136.24	7322.62
5 1/2" x 3.40	6219.24	1392.00	1392.00	10133.76	9120.38
6" x 4.00	6965.09	1392.00	1392.00	12980.40	11682.36
6 5/8" x 4.30	6689.45	1392.00	1392.00	15416.40	13874.76
7 5/8" x 4.50	5800.14	1392.00	1392.00	18618.00	16756.20
8 5/8" x 5.50	6514.70	1392.00	1392.00	25689.36	23120.42
9 5/8" x 5.50	5526.37	1392.00	1392.00	28744.80	25870.32
9 5/8" x 7.00	7934.92	1392.00	1392.00	36352.08	32716.87
10 3/4" x 7.00	6721.69	1392.00	1392.00	40729.92	36656.93
10 3/4" x 9.00	9799.30	1392.00	1392.00	51970.32	46773.29
12 3/4" x 9.00	7588.60	1392.00	1392.00	61957.92	55762.13
12 3/4" x 11.00	10253.85	1392.00	1392.00	75244.56	67720.10

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 4- 53 Resistencia al corte para perfil tubular de sección circular Grado B.

$F_y = 2955 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

Perfil	Fcr(1)	0.6Fy(2)	Fcr	Vn	$\Phi Vn$
pulg x mm	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg	Kg
3" x 2.25	8311.04	1773.00	1773.00	4636.40	4172.76
3 1/2" x 2.25	6595.31	1773.00	1773.00	5425.38	4882.84
4 1/2" x 2.50	5298.52	1773.00	1773.00	7783.47	7005.12
5" x 3.00	5946.89	1773.00	1773.00	10363.19	9326.87
5 1/2" x 3.40	6219.24	1773.00	1773.00	12907.44	11616.70
6" x 4.00	6965.09	1773.00	1773.00	16533.23	14879.90
6 5/8" x 4.30	6689.45	1773.00	1773.00	19635.98	17672.38
7 5/8" x 4.50	5800.14	1773.00	1773.00	23713.88	21342.49
8 5/8" x 5.50	6514.70	1773.00	1773.00	32720.72	29448.64
9 5/8" x 5.50	5526.37	1773.00	1773.00	36612.45	32951.21
9 5/8" x 7.00	7934.92	1773.00	1773.00	46301.90	41671.71
10 3/4" x 7.00	6721.69	1773.00	1773.00	51877.98	46690.18
10 3/4" x 9.00	9799.30	1773.00	1773.00	66194.96	59575.46
12 3/4" x 9.00	7588.60	1773.00	1773.00	78916.23	71024.61
12 3/4" x 11.00	10253.85	1773.00	1773.00	95839.52	86255.56

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 54 Resistencia al corte para perfil tubular de sección circular Grado C.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil	Fcr(1)	0.6Fy(2)	Fcr	Vn	$\Phi V_n$
<i>pulg x mm</i>	<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
3" x 2.25	8311.04	1938.00	1938.00	5067.87	4561.08
3 1/2" x 2.25	6595.31	1938.00	1938.00	5930.28	5337.25
4 1/2" x 2.50	5298.52	1938.00	1938.00	8507.82	7657.04
5" x 3.00	5946.89	1938.00	1938.00	11327.61	10194.85
5 1/2" x 3.40	6219.24	1938.00	1938.00	14108.64	12697.78
6" x 4.00	6965.09	1938.00	1938.00	18071.85	16264.67
6 5/8" x 4.30	6689.45	1938.00	1938.00	21463.35	19317.02
7 5/8" x 4.50	5800.14	1938.00	1938.00	25920.75	23328.68
8 5/8" x 5.50	6514.70	1938.00	1938.00	35765.79	32189.21
9 5/8" x 5.50	5526.37	1938.00	1938.00	40019.70	36017.73
9 5/8" x 7.00	7934.92	1938.00	1938.00	50610.87	45549.78
10 3/4" x 7.00	6721.69	1938.00	1938.00	56705.88	51035.29
10 3/4" x 9.00	9799.30	1938.00	1938.00	72355.23	65119.71
12 3/4" x 9.00	7588.60	1938.00	1938.00	86260.38	77634.34
12 3/4" x 11.00	10253.85	1938.00	1938.00	104758.59	94282.73

(Fuente: Elaboración propia)

### 5.3.2. Perfiles Tubulares Rectangulares y Cuadrados

La sección G5 de la norma ANSI/AISC 360-10, hace mención a que la capacidad a corte de los perfiles tubulares de sección cuadrada y rectangular debe ser determinada según lo dispuestos en la sección G2.1. Para satisfacer el requisito de resistencia por corte, se debe cumplir que:

$$V_u \leq \phi_v * V_n \tag{4-47}$$

La capacidad a corte bajo condición plástica, es determinada de acuerdo a los siguientes estados límites:

- Fluencia en corte.
- Pandeo en corte.

La resistencia nominal a corte viene dada por la resistencia de las almas de la sección, el estado límite de fluencia en corte y pandeo en corte:

$$V_n = 0.6 * F_y * A_w * C_v \quad (4-48)$$

$$A_w = 2 * h * t \quad (4-49)$$

$t$ : Espesor de la pared, igual 0.93 veces el espesor nominal de la pared para tubulares soldados por resistencia eléctrica (ERW), o espesor nominal para tubulares soldados mediante arco-sumergido (SAW).

$$C_v = 1.0$$

$$\frac{h}{t} \leq 1.10 \sqrt{\frac{K_v * E}{F_y}} \quad (4-50)$$

$$C_v = \frac{1.10 * \sqrt{\frac{K_v * E}{F_y}}}{h/t} \quad (4-51)$$

$$1.10 \sqrt{\frac{K_v * E}{F_y}} < \frac{h}{t} < 1.37 \sqrt{\frac{K_v * E}{F_y}} \quad (4-52)$$

$$C_v = \frac{1.51 * K_v * E}{(h/t)^2 * F_y} \quad (4-53)$$

$$\frac{h}{t} > 1.37 \sqrt{\frac{K_v * E}{F_y}} \quad (4-54)$$

$K_v$ : 5.0 Para perfiles tubulares cuadrado/rectangulares.

✓ Sección Rectangular.

Tabla 4- 55 Resistencia al corte para perfil tubular de sección rectangular Grado A.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

<b>Perfil</b>	<b>Aalma</b>	<b>Kv</b>	<b>Cv</b>	<b>Vn</b>	<b>ØVn</b>
<i>mm</i>	<i>cm<sup>2</sup></i>			<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
80x40x2.25	2.59	5.00	1.00	4265.69	3839.12
100x40x2.25	3.43	5.00	1.00	5641.71	5077.54
120x60x2.50	4.65	5.00	1.00	7644.60	6880.14
140x60x3.00	6.47	5.00	1.00	10641.28	9577.15
160x65x3.40	8.40	5.00	1.00	13806.76	12426.08
180x65x4.00	11.01	5.00	1.00	18102.41	16292.17
200x70x4.30	13.24	5.00	1.00	21774.27	19596.84
220x90x4.50	15.40	5.00	1.00	25318.92	22787.02
260x90x5.50	22.10	5.00	1.00	36327.14	32694.43
300x100x5.50	26.19	5.00	1.00	43054.39	38748.95
300x100x7.00	31.77	5.00	1.00	52227.91	47005.12
320x120x7.00	34.37	5.00	1.00	56508.88	50857.99
320x120x9.00	41.52	5.00	1.00	68250.99	61425.89
350x170x9.00	46.54	5.00	1.00	76507.16	68856.44
350x170x11.00	53.61	5.00	1.00	88126.95	79314.25

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 56 Resistencia al corte para perfil tubular de sección rectangular Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

<b>Perfil</b>	<b>Aalma</b>	<b>Kv</b>	<b>Cv</b>	<b>Vn</b>	<b>ΦVn</b>
<i>mm</i>	<i>cm<sup>2</sup></i>			<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
80x40x2.25	2.59	5.00	1.00	5028.53	4525.68
100x40x2.25	3.43	5.00	1.00	6650.63	5985.57
120x60x2.50	4.65	5.00	1.00	9011.70	8110.53
140x60x3.00	6.47	5.00	1.00	12544.29	11289.86
160x65x3.40	8.40	5.00	1.00	16275.85	14648.27
180x65x4.00	11.01	5.00	1.00	21339.71	19205.74
200x70x4.30	13.24	5.00	1.00	25668.21	23101.38
220x90x4.50	15.40	5.00	1.00	29846.75	26862.08
260x90x5.50	22.10	5.00	1.00	42823.60	38541.24
300x100x5.50	26.19	5.00	1.00	50753.89	45678.50
300x100x7.00	31.77	5.00	1.00	61567.93	55411.14
320x120x7.00	34.37	5.00	1.00	66614.49	59953.04
320x120x9.00	41.52	5.00	1.00	80456.46	72410.81
350x170x9.00	46.54	5.00	1.00	90189.09	81170.18
350x170x11.00	53.61	5.00	1.00	103886.88	93498.19

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 57 Resistencia al corte para perfil tubular de sección rectangular Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

<b>Perfil</b>	<b>Aalma</b>	<b>Kv</b>	<b>Cv</b>	<b>Vn</b>	<b>ΦVn</b>
<i>mm</i>	<i>cm<sup>2</sup></i>			<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
80x40x2.25	2.59	5.00	1.00	5472.22	4925.00
100x40x2.25	3.43	5.00	1.00	7237.46	6513.71
120x60x2.50	4.65	5.00	1.00	9806.85	8826.17
140x60x3.00	6.47	5.00	1.00	13651.14	12286.02
160x65x3.40	8.40	5.00	1.00	17711.96	15940.76
180x65x4.00	11.01	5.00	1.00	23222.62	20900.36
200x70x4.30	13.24	5.00	1.00	27933.05	25139.74
220x90x4.50	15.40	5.00	1.00	32480.29	29232.26
260x90x5.50	22.10	5.00	1.00	46602.15	41941.94
300x100x5.50	26.19	5.00	1.00	55232.18	49708.96
300x100x7.00	31.77	5.00	1.00	67000.40	60300.36
320x120x7.00	34.37	5.00	1.00	72492.24	65243.01
320x120x9.00	41.52	5.00	1.00	87555.56	78800.00
350x170x9.00	46.54	5.00	1.00	98146.95	88332.26
350x170x11.00	53.61	5.00	1.00	113053.37	101748.03

(Fuente: Elaboración propia)

✓ Sección Cuadrada.

Tabla 4- 58 Resistencia al corte para perfil tubular de sección cuadrada Grado A.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

<b>Perfil</b>	<b>Aalma</b>	<b>Kv</b>	<b>Cv</b>	<b>Vn</b>	<b><math>\Phi Vn</math></b>
<i>mm</i>	<i>cm<sup>2</sup></i>			<i>Kg</i>	<i>Kg</i>
60x60x2.25	1.76	5.00	1.00	2889.66	2600.69
70x70x2.25	2.18	5.00	1.00	3577.67	3219.91
90x90x2.50	3.26	5.00	1.00	5351.22	4816.10
100x100x3.00	4.24	5.00	1.00	6971.88	6274.69
110x110x3.40	5.24	5.00	1.00	8608.43	7747.59
120x120x4.00	6.55	5.00	1.00	10763.60	9687.24
135x135x4.30	8.05	5.00	1.00	13227.60	11904.84
155x155x4.50	9.96	5.00	1.00	16374.73	14737.26
175x175x5.50	13.40	5.00	1.00	22031.74	19828.56
200x200x5.50	15.96	5.00	1.00	26236.27	23612.64
200x200x7.00	18.75	5.00	1.00	30823.03	27740.72
220x220x7.00	21.35	5.00	1.00	35104.00	31593.60
220x220x9.00	24.78	5.00	1.00	40730.43	36657.39
260x260x9.00	31.47	5.00	1.00	51738.65	46564.79
260x260x11.00	35.19	5.00	1.00	57854.33	52068.90

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 59 Resistencia al corte para perfil tubular de sección cuadrada Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

Perfil	Aalma	Kv	Cv	Vn	$\Phi Vn$
mm	cm <sup>2</sup>			Kg	Kg
60x60x2.25	1.76	5.00	1.00	3406.42	3065.78
70x70x2.25	2.18	5.00	1.00	4217.48	3795.73
90x90x2.50	3.26	5.00	1.00	6308.19	5677.37
100x100x3.00	4.24	5.00	1.00	8218.67	7396.80
110x110x3.40	5.24	5.00	1.00	10147.90	9133.11
120x120x4.00	6.55	5.00	1.00	12688.47	11419.63
135x135x4.30	8.05	5.00	1.00	15593.12	14033.81
155x155x4.50	9.96	5.00	1.00	19303.06	17372.76
175x175x5.50	13.40	5.00	1.00	25971.72	23374.55
200x200x5.50	15.96	5.00	1.00	30928.15	27835.34
200x200x7.00	18.75	5.00	1.00	36335.17	32701.66
220x220x7.00	21.35	5.00	1.00	41381.73	37243.55
220x220x9.00	24.78	5.00	1.00	48014.34	43212.90
260x260x9.00	31.47	5.00	1.00	60991.19	54892.07
260x260x11.00	35.19	5.00	1.00	68200.55	61380.49

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 60 Resistencia al corte para perfil tubular de sección cuadrada Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil	Aalma	Kv	Cv	Vn	$\Phi Vn$
mm	cm <sup>2</sup>			Kg	Kg
60x60x2.25	1.76	5.00	1.00	3706.99	3336.29
70x70x2.25	2.18	5.00	1.00	4589.61	4130.65
90x90x2.50	3.26	5.00	1.00	6864.80	6178.32
100x100x3.00	4.24	5.00	1.00	8943.85	8049.46
110x110x3.40	5.24	5.00	1.00	11043.30	9938.97
120x120x4.00	6.55	5.00	1.00	13808.04	12427.24
135x135x4.30	8.05	5.00	1.00	16968.99	15272.09
155x155x4.50	9.96	5.00	1.00	21006.27	18905.65
175x175x5.50	13.40	5.00	1.00	28263.34	25437.01
200x200x5.50	15.96	5.00	1.00	33657.11	30291.40
200x200x7.00	18.75	5.00	1.00	39541.22	35587.10
220x220x7.00	21.35	5.00	1.00	45033.06	40529.75
220x220x9.00	24.78	5.00	1.00	52250.90	47025.81
260x260x9.00	31.47	5.00	1.00	66372.76	59735.48
260x260x11.00	35.19	5.00	1.00	74218.24	66796.42

(Fuente: Elaboración propia).

## 5.4. Diseño por Flexión

### 5.4.1. Perfiles Tubulares Circulares

La sección F8 de la norma ANSI/AISC 360-10, aplica a miembros de sección tubular circular que posean una razón:

$$\frac{D}{t} \leq \frac{0.45 E}{F_y} \quad (4-55)$$

Para satisfacer el requisito de resistencia por flexión, se debe cumplir que:

$$M_u \leq \phi_b * M_n \quad (4-56)$$

La capacidad a flexión bajo condición plástica, puede verse disminuida por el pandeo local del perfil.

Para perfiles tubulares circulares de sección “compacta”, la resistencia a flexión viene dada por el momento plástico:

$$M_p = F_y * Z \quad (4-57)$$

Para perfiles tubulares circulares de sección “no compacta”, será menor al momento plástico y viene dada por:

$$M_n = \left( \frac{0.021E}{D/t} + F_y \right) * S \quad (4-58)$$

Para secciones “esbeltas” la resistencia a flexión será:

$$M_n = F_{cr} * S \quad (4-59)$$

Donde:

$$F_{cr} = \frac{0.33E}{D/t} \quad (4-60)$$

Tabla 4- 61 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección circular Grado A.

$F_y = 2320 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

<b>Perfil</b>	$\lambda_p$	$\lambda_r$	<b>Chequeo</b>	<b>Mp</b>	<b><math>\Phi M_n</math></b>
<i>pulg x mm</i>				<i>Kg*m</i>	<i>Kg*m</i>
3" x 2.25	63.36	280.60	Compacta	285.59	257.03
3 1/2" x 2.25	63.36	280.60	Compacta	392.08	352.87
4 1/2" x 2.50	63.36	280.60	Compacta	725.00	652.50
5" x 3.00	63.36	280.60	Compacta	1070.45	963.40
5 1/2" x 3.40	63.36	280.60	Compacta	1465.78	1319.20
6" x 4.00	63.36	280.60	Compacta	3350.08	3015.07
6 5/8" x 4.30	63.36	280.60	Compacta	2683.78	2415.40
7 5/8" x 4.50	63.36	280.60	Compacta	3737.98	3364.19
8 5/8" x 5.50	63.36	280.60	Compacta	5822.97	5240.67
9 5/8" x 5.50	63.36	280.60	Compacta	7289.90	6560.91
9 5/8" x 7.00	63.36	280.60	Compacta	9163.07	8246.76
10 3/4" x 7.00	63.36	280.60	Compacta	11502.10	10351.89
10 3/4" x 9.00	63.36	280.60	Compacta	14568.67	13111.80
12 3/4" x 9.00	63.36	280.60	Compacta	20704.14	18633.73
12 3/4" x 11.00	63.36	280.60	Compacta	24988.02	22489.22

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 4- 62 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección circular Grado B.

$F_y = 2955 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

<b>Perfil</b>	$\lambda_p$	$\lambda_r$	<b>Chequeo</b>	<b>Mp</b>	<b><math>\Phi M_n</math></b>
<i>pulg x mm</i>				<i>Kg*m</i>	<i>Kg*m</i>
3" x 2.25	49.75	220.30	Compacta	363.76	327.38
3 1/2" x 2.25	49.75	220.30	Compacta	499.40	449.46
4 1/2" x 2.50	49.75	220.30	Compacta	923.44	831.09
5" x 3.00	49.75	220.30	Compacta	1363.44	1227.09
5 1/2" x 3.40	49.75	220.30	Compacta	1866.97	1680.27
6" x 4.00	49.75	220.30	Compacta	4267.02	3840.32
6 5/8" x 4.30	49.75	220.30	Compacta	3418.34	3076.51
7 5/8" x 4.50	49.75	220.30	Compacta	4761.10	4284.99
8 5/8" x 5.50	49.75	220.30	Compacta	7416.75	6675.08
9 5/8" x 5.50	49.75	220.30	Compacta	9285.20	8356.68
9 5/8" x 7.00	49.75	220.30	Compacta	11671.07	10503.96
10 3/4" x 7.00	49.75	220.30	Compacta	14650.30	13185.27
10 3/4" x 9.00	49.75	220.30	Compacta	18556.22	16700.60
12 3/4" x 9.00	49.75	220.30	Compacta	26371.01	23733.91
12 3/4" x 11.00	49.75	220.30	Compacta	31827.42	28644.68

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 63 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección circular Grado C.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil	$\lambda_p$	$\lambda_r$	Chequeo	$M_p$	$M_n$	$\Phi M_n$
<i>pulg x mm</i>				<i>Kg*m</i>	<i>Kg*m</i>	<i>Kg*m</i>
3" x 2.25	45.51	201.55	Compacta	397.61	-----	357.85
3 1/2" x 2.25	45.51	201.55	Compacta	545.87	-----	491.28
4 1/2" x 2.50	45.51	201.55	No Compacta	1009.38	941.26	847.13
5" x 3.00	45.51	201.55	Compacta	1490.32	-----	1341.29
5 1/2" x 3.40	45.51	201.55	Compacta	2040.71	-----	1836.64
6" x 4.00	45.51	201.55	Compacta	4664.12	-----	4197.71
6 5/8" x 4.30	45.51	201.55	Compacta	3736.46	-----	3362.82
7 5/8" x 4.50	45.51	201.55	Compacta	5204.18	-----	4683.76
8 5/8" x 5.50	45.51	201.55	Compacta	8106.98	-----	7296.28
9 5/8" x 5.50	45.51	201.55	Compacta	10149.31	-----	9134.38
9 5/8" x 7.00	45.51	201.55	Compacta	12757.21	-----	11481.49
10 3/4" x 7.00	45.51	201.55	Compacta	16013.69	-----	14412.32
10 3/4" x 9.00	45.51	201.55	Compacta	20283.11	-----	18254.80
12 3/4" x 9.00	45.51	201.55	Compacta	28825.17	-----	25942.65
12 3/4" x 11.00	45.51	201.55	Compacta	34789.36	-----	31310.42

(Fuente: Elaboración propia).

#### 5.4.2. Perfiles Tubulares Rectangulares y Cuadrados

La sección F7 de la norma ANSI/AISC 360-10, aplica a miembros de sección tubular cuadrada y rectangular flectados en cualquier eje. Teniendo almas compactas o no compactas y alas compactas, no compactas o esbeltas. Para satisfacer el requisito de resistencia por flexión, se debe cumplir que:

$$M_u \leq \phi_b * M_n \quad (4-61)$$

La capacidad a flexión bajo condición plástica, puede verse disminuida por:

- Pandeo local del alma.

Para secciones con alma “compacta”, la resistencia a flexión viene dada por el momento plástico:

$$M_p = F_y * Z \quad (4-62)$$

Para secciones con almas “no compactas” y “esbeltas”, la resistencia ser menor al momento plástico:

$$Mn = Mp - (Mp - Fy * S) * \left( 0.305 * \frac{h}{t} * \sqrt{\frac{Fy}{E}} - 0.738 \right) \quad (4-63)$$

- Pandeo local del ala.

Para secciones con alas “compactas”, la resistencia a flexión viene dada por el momento plástico:

$$Mp = Fy * Z \quad (4-64)$$

Para secciones con alas “no compactas”, la resistencia será menor al momento plástico:

$$Mn = Mp - (Mp - Fy * S) \left( 3.57 * \frac{b}{t} * \sqrt{\frac{Fy}{E}} - 4.0 \right) \quad (4-65)$$

Para secciones “esbeltas” la resistencia a flexión será:

$$Mn = Fy * Se \quad (4-66)$$

$$be = 1.92 * t * \sqrt{\frac{E}{Fy}} \left( 1 - \frac{0.38}{\frac{b}{t}} * \sqrt{\frac{E}{Fy}} \right) \quad (4-67)$$

✓ Sección Rectangular.

Tabla 4- 64 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección rectangular Grado A.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

<b>Perfil</b>	$\lambda_p$	$\lambda_r$	<b>Chequeo</b>	$\lambda_p$	$\lambda_r$	<b>Chequeo</b>	<b>M<sub>p</sub></b>	<b>ΦM<sub>n</sub></b>
<i>mm</i>	<i>ala</i>	<i>ala</i>	<i>ala</i>	<i>alma</i>	<i>alma</i>	<i>alma</i>	<i>Kg*m</i>	<i>Kg*m</i>
80x40x2.25	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	362.78	326.50
100x40x2.25	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	516.22	464.59
120x60x2.50	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	927.22	834.49
140x60x3.00	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	1399.04	1259.14
160x65x3.40	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	2008.97	1808.07
180x65x4.00	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	2841.38	2557.24
200x70x4.30	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	3729.14	3356.23
220x90x4.50	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	5084.34	4575.91
260x90x5.50	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	8032.04	7228.83
300x100x5.50	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	10625.45	9562.90
300x100x7.00	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	13292.84	11963.55
320x120x7.00	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	16001.05	14400.95
320x120x9.00	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	20147.49	18132.74
350x170x9.00	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	27556.45	24800.81
350x170x11.00	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	32954.53	29659.08

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 65 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección rectangular Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

Perfil	$\lambda_p$	$\lambda_r$	Chequeo	$\lambda_p$	$\lambda_r$	Chequeo	Mp	$\Phi M_n$
mm	ala	ala	ala	alma	alma	alma	Kg*m	Kg*m
80x40x2.25	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	427.65	384.89
100x40x2.25	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	608.53	547.68
120x60x2.50	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	1093.03	983.73
140x60x3.00	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	1649.24	1484.31
160x65x3.40	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	2368.24	2131.41
180x65x4.00	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	3349.51	3014.56
200x70x4.30	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	4396.03	3956.43
220x90x4.50	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	5993.59	5394.23
260x90x5.50	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	9468.42	8521.58
300x100x5.50	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	12525.62	11273.06
300x100x7.00	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	15670.02	14103.02
320x120x7.00	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	18862.55	16976.30
320x120x9.00	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	23750.51	21375.46
350x170x9.00	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	32484.43	29235.99
350x170x11.00	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	38847.86	34963.07

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 66 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección rectangular Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil	$\lambda_p$	$\lambda_r$	Chequeo	$\lambda_p$	$\lambda_r$	Chequeo	Mp	$\Phi M_n$
mm	ala	ala	ala	alma	alma	alma	Kg*m	Kg*m
80x40x2.25	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	465.39	418.85
100x40x2.25	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	662.23	596.00
120x60x2.50	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	1189.48	1070.53
140x60x3.00	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	1794.76	1615.28
160x65x3.40	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	2577.20	2319.48
180x65x4.00	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	3645.06	3280.55
200x70x4.30	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	4783.92	4305.52
220x90x4.50	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	6522.43	5870.19
260x90x5.50	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	10303.87	9273.48
300x100x5.50	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	13630.82	12267.74
300x100x7.00	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	17052.67	15347.40
320x120x7.00	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	20526.90	18474.21
320x120x9.00	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	25846.15	23261.53
350x170x9.00	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	35350.71	31815.64
350x170x11.00	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	42275.61	38048.05

(Fuente: Elaboración propia).

- Sección Cuadrada.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

Perfil <i>mm</i>	$\lambda_p$ <i>ala</i>	$\lambda_r$ <i>ala</i>	Chequeo <i>ala</i>	$\lambda_p$ <i>alma</i>	$\lambda_r$ <i>alma</i>	Chequeo <i>alma</i>	Mp <i>Kg*m</i>	$\Phi M_n$ <i>Kg*m</i>
60x60x2.25	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	304.96	274.47
70x70x2.25	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	420.59	378.53
90x90x2.50	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	780.35	702.32
100x100x3.00	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	1149.98	1034.98
110x110x3.40	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	1573.86	1416.47
120x120x4.00	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	2190.90	1971.81
135x135x4.30	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	2991.26	2692.13
155x155x4.50	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	4154.11	3738.70
175x175x5.50	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	6435.44	5791.89
200x200x5.50	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	8483.59	7635.23
200x200x7.00	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	10607.91	9547.12
220x220x7.00	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	12932.25	11639.03
220x220x9.00	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	16272.59	14645.33
260x260x9.00	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	23070.25	20763.23
260x260x11.00	31.01	38.76	Compacta	67.00	157.80	Compacta	27685.78	24917.20

Tabla 4- 67 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección cuadrada Grado A.

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 4- 68 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección cuadrada Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

Perfil	$\lambda_p$	$\lambda_r$	Chequeo	$\lambda_p$	$\lambda_r$	Chequeo	Mp	$\Phi M_n$
mm	ala	ala	ala	alma	alma	alma	Kg*m	Kg*m
60x60x2.25	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	359.50	323.55
70x70x2.25	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	495.81	446.22
90x90x2.50	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	919.90	827.91
100x100x3.00	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	1355.63	1220.07
110x110x3.40	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	1855.31	1669.78
120x120x4.00	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	2582.71	2324.44
135x135x4.30	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	3526.19	3173.57
155x155x4.50	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	4897.00	4407.30
175x175x5.50	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	7586.30	6827.67
200x200x5.50	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	10000.73	9000.65
200x200x7.00	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	12504.95	11254.45
220x220x7.00	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	15244.95	13720.46
220x220x9.00	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	19182.65	17264.38
260x260x9.00	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	27195.95	24476.36
260x260x11.00	28.56	35.70	Compacta	61.71	145.34	Compacta	32636.89	29373.20

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 69 Verificación de pandeo local para perfil tubular de sección cuadrada Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil	$\lambda_p$	$\lambda_r$	Chequeo	$\lambda_p$	$\lambda_r$	Chequeo	Mp	$\Phi_n$	$\Phi M_n$
mm	ala	ala	ala	alma	alma	alma	Kg*m	Kg*m	Kg*m
60x60x2.25	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	391.22	-----	352.10
70x70x2.25	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	539.55	-----	485.60
90x90x2.50	27.38	34.22	No Compacta	59.15	139.32	Compacta	1001.07	732.21	658.99
100x100x3.00	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	1475.25	-----	1327.72
110x110x3.40	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	2019.02	-----	1817.11
120x120x4.00	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	2810.59	-----	2529.53
135x135x4.30	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	3837.33	-----	3453.59
155x155x4.50	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	5329.09	-----	4796.18
175x175x5.50	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	8255.68	-----	7430.11
200x200x5.50	27.38	34.22	No Compacta	59.15	139.32	Compacta	10883.14	7843.25	7058.93
200x200x7.00	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	13608.32	-----	12247.49
220x220x7.00	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	16590.10	-----	14931.09
220x220x9.00	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	20875.23	-----	18787.71
260x260x9.00	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	29595.60	-----	26636.04
260x260x11.00	27.38	34.22	Compacta	59.15	139.32	Compacta	35516.61	-----	31964.95

(Fuente: Elaboración propia).

### 5.5. Diseño a Torsión

La norma AISC 2000 *Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Sections*, en su capítulo 6, comenta el diseño de perfiles tubulares por la fuerza de torsión. Para satisfacer el requisito de resistencia por flexión, se debe cumplir que:

$$T_u \leq \phi_t * T_n \quad (4-68)$$

$$T_n = F_{cr} * C \quad (4-69)$$

La constante torsional para secciones tubulares circulares, viene definida por:

$$C = \frac{\pi(D-t)^2 * t}{2} \quad (4-70)$$

La constante torsional para secciones tubulares rectangulares y cuadradas, viene definida por:

$$C = 2(B - t)(H - t)t - 4.5(4 - \pi)t^3 \quad (4-71)$$

La tensión crítica de diseño para secciones tubulares circulares, debe ser el valor máximo de las siguientes expresiones y esta tensión crítica no excederá el valor de  $0.6F_y$ , en ese caso controlaría la fluencia torsional.

$$F_{cr} = \frac{1.23E}{\sqrt{\frac{L}{D}\left(\frac{D}{t}\right)^{5/4}}}; \frac{060E}{\left(\frac{D}{t}\right)} \quad (4-72)$$

Donde:

$L$ : Longitud del miembro diseñado.

La tensión crítica de diseño para secciones tubulares cuadradas o rectangulares debe ser determinada como:

$$\text{Para } \frac{h}{t} \leq 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}; F_{cr} = 0.6F_y \quad (4-73)$$

$$\text{Para } 2.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}}; F_{cr} = 0.6F_y \left( \frac{2.45 \sqrt{E/F_y}}{h/t} \right) \quad (4-74)$$

$$\text{Para } 3.07 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t} \leq 260; F_{cr} = 0.458\pi^2 \left( \frac{E}{(h/t)^2} \right) \quad (4-75)$$

- Sección Circular.

Tabla 4- 70 Verificación de torsión para perfil tubular de sección circular, Grado A.

$F_y = 2320 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

<b>Perfil</b>	<b>F<sub>cr</sub>(1)</b>	<b>0.6F<sub>y</sub></b>	<b>C</b>	<b>F<sub>cr</sub></b>	<b>T<sub>n</sub></b>	<b>ΦT<sub>n</sub></b>
<i>pulg x mm</i>	<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>cm<sup>3</sup></i>	<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg*m</i>	<i>Kg*m</i>
3" x 2.25	6393.11	1392.00	19.33	1392.00	269.04	242.14
3 1/2" x 2.25	5073.31	1392.00	26.54	1392.00	369.38	332.45
4 1/2" x 2.50	4075.78	1392.00	49.08	1392.00	683.25	614.93
5" x 3.00	4574.53	1392.00	72.46	1392.00	1008.61	907.75
5 1/2" x 3.40	4784.03	1392.00	99.22	1392.00	1381.11	1243.00
6" x 4.00	5357.76	1392.00	138.37	1392.00	1926.14	1733.52
6 5/8" x 4.30	5145.73	1392.00	181.67	1392.00	2528.80	2275.92
7 5/8" x 4.50	4461.64	1392.00	253.03	1392.00	3522.20	3169.98
8 5/8" x 5.50	5011.31	1392.00	394.17	1392.00	5486.87	4938.18
9 5/8" x 5.50	4251.05	1392.00	493.49	1392.00	6869.38	6182.44
9 5/8" x 7.00	6103.79	1392.00	620.22	1392.00	8633.45	7770.11
10 3/4" x 7.00	5170.53	1392.00	778.59	1392.00	10837.94	9754.15
10 3/4" x 9.00	7537.92	1392.00	986.05	1392.00	13725.82	12353.24
12 3/4" x 9.00	5837.39	1392.00	1401.42	1392.00	19507.83	17557.05
12 3/4" x 11.00	7887.58	1392.00	1691.16	1392.00	23540.96	21186.86

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 71 Verificación de torsión para perfil tubular de sección circular, Grado B.

*Fy= 2955 kg/cm2 Grado B*

<b>Perfil</b>	<b>Fcr(1)</b>	<b>0.6Fy</b>	<b>C</b>	<b>Fcr</b>	<b>Tn</b>	<b>ΦTn</b>
<i>pulg x mm</i>	<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg/cm2</i>	<i>cm3</i>	<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg*m</i>	<i>Kg*m</i>
3" x 2.25	6393.11	1773.00	19.33	1773.00	342.68	308.41
3 1/2" x 2.25	5073.31	1773.00	26.54	1773.00	470.49	423.44
4 1/2" x 2.50	4075.78	1773.00	49.08	1773.00	870.27	783.24
5" x 3.00	4574.53	1773.00	72.46	1773.00	1284.67	1156.21
5 1/2" x 3.40	4784.03	1773.00	99.22	1773.00	1759.14	1583.22
6" x 4.00	5357.76	1773.00	138.37	1773.00	2453.33	2208.00
6 5/8" x 4.30	5145.73	1773.00	181.67	1773.00	3220.96	2898.86
7 5/8" x 4.50	4461.64	1773.00	253.03	1773.00	4486.25	4037.62
8 5/8" x 5.50	5011.31	1773.00	394.17	1773.00	6988.66	6289.79
9 5/8" x 5.50	4251.05	1773.00	493.49	1773.00	8749.58	7874.62
9 5/8" x 7.00	6103.79	1773.00	620.22	1773.00	10996.48	9896.84
10 3/4" x 7.00	5170.53	1773.00	778.59	1773.00	13804.36	12423.93
10 3/4" x 9.00	7537.92	1773.00	986.05	1773.00	17482.68	15734.41
12 3/4" x 9.00	5837.39	1773.00	1401.42	1773.00	24847.26	22362.53
12 3/4" x 11.00	7887.58	1773.00	1691.16	1773.00	29984.28	26985.85

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 72 Verificación de torsión para perfil tubular de sección circular, Grado C.

*Fy= 3230 kg/cm2 Grado C*

<b>Perfil</b>	<b>Fcr(1)</b>	<b>0.6Fy</b>	<b>C</b>	<b>Fcr</b>	<b>Tn</b>	<b>ΦTn</b>
<i>pulg x mm</i>	<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg/cm2</i>	<i>cm3</i>	<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg*m</i>	<i>Kg*m</i>
3" x 2.25	6393.11	1938.00	19.33	1938.00	374.57	337.11
3 1/2" x 2.25	5073.31	1938.00	26.54	1938.00	514.27	462.85
4 1/2" x 2.50	4075.78	1938.00	49.08	1938.00	951.26	856.13
5" x 3.00	4574.53	1938.00	72.46	1938.00	1404.23	1263.81
5 1/2" x 3.40	4784.03	1938.00	99.22	1938.00	1922.85	1730.56
6" x 4.00	5357.76	1938.00	138.37	1938.00	2681.65	2413.48
6 5/8" x 4.30	5145.73	1938.00	181.67	1938.00	3520.71	3168.64
7 5/8" x 4.50	4461.64	1938.00	253.03	1938.00	4903.75	4413.38
8 5/8" x 5.50	5011.31	1938.00	394.17	1938.00	7639.04	6875.14
9 5/8" x 5.50	4251.05	1938.00	493.49	1938.00	9563.84	8607.45
9 5/8" x 7.00	6103.79	1938.00	620.22	1938.00	12019.85	10817.86
10 3/4" x 7.00	5170.53	1938.00	778.59	1938.00	15089.03	13580.13
10 3/4" x 9.00	7537.92	1938.00	986.05	1938.00	19109.66	17198.69
12 3/4" x 9.00	5837.39	1938.00	1401.42	1938.00	27159.61	24443.65
12 3/4" x 11.00	7887.58	1938.00	1691.16	1938.00	32774.69	29497.23

(Fuente: Elaboración propia).

- Sección Rectangular.

Tabla 4- 73 Verificación de torsión para perfil tubular de sección rectangular, Grado A.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

<b>Perfil</b>	<b>Fcr</b>	<b>C</b>	<b>Tn</b>	<b><math>\Phi T_n</math></b>
<i>mm</i>	<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>cm<sup>3</sup></i>	<i>Kg*m</i>	<i>Kg*m</i>
80x40x2.25	1644.00	13.16	216.41	194.77
100x40x2.25	1644.00	16.56	272.27	245.04
120x60x2.50	1644.00	33.72	554.37	498.93
140x60x3.00	1644.00	46.75	768.57	691.71
160x65x3.40	1644.00	65.44	1075.91	968.32
180x65x4.00	1644.00	85.64	1407.93	1267.14
200x70x4.30	1644.00	110.27	1812.79	1631.51
220x90x4.50	1644.00	165.48	2720.41	2448.37
260x90x5.50	1644.00	235.92	3878.44	3490.60
300x100x5.50	1644.00	305.49	5022.26	4520.03
300x100x7.00	1644.00	380.16	6249.85	5624.86
320x120x7.00	1644.00	493.84	8118.75	7306.87
320x120x9.00	1644.00	618.56	10169.16	9152.24
350x170x9.00	1644.00	985.40	16200.01	14580.01
350x170x11.00	1644.00	1180.68	19410.39	17469.35

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 74 Verificación de torsión para perfil tubular de sección rectangular, Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

<b>Perfil</b>	<b>Fcr</b>	<b>C</b>	<b>Tn</b>	<b><math>\Phi Tn</math></b>
<i>mm</i>	<i>Kg/cm2</i>	<i>cm3</i>	<i>Kg*m</i>	<i>Kg*m</i>
80x40x2.25	1938.00	13.16	255.11	229.60
100x40x2.25	1938.00	16.56	320.96	288.86
120x60x2.50	1938.00	33.72	653.51	588.16
140x60x3.00	1938.00	46.75	906.01	815.41
160x65x3.40	1938.00	65.44	1268.32	1141.49
180x65x4.00	1938.00	85.64	1659.72	1493.75
200x70x4.30	1938.00	110.27	2136.98	1923.28
220x90x4.50	1938.00	165.48	3206.91	2886.22
260x90x5.50	1938.00	235.92	4572.03	4114.83
300x100x5.50	1938.00	305.49	5920.40	5328.36
300x100x7.00	1938.00	380.16	7367.52	6630.77
320x120x7.00	1938.00	493.84	9570.64	8613.58
320x120x9.00	1938.00	618.56	11987.73	10788.96
350x170x9.00	1938.00	985.40	19097.09	17187.38
350x170x11.00	1938.00	1180.68	22881.59	20593.43

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 75 Verificación de torsión para perfil tubular de sección rectangular, Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

<b>Perfil</b>	<b>Fcr</b>	<b>C</b>	<b>Tn</b>	<b><math>\Phi Tn</math></b>
<i>mm</i>	<i>Kg/cm2</i>	<i>cm3</i>	<i>Kg*m</i>	<i>Kg*m</i>
80x40x2.25	2109.00	13.16	277.62	249.86
100x40x2.25	2109.00	16.56	349.28	314.35
120x60x2.50	2109.00	33.72	711.17	640.06
140x60x3.00	2109.00	46.75	985.95	887.36
160x65x3.40	2109.00	65.44	1380.23	1242.21
180x65x4.00	2109.00	85.64	1806.16	1625.55
200x70x4.30	2109.00	110.27	2325.54	2092.98
220x90x4.50	2109.00	165.48	3489.87	3140.89
260x90x5.50	2109.00	235.92	4975.45	4477.90
300x100x5.50	2109.00	305.49	6442.79	5798.51
300x100x7.00	2109.00	380.16	8017.60	7215.84
320x120x7.00	2109.00	493.84	10415.11	9373.60
320x120x9.00	2109.00	618.56	13045.47	11740.93
350x170x9.00	2109.00	985.40	20782.13	18703.92
350x170x11.00	2109.00	1180.68	24900.55	22410.50

(Fuente: Elaboración propia).

- Sección Cuadrada.

Tabla 4- 76 Verificación de torsión para perfil tubular de sección cuadrada, Grado A.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

<b>Perfil</b>	<b>Fcr</b>	<b>C</b>	<b>Tn</b>	<b><math>\Phi T_n</math></b>
<i>mm</i>	<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>cm<sup>3</sup></i>	<i>Kg*m</i>	<i>Kg*m</i>
80x40x2.25	1644.00	14.96	246.00	221.40
100x40x2.25	1644.00	20.61	338.85	304.96
120x60x2.50	1644.00	38.22	628.35	565.52
140x60x3.00	1644.00	56.35	926.39	833.75
160x65x3.40	1644.00	77.12	1267.86	1141.07
180x65x4.00	1644.00	107.40	1765.67	1589.10
200x70x4.30	1644.00	146.60	2410.14	2169.13
220x90x4.50	1644.00	203.50	3345.54	3010.99
260x90x5.50	1644.00	315.39	5185.01	4666.51
300x100x5.50	1644.00	415.49	6830.66	6147.59
300x100x7.00	1644.00	520.16	8551.45	7696.30
320x120x7.00	1644.00	633.84	10420.35	9378.31
320x120x9.00	1644.00	798.56	13128.36	11815.52
350x170x9.00	1644.00	1131.20	18596.96	16737.26
350x170x11.00	1644.00	1358.88	22340.00	20106.00

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 77 Verificación de torsión para perfil tubular de sección cuadrada, Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

Perfil	Fcr	C	Tn	$\Phi T_n$
mm	Kg/cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	Kg*m	Kg*m
80x40x2.25	1938.00	14.96	290.00	261.00
100x40x2.25	1938.00	20.61	399.45	359.50
120x60x2.50	1938.00	38.22	740.72	666.65
140x60x3.00	1938.00	56.35	1092.06	982.85
160x65x3.40	1938.00	77.12	1494.59	1345.13
180x65x4.00	1938.00	107.40	2081.43	1873.28
200x70x4.30	1938.00	146.60	2841.15	2557.04
220x90x4.50	1938.00	203.50	3943.83	3549.45
260x90x5.50	1938.00	315.39	6112.26	5501.03
300x100x5.50	1938.00	415.49	8052.20	7246.98
300x100x7.00	1938.00	520.16	10080.72	9072.65
320x120x7.00	1938.00	633.84	12283.84	11055.46
320x120x9.00	1938.00	798.56	15476.13	13928.52
350x170x9.00	1938.00	1131.20	21922.69	19730.43
350x170x11.00	1938.00	1358.88	26335.11	23701.59

(Fuente: Elaboración propia).

Tabla 4- 78 Verificación de torsión para perfil tubular de sección cuadrada, Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil	Fcr	C	Tn	$\Phi T_n$
mm	Kg/cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup>	Kg*m	Kg*m
80x40x2.25	2109.00	14.96	315.59	284.03
100x40x2.25	2109.00	20.61	434.69	391.22
120x60x2.50	2109.00	38.22	806.08	725.47
140x60x3.00	2109.00	56.35	1188.42	1069.57
160x65x3.40	2109.00	77.12	1626.47	1463.82
180x65x4.00	2109.00	107.40	2265.08	2038.57
200x70x4.30	2109.00	146.60	3091.84	2782.66
220x90x4.50	2109.00	203.50	4291.82	3862.64
260x90x5.50	2109.00	315.39	6651.58	5986.42
300x100x5.50	2109.00	415.49	8762.69	7886.42
300x100x7.00	2109.00	520.16	10970.20	9873.18
320x120x7.00	2109.00	633.84	13367.71	12030.94
320x120x9.00	2109.00	798.56	16841.67	15157.51
350x170x9.00	2109.00	1131.20	23857.05	21471.35
350x170x11.00	2109.00	1358.88	28658.79	25792.91

(Fuente: Elaboración propia).

## 5.6. Diseño a Flexocompresión

La norma AISC 2000 *Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Sections*, en su sección 7.1, comenta el diseño de perfiles tubulares por la combinación de fuerza axial y flexión.

Los miembros estructurales sometidos a la acción de carga axial y momentos deberán cumplir:

$$\text{Para } \frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0.20 \text{ se tiene } \frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1.0 \quad (4-76)$$

$$\text{Para } \frac{P_u}{\phi_c P_n} < 0.20 \text{ se tiene } \frac{P_u}{2 \phi_c P_n} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1.0 \quad (4-77)$$

## 6. Cargas Concentradas en perfiles Tubulares

Las cargas lineales se aplican generalmente por una plancha soldada a un miembro tubular, ya sea de forma longitudinal o transversal al eje principal del miembro tubular, con la plancha generalmente cargada en tracción o compresión. Muchas conexiones de planchas con miembros tubulares son extremadamente flexibles, debido que la fuerza de la plancha se transmite a las caras del miembro tubular a distancia desde el punto de aplicación de la carga.

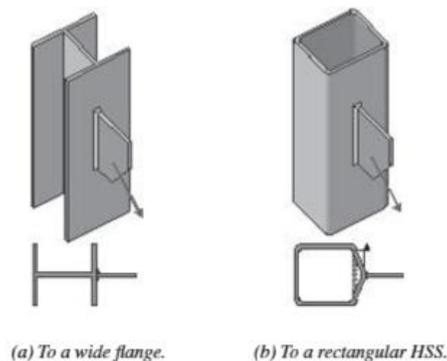


Figura 4- 7 (a) Conexión longitudinal de plancha con perfil “I”, (b) Conexión longitudinal de plancha con miembro tubular.

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Los estados límites que afectan las conexiones de miembros tubulares con planchas, son:

- Plastificación por pandeo local.
- Distribución desigual de la carga en la plancha.
- Punzonamiento.
- Plastificación de las paredes laterales.

Es importante tener en cuenta que estas comprobaciones de conexiones, vienen limitada por la geometría de conexión y los límites de aplicabilidad de los diversos parámetros.

Debido a que la fuerza de una conexión de plancha longitudinal con miembro tubular es baja, hay casos en los que puede necesitar ser reforzadas localmente la conexión (conexiones de suspensión, cargas elevadas de cables de soporte techos o puentes, etc.). Un método común de refuerzo, es pasar la plancha longitudinal a través de la sección transversal completa, y para soldar a través de la plancha tanto al reverso y la parte frontal. Si esto se hace para un miembro tubular rectangular, la resistencia nominal puede ser tomada como el doble.

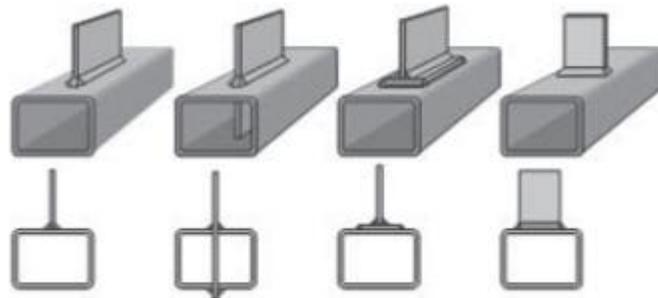
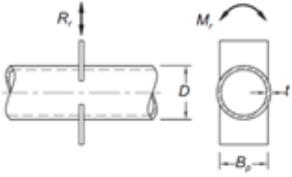
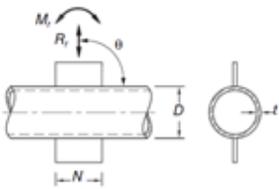
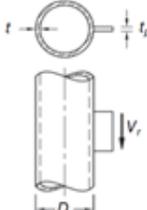
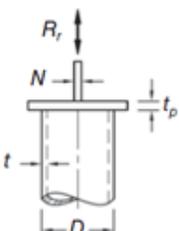


Figura 4- 8 Plancha longitudinal, plancha longitudinal que atraviesa la sección tubular, Plancha longitudinal rigidizada, plancha transversal.

(Fuente: AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

La norma ANSI/AISC 360-10 “Especificación para Construcciones de Acero” en su capítulo K, apartado K1., trata las cargas concentradas en secciones de tubulares circulares y secciones tubulares rectangulares.

Tabla 4- 79 Resistencias disponibles de conexiones de planchas con secciones tubulares circulares.

Tipo de Conexión	Fuerza nominal de la conexión	Flexión de la plancha	
		En el plano	Fuera del plano
<p>Conexiones en T y en Cruz con Plancha Transversal</p> 	<p>Estado Límite: Cedencia local de la plancha del tubo por carga axial</p> $R_n = F_y t^2 \left( \frac{5.5}{1 - 0.81 \frac{B_p}{D}} \right) Q_f \quad (4-67)$ $\Phi = 0.90 \text{ (LRFD)}$	-	$M_n = 0.5 B_p R_n \quad (4-68)$
<p>Conexiones en T, Y y en Cruz con Plancha Longitudinal</p> 	<p>Estado Límite: Plastificación de la plancha del tubo por carga axial.</p> $R_n \sin \theta = 5.5 F_y t^2 \left( 1 + 0.25 \frac{N}{D} \right) Q_f \quad (4-69)$ $\Phi = 0.90 \text{ (LRFD)}$	$M_n = N R_n \quad (4-70)$	-
<p>Conexión en T con Plancha Longitudinal</p> 	<p>Estado Límite: Estados límites de la plancha y corte por punzonamiento en la sección tubular.</p> $t_p \leq \frac{F_u}{F_{yp}} \quad (4-71)$	-	-
<p>Conexiones de Plancha de Tapado</p> 	<p>Estado Límite: Cedencia local del tubo por carga axial</p> $R_n = 2 F_y t (5 t_p + N) \leq A F_y \quad (4-72)$ $\Phi = 1.00 \text{ (LRFD)}$	-	-

(Fuente: Adaptación de la Tabla 7-1. AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010).

Tabla 4- 80 Continuación de la Tabla 4-79 Resistencias disponibles de conexiones de planchas con secciones tubulares.

Funciones	
$Q_f = 1$ para perfiles tubulares (superficie conectada) en tracción.	
$Q_f = 1.0 - 0.3U(1 + U)$ para perfiles tubulares (superficie conectada) en compresión.	(4-73)
$U = \left  \frac{P_r}{AF_c} + \frac{M_r}{SF_c} \right $	(4-74)
Donde $P_r$ y $M_r$ son determinados en el lado de la junta que tiene el esfuerzo de compresión más bajo. $P_r$ y $M_r$ es referida a la resistencia a flexión y axial en el perfil tubular.	

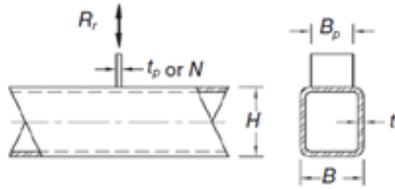
(Fuente: Adaptación de la Tabla 7-1. AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Tabla 4- 81 Límites de aplicabilidad de la tabla N° 4-79.

Límites de aplicabilidad	
Angulo de carga en la plancha	$\Theta \geq 30^\circ$
Esbeltez de la pared del tubo	$D/t \leq 50$ para conexiones tipo T bajo carga axial o flexión de la placa de la rama. $D/t \leq 40$ para conexiones cruzadas bajo carga axial o flexión de la placa de la rama. $D/t \leq 0.11 E/F_y$ bajo corte de la placa de la rama. $D/t \leq 0.11 E/F_y$ para conexiones de planchas de tapado a compresión.
Razón de Ancho	$0.2 < B_p / D \leq 1.0$ para conexión de plancha en ramal transversal.
Resistencia del material	$F_y \leq 3660 \text{ kg/cm}^2$ .
Ductilidad	$F_y/F_u \leq 0.80$

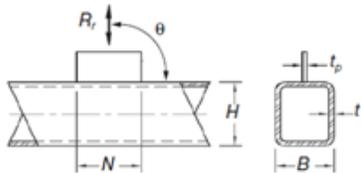
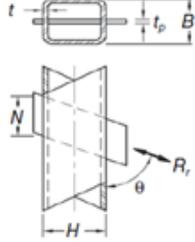
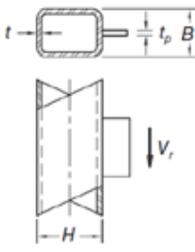
(Fuente: Adaptación de la Tabla 7-1A. AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Tabla 4- 82 Resistencias disponibles de conexiones de planchas con secciones tubulares rectangulares.

Tipo de Conexión	Resistencia Disponible de la Conexión
<p data-bbox="354 827 849 898">Conexiones en T y en Cruz con Plancha Transversal solicitadas por Carga Axial a través de la Plancha</p>  <p data-bbox="526 1140 675 1182">Donde <math>\beta = \frac{B_p}{B}</math></p>	<p data-bbox="878 415 1386 443">Estado límite: Cedencia local de la plancha, para todo <math>\beta</math></p> $R_n = \frac{10}{B/t} F_y t B_p \leq F_{yp} t_p B_p$ $\Phi = 0.95 \text{ (LRFD)} \quad (4-74)$
	<p data-bbox="878 615 1386 678">Estado límite: Cedencia por corte en el tubo por punzonamiento, donde:</p> $0.85B \leq B_p \leq B - 2t$ $R_n = 0.6F_y t (2t_p + 2B_{ep})$ $\Phi = 0.95 \text{ (LRFD)} \quad (4-75)$
	<p data-bbox="878 861 1386 924">Estado límite: Cedencia local de las paredes de los lados de la sección tubular, donde <math>\beta = 1.0</math></p> $R_n = 2F_y t (5k + N)$ $\Phi = 1.00 \text{ (LRFD)} \quad (4-76)$
	<p data-bbox="878 1071 1386 1176">Estado límite: Aplastamiento local de la pared del tubo, cuando <math>\beta = 1,0</math> y la plancha está en compresión, para conexiones en T</p> $R_n = 1.6t^2 \left( 1 + \frac{3N}{H - 3t} \right) \sqrt{EF_y Q_f}$ $\Phi = 0.75 \text{ (LRFD)} \quad (4-77)$
	<p data-bbox="878 1339 1386 1444">Estado límite: Aplastamiento local de la pared del tubo, cuando <math>\beta = 1.0</math> y la plancha esta en compresión, para conexiones en cruz</p> $R_n = \left( \frac{48t^3}{H - 3t} \right) \sqrt{EF_y Q_f}$ $\Phi = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad (4-78)$

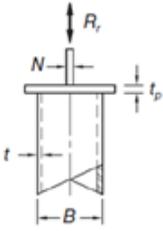
(Fuente: Adaptación de la Tabla 7-2. AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Tabla 4- 83 Continuación de la Tabla 4-82. Resistencias disponibles de conexiones de planchas con secciones tubulares rectangulares.

Tipo de Conexión	Resistencia Disponible de la Conexión
<p>Conexiones en T, en Y y en Cruz con Plancha Longitudinal solicitadas por Carga Axial a través de la Plancha</p> 	<p>Estado límite: Plastificación del tubo</p> $R_n \sin \theta = \frac{F_y t^2}{1 - \frac{t_p}{B}} \left( \frac{2N}{B} + 4 \sqrt{1 - \frac{t_p}{B}} Q_f \right) \quad (4-79)$ <p><math>\Phi = 1.00</math> (LRFD)</p>
<p>Conexiones en T y en Y con Plancha Longitudinal pasante solicitadas por Carga Axial a través de la Plancha</p> 	<p>Estado límite: Plastificación de la pared del tubo</p> $R_n \sin \theta = \frac{2F_y t^2}{1 - \frac{t_p}{B}} \left( \frac{2N}{B} + 4 \sqrt{1 - \frac{t_p}{B}} Q_f \right) \quad (4-80)$ <p><math>\Phi = 1.00</math> (LRFD)</p>
<p>Conexiones en T con Plancha Longitudinal solicitadas por Corte a través de la Plancha</p> 	<p>Estados Límites: Estados límite de la plancha y corte por punzonamiento en el tubo</p> $t_p \leq \frac{F_u}{F_{yp}} t \quad (4-81)$

(Fuente: Adaptación de la Tabla 7-2. AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Tabla 4- 84 Continuación de la Tabla 4-83. Resistencias disponibles de conexiones de planchas con secciones tubulares rectangulares.

Tipo de Conexión	Resistencia Disponible de la Conexión
<p data-bbox="386 541 829 569">Conexiones de Plancha de Tapado bajo carga axial</p> 	<p data-bbox="878 457 1341 485">Estado límite: Cedencia local de las paredes del tubo</p> $R_n = 2F_y t (5t_p + N) \text{ para } (5t_p + N) < B$ $R_n = AF_y \text{ para } (5t_p + N) \geq B$ <p data-bbox="1289 575 1341 602">(4-82)</p> <p data-bbox="1032 615 1187 642"><math>\Phi = 1.00</math> (LRFD)</p>
	<p data-bbox="878 653 1341 716">Estado límite: Aplastamiento local de la pared del tubo, cuando la plancha esta en compresión</p> $R_n = 1.6t^2 \left[ 1 + \frac{6N}{B} \left( \frac{t}{t_p} \right)^{1.5} \right] \sqrt{EF_y \frac{t_p}{t}}$ <p data-bbox="1019 800 1198 827">para <math>(5t_p + N) &lt; B</math></p> <p data-bbox="1289 837 1341 865">(4-83)</p> <p data-bbox="1032 877 1187 905"><math>\Phi = 1.00</math> (LRFD)</p>

(Fuente: Adaptación de la Tabla 7-2. AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Tabla 4- 85 Resistencias disponibles de conexiones de planchas con secciones tubulares rectangulares.

Funciones
<p data-bbox="368 1119 959 1146"><math>Q_f = 1</math> para perfiles tubulares (superficie conectada) en tracción.</p>
<p data-bbox="368 1157 1369 1241"><math>Q_f = 1.3 - 0.4 \frac{U}{\beta} \leq 1.0</math> para perfiles tubulares (superficie conectada) en compresión, en conexiones con plancha transversal.</p> <p data-bbox="1305 1213 1369 1241">(4-84)</p>
<p data-bbox="368 1251 1369 1325"><math>Q_f = \sqrt{1 - U^2}</math> para perfiles tubulares (superficie de conexión) en compresión, en conexiones con planchas longitudinales y con planchas longitudinales que atraviesen el miembro.</p> <p data-bbox="1305 1304 1369 1331">(4-85)</p>
<p data-bbox="368 1335 1369 1383"><math>U = \left  \frac{P_r}{AF_c} + \frac{M_r}{SF_c} \right </math></p> <p data-bbox="1305 1346 1369 1373">(4-74)</p>
<p data-bbox="368 1388 1369 1461">Donde <math>P_r</math> y <math>M_r</math> es determinado en el lado de la junta que tiene el esfuerzo de compresión más bajo. <math>P_r</math> y <math>M_r</math> es referida a la resistencia a flexión y axial en el perfil tubular.</p>
<p data-bbox="368 1461 1369 1514"><math>B_{ep} = \frac{10B_p}{B/t} \leq B_p</math></p> <p data-bbox="1305 1482 1369 1509">(4-86)</p>
<p data-bbox="368 1524 883 1551">k = Radio de la esquina exterior del perfil tubular <math>\geq 1.5t</math></p>

(Fuente: Adaptación de la Tabla 7-2. AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Tabla 4- 86 Límites de Aplicabilidad de Tabla N° 4-82

Límites de aplicabilidad	
Angulo de carga en placa	$\Theta \geq 30^\circ$
Esbeltez de la pared del tubo	$B/t$ o $H/t \leq 35$ para paredes cargadas, en conexiones con planchas transversales de la rama. $B/t$ o $H/t \leq 40$ para paredes cargadas, en conexiones con planchas longitudinales y con planchas longitudinales que atraviesan la rama. $(B-3t)/t$ o $(H-3t)/t \leq 1.4 \sqrt{E/F}$ para paredes cargadas, en conexiones con planchas cargadas en corte de la rama.
Razón de Ancho	$0.25 < B_p / D \leq 1.0$ para conexiones con planchas transversales a la rama.
Resistencia del material	$F_y \leq 3660 \text{ kg/cm}^2$ .
Ductilidad	$F_y/F_u \leq 0.80$

(Fuente: Adaptación de la Tabla 7-2A. AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

A nuestros efectos de investigación, se consideraran los ramales perpendiculares a los cordones principales ( $\theta = 90^\circ$ ), con esto estamos chequeando que el Ángulo de la carga en la placa cumpla con una de las limitantes.

### 6.1. Sección Circular

- Esbeltez de la pared del tubo

Tabla 4- 87 Limitantes por el espesor del miembro de sección circular, Grado A.

$F_y = 2320 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

<b>Perfil</b> <i>pulg x mm</i>	<b>D/t</b>	<b>Bajo carga axial o flexión en la plancha, "T"</b>	<b>Bajo carga axial o flexión en la plancha, "Cruz"</b>	<b>Bajo corte en la plancha</b>	<b>Planchas de tapado</b>
3" x 2.25	33.87	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
3 1/2" x 2.25	39.51	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
4 1/2" x 2.50	45.72	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
5" x 3.00	42.33	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
5 1/2" x 3.40	41.09	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
6" x 4.00	38.10	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
6 5/8" x 4.30	39.14	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
7 5/8" x 4.50	43.04	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
8 5/8" x 5.50	39.84	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
9 5/8" x 5.50	44.45	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
9 5/8" x 7.00	34.93	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
10 3/4" x 7.00	39.01	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
10 3/4" x 9.00	30.34	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
12 3/4" x 9.00	35.98	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
12 3/4" x 11.00	29.44	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

Tabla 4- 88 Limitantes por el espesor del miembro de sección circular, Grado B.

<b>Perfil</b> <i>pulg x mm</i>	<b>D/t</b>	<b>Bajo carga axial o flexión en la plancha, "T"</b>	<b>Bajo carga axial o flexión en la plancha, "Cruz"</b>	<b>Bajo corte en la plancha</b>	<b>Planchas de tapado</b>
3" x 2.25	33.87	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
3 1/2" x 2.25	39.51	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
4 1/2" x 2.50	45.72	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
5" x 3.00	42.33	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
5 1/2" x 3.40	41.09	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
6" x 4.00	38.10	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
6 5/8" x 4.30	39.14	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
7 5/8" x 4.50	43.04	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
8 5/8" x 5.50	39.84	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
9 5/8" x 5.50	44.45	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
9 5/8" x 7.00	34.93	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
10 3/4" x 7.00	39.01	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
10 3/4" x 9.00	30.34	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
12 3/4" x 9.00	35.98	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
12 3/4" x 11.00	29.44	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

Tabla 4- 89 Limitantes por el espesor del miembro de sección circular, Grado C.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

<b>Perfil</b> <i>pulg x mm</i>	<b>D/t</b>	<b>Bajo carga axial o flexión en la plancha, "T"</b>	<b>Bajo carga axial o flexión en la plancha, "Cruz"</b>	<b>Bajo corte en la plancha</b>	<b>Planchas de tapado</b>
3" x 2.25	33.87	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
3 1/2" x 2.25	39.51	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
4 1/2" x 2.50	45.72	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
5" x 3.00	42.33	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
5 1/2" x 3.40	41.09	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
6" x 4.00	38.10	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
6 5/8" x 4.30	39.14	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
7 5/8" x 4.50	43.04	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
8 5/8" x 5.50	39.84	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
9 5/8" x 5.50	44.45	Cumple	No Cumple	Cumple	Cumple
9 5/8" x 7.00	34.93	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
10 3/4" x 7.00	39.01	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
10 3/4" x 9.00	30.34	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
12 3/4" x 9.00	35.98	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
12 3/4" x 11.00	29.44	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

- Razón de ancho

Tabla 4- 90 Límites para el ancho de la plancha, para secciones circular.

<b>Perfil</b>	<b>Bp min</b>	<b>Bp max</b>
<i>pulg x mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
3" x 2.25	15.24	76.20
3 1/2" x 2.25	17.78	88.90
4 1/2" x 2.50	22.86	114.30
5" x 3.00	25.4	127.00
5 1/2" x 3.40	27.94	139.70
6" x 4.00	30.48	152.40
6 5/8" x 4.30	33.66	168.30
7 5/8" x 4.50	38.74	193.70
8 5/8" x 5.50	43.82	219.10
9 5/8" x 5.50	48.9	244.50
9 5/8" x 7.00	48.9	244.50
10 3/4" x 7.00	54.62	273.10
10 3/4" x 9.00	54.62	273.10
12 3/4" x 9.00	64.77	323.85
12 3/4" x 11.00	64.77	323.85

(Fuente: Elaboración propia).

- Ductilidad

Tabla 4- 91 Limitante de ductilidad del acero, para secciones circular.

<b>Acero</b>	<b>Fy</b>	<b>Fu</b>	<b>Norma</b>
	<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg/cm2</i>	
ASTM 500 Grado A	2320.00	3170.00	Cumple
ASTM 500 Grado B	2955.00	4080.00	Cumple
ASTM 500 Grado C	3230.00	4360.00	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

- Resistencia del material

Tabla 4- 92 Limitante de resistencia del acero, para secciones circular.

Acero	Fy	Norma
	Kg/cm <sup>2</sup>	
ASTM 500 Grado A	2320.00	Cumple
ASTM 500 Grado B	2955.00	Cumple
ASTM 500 Grado C	3230.00	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

## 6.2. Sección Rectangular

- Esbeltez de la pared del tubo

Tabla 4- 93 Limitantes por el espesor del miembro de sección rectangular, Grado A.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

Perfil <i>mm</i>	Conexiones con planchas transversales	Conexiones con planchas longitudinales	Corte en la plancha
80x40x2.25	Cumple	Cumple	Cumple
100x40x2.25	Cumple	Cumple	Cumple
120x60x2.50	Cumple	Cumple	Cumple
140x60x3.00	Cumple	Cumple	Cumple
160x65x3.40	Cumple	Cumple	Cumple
180x65x4.00	Cumple	Cumple	Cumple
200x70x4.30	Cumple	Cumple	Cumple
220x90x4.50	Cumple	Cumple	Cumple
260x90x5.50	Cumple	Cumple	Cumple
300x100x5.50	Cumple	Cumple	Cumple
300x100x7.00	Cumple	Cumple	Cumple
320x120x7.00	Cumple	Cumple	Cumple
320x120x9.00	Cumple	Cumple	Cumple
350x170x9.00	Cumple	Cumple	Cumple
350x170x11.00	Cumple	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

Tabla 4- 94 Limitantes por el espesor del miembro de sección rectangular, Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

<b>Perfil</b>	<b>Conexiones con</b>	<b>Conexiones con</b>	<b>Corte en la</b>
<i>mm</i>	<b>planchas transversales</b>	<b>planchas longitudinales</b>	<b>plancha</b>
80x40x2.25	Cumple	Cumple	Cumple
100x40x2.25	Cumple	Cumple	Cumple
120x60x2.50	Cumple	Cumple	Cumple
140x60x3.00	Cumple	Cumple	Cumple
160x65x3.40	Cumple	Cumple	Cumple
180x65x4.00	Cumple	Cumple	Cumple
200x70x4.30	Cumple	Cumple	Cumple
220x90x4.50	Cumple	Cumple	Cumple
260x90x5.50	Cumple	Cumple	Cumple
300x100x5.50	Cumple	Cumple	Cumple
300x100x7.00	Cumple	Cumple	Cumple
320x120x7.00	Cumple	Cumple	Cumple
320x120x9.00	Cumple	Cumple	Cumple
350x170x9.00	Cumple	Cumple	Cumple
350x170x11.00	Cumple	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

Tabla 4- 95 Limitantes por el espesor del miembro de sección rectangular, Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

<b>Perfil</b>	<b>Conexiones con</b>	<b>Conexiones con</b>	<b>Corte en la</b>
<i>mm</i>	<b>planchas transversales</b>	<b>planchas longitudinales</b>	<b>plancha</b>
80x40x2.25	Cumple	Cumple	Cumple
100x40x2.25	Cumple	Cumple	Cumple
120x60x2.50	Cumple	Cumple	Cumple
140x60x3.00	Cumple	Cumple	Cumple
160x65x3.40	Cumple	Cumple	Cumple
180x65x4.00	Cumple	Cumple	Cumple
200x70x4.30	Cumple	Cumple	Cumple
220x90x4.50	Cumple	Cumple	Cumple
260x90x5.50	Cumple	Cumple	Cumple
300x100x5.50	Cumple	Cumple	Cumple
300x100x7.00	Cumple	Cumple	Cumple
320x120x7.00	Cumple	Cumple	Cumple
320x120x9.00	Cumple	Cumple	Cumple
350x170x9.00	Cumple	Cumple	Cumple
350x170x11.00	Cumple	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

- Razón de ancho

Tabla 4- 96 Límites para el ancho de la plancha, para secciones rectangular.

<b>Perfil</b>	<b>Bp min</b>	<b>Bp max</b>
<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
80x40x2.25	10.00	40.00
100x40x2.25	10.00	40.00
120x60x2.50	15.00	60.00
140x60x3.00	15.00	60.00
160x65x3.40	16.25	65.00
180x65x4.00	16.25	65.00
200x70x4.30	17.50	70.00
220x90x4.50	22.50	90.00
260x90x5.50	22.50	90.00
300x100x5.50	25.00	100.00
300x100x7.00	25.00	100.00
320x120x7.00	30.00	120.00
320x120x9.00	30.00	120.00
350x170x9.00	42.50	170.00
350x170x11.00	42.50	170.00

(Fuente: Elaboración propia)

- Ductilidad

Tabla 4- 97 Limitante de ductilidad del acero, para secciones rectangular.

<b>Acero</b>	<b>Fy</b>	<b>Fu</b>	<b>Norma</b>
	<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	
ASTM 500 Grado A	2740.00	3170.00	Cumple
ASTM 500 Grado B	3230.00	4080.00	Cumple
ASTM 500 Grado C	3515.00	4360.00	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

- Resistencia del material

Tabla 4- 98 Limitante de resistencia del acero, para secciones rectangular.

Acero	Fy	Norma
	Kg/cm <sup>2</sup>	
ASTM 500 Grado A	2740.00	Cumple
ASTM 500 Grado B	3230.00	Cumple
ASTM 500 Grado C	3515.00	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

### 6.3. Sección Cuadrada

- Esbeltez de la pared del tubo

Tabla 4- 99 Limitantes por el espesor del miembro de sección cuadrada, Grado A.

*Fy= 2740 kg/cm<sup>2</sup> Grado A*

Perfil <i>mm</i>	Conexiones con planchas transversales	Coenxiones con planchas longitudinales	Corte en la plancha
60x60x2.25	Cumple	Cumple	Cumple
70x70x2.25	Cumple	Cumple	Cumple
90x90x2.50	No Cumple	Cumple	Cumple
100x100x3.00	Cumple	Cumple	Cumple
110x110x3.40	Cumple	Cumple	Cumple
120x120x4.00	Cumple	Cumple	Cumple
135x135x4.30	Cumple	Cumple	Cumple
155x155x4.50	Cumple	Cumple	Cumple
175x175x5.50	Cumple	Cumple	Cumple
200x200x5.50	No Cumple	Cumple	Cumple
200x200x7.00	Cumple	Cumple	Cumple
220x220x7.00	Cumple	Cumple	Cumple
220x220x9.00	Cumple	Cumple	Cumple
260x260x9.00	Cumple	Cumple	Cumple
260x260x11.00	Cumple	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

Tabla 4- 100 Limitantes por el espesor del miembro de sección cuadrada, Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

<b>Perfil</b>	<b>Conexiones con</b>	<b>Coenxiones con</b>	<b>Corte en la</b>
<i>mm</i>	<b>planchas transversales</b>	<b>planchas longitudinales</b>	<b>plancha</b>
60x60x2.25	Cumple	Cumple	Cumple
70x70x2.25	Cumple	Cumple	Cumple
90x90x2.50	No Cumple	Cumple	Cumple
100x100x3.00	Cumple	Cumple	Cumple
110x110x3.40	Cumple	Cumple	Cumple
120x120x4.00	Cumple	Cumple	Cumple
135x135x4.30	Cumple	Cumple	Cumple
155x155x4.50	Cumple	Cumple	Cumple
175x175x5.50	Cumple	Cumple	Cumple
200x200x5.50	No Cumple	Cumple	Cumple
200x200x7.00	Cumple	Cumple	Cumple
220x220x7.00	Cumple	Cumple	Cumple
220x220x9.00	Cumple	Cumple	Cumple
260x260x9.00	Cumple	Cumple	Cumple
260x260x11.00	Cumple	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

Tabla 4- 101 Limitantes por el espesor del miembro de sección cuadrada, Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

<b>Perfil</b>	<b>Conexiones con</b>	<b>Coenxiones con</b>	<b>Corte en la</b>
<i>mm</i>	<b>planchas transversales</b>	<b>planchas longitudinales</b>	<b>plancha</b>
60x60x2.25	Cumple	Cumple	Cumple
70x70x2.25	Cumple	Cumple	Cumple
90x90x2.50	No Cumple	Cumple	Cumple
100x100x3.00	Cumple	Cumple	Cumple
110x110x3.40	Cumple	Cumple	Cumple
120x120x4.00	Cumple	Cumple	Cumple
135x135x4.30	Cumple	Cumple	Cumple
155x155x4.50	Cumple	Cumple	Cumple
175x175x5.50	Cumple	Cumple	Cumple
200x200x5.50	No Cumple	Cumple	Cumple
200x200x7.00	Cumple	Cumple	Cumple
220x220x7.00	Cumple	Cumple	Cumple
220x220x9.00	Cumple	Cumple	Cumple
260x260x9.00	Cumple	Cumple	Cumple
260x260x11.00	Cumple	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

- Razón de ancho

Tabla 4- 102 Límites para el ancho de la plancha, para secciones cuadrada.

<b>Perfil</b>	<b>Bp min</b>	<b>Bp max</b>
<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
60x60x2.25	15.00	60.00
70x70x2.25	17.50	70.00
90x90x2.50	22.50	90.00
100x100x3.00	25.00	100.00
110x110x3.40	27.50	110.00
120x120x4.00	30.00	120.00
135x135x4.30	33.75	135.00
155x155x4.50	38.75	155.00
175x175x5.50	43.75	175.00
200x200x5.50	50.00	200.00
200x200x7.00	50.00	200.00
220x220x7.00	55.00	220.00
220x220x9.00	55.00	220.00
260x260x9.00	65.00	260.00
260x260x11.00	65.00	260.00

(Fuente: Elaboración propia).

- Ductilidad

Tabla 4- 103 Limitante de ductilidad del acero, para secciones cuadrada.

<b>Acero</b>	<b>Fy</b>	<b>Fu</b>	<b>Norma</b>
	<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	<i>Kg/cm<sup>2</sup></i>	
ASTM 500 Grado A	2740.00	3170.00	Cumple
ASTM 500 Grado B	3230.00	4080.00	Cumple
ASTM 500 Grado C	3515.00	4360.00	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

- Resistencia del material

Tabla 4- 104 Limitante de resistencia del acero, para secciones cuadradas.

Acero	Fy	Norma
	Kg/cm <sup>2</sup>	
ASTM 500 Grado A	2740.00	Cumple
ASTM 500 Grado B	3230.00	Cumple
ASTM 500 Grado C	3515.00	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

## 7. Conexiones a Momento Tubo a Tubo

El alcance de este capítulo sigue las especificaciones de la norma “*AISC/ANSI 360-10 Para Construcciones de Acero*” y se limita a conexiones planas entre miembros tubulares directamente soldadas entre sí, en forma de “T”, “Y”, y conexiones cruzadas. Este capítulo es, aplicable a conexiones a momento parcialmente restringidas (PR) o totalmente restringidas (FR).

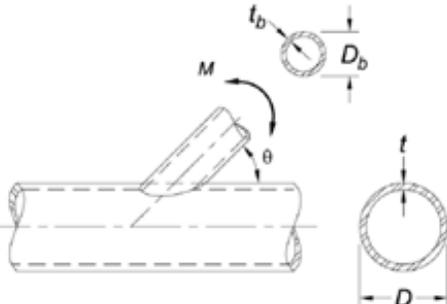
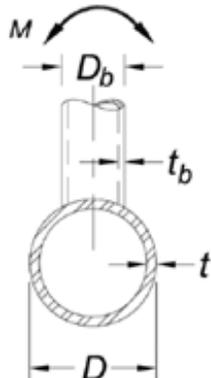
Los criterios de diseño para conexiones de miembros tubulares circulares a momento, se basan en los estados límite de:

- Plastificación de la pared del cordón.
- Corte.

Para las conexiones de miembros tubulares rectangulares a momento, los criterios de diseño se basan en los estados límite de:

- Plastificación de la pared del cordón.
- Cedencia local de las paredes laterales.
- Cedencia local debido a la distribución uniforme de la carga.

Tabla 4- 105 Resistencia disponible de conexiones de Momento Tubo-Tubo para secciones Tubulares Circulares

Tipo de Conexión	Resistencia a Flexión Disponible de la Conexión
<p>Ramas(s) solicitadas por flexión en el plano Conexiones en T, en Y y en Cruz</p> 	<p>Estado límite: Plastificación del cordón</p> $M_n \sin \theta = 5,39 F_y t^2 \gamma^{0,5} \beta D_b Q_f \quad (4-87)$ $\Phi = 0,90 \text{ (LRFD)}$ <p>Estado límite: Cedencia por corte (punzonamiento), cuando <math>D_b &lt; (D - 2t)</math></p> $M_n = 0,6 F_y t D_b^2 \left( \frac{1 + 3 \sin \theta}{4 \sin^2 \theta} \right) \quad (4-88)$ $\Phi = 0,95 \text{ (LRFD)}$
<p>Rama(s) solicitadas por Flexión fuera del plano Conexiones en T, en Y y en Cruz</p> 	<p>Estado límite: Plastificación del cordón</p> $M_n \sin \theta = F_y t^2 D_b \left( \frac{3,0}{1 - 0,81 \beta} \right) Q_f \quad (4-89)$ $\Phi = 0,90 \text{ (LRFD)}$ <p>Estado límite: Cedencia por corte (punzonamiento), cuando <math>D_b &lt; (D - 2t)</math></p> $M_n = 0,6 F_y t D_b^2 \left( \frac{3 + \sin \theta}{4 \sin^2 \theta} \right) \quad (4-90)$ $\Phi = 0,95 \text{ (LRFD)}$

(Fuente: Adaptación de la Tabla 9-1. AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Tabla 4- 106 Continuación de la Tabla 104. Resistencia disponible de conexiones de Momento Tubo-Tubo para secciones Tubulares Circulares

<p>Para conexiones en T, en Y y en Cruz, con rama(s) bajo una combinación de carga axial y flexión en el plano y fuera del plano, o cualquiera combinación de estos efectos de carga:</p> $\frac{P_r}{P_c} + \left(\frac{M_{r-ip}}{M_{c-ip}}\right)^2 + \left(\frac{M_{r-op}}{M_{c-op}}\right) \leq 1.0 \quad (4-91)$ <p><math>M_{c-ip} = \Phi * M_n</math> = resistencia de diseño a flexión para flexión en el plano obtenida de la Tabla 4-105, kgf-m (N-mm).</p> <p><math>M_{c-op} = M_n/\Omega</math> = resistencia admisible a flexión para flexión en el plano obtenida de la Tabla 4-105, kgf-m (N-mm).</p> <p><math>M_{c-op} = \Phi * M_n</math> = resistencia de diseño a flexión para flexión fuera del plano obtenida de la Tabla 4-105, kgf-m (N-mm).</p> <p><math>M_{c-op} = M_n/\Omega</math> = resistencia admisible a flexión para flexión fuera del plano obtenida de la Tabla 4-105, kgf-m (N-mm).</p> <p><math>M_{r-ip}</math> = resistencia requerida a flexión para la flexión en el plano, usando combinaciones de carga LRFD según sea aplicable, kgf-m (N-mm).</p> <p><math>M_{r-op}</math> = resistencia requerida a flexión para la flexión en el plano, usando combinaciones de carga LRFD según sea aplicable, kgf-m (N-mm).</p> <p><math>P_c = \Phi P</math> = resistencia de diseño axial.</p> <p><math>P_c = P_n/\Omega</math> = resistencia admisible axial.</p> <p><math>P_r</math> = resistencia requerida a fuerza axial, usando combinaciones de carga LRFD según sea aplicable, t (N).</p>
--

(Fuente: Adaptación de la Tabla 9-1. AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Tabla 4- 107 Resistencia disponible de conexiones de Momento Tubo-Tubo para secciones Tubulares Circulares.

Funciones	
$Q_f = 1$ para cordones (superficie conectada) en tracción.	
$Q_f = 1.0 - 0.3U(1 + U)$ para perfiles tubulares (superficie de conexión) en compresión.	(4-73)
$U = \left  \frac{P_{ro}}{F_c A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c S} \right $	(4-92)
Donde $P_{ro}$ y $M_{ro}$ son determinados en el lado de la junta que tiene el esfuerzo de compresión más bajo. $P_{ro}$ y $M_{ro}$ es referida a la resistencia requeridas en el tubo. $P_{ro} = P_u$ y $M_{ro} = M_u$ para LRFD.	

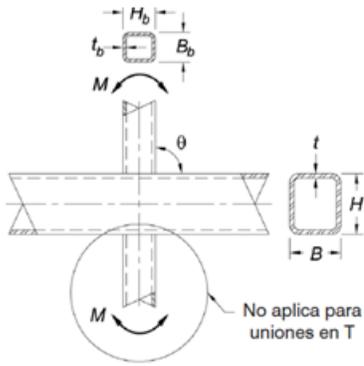
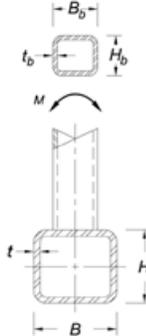
(Fuente: Adaptación de la Tabla 9-1. AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Tabla 4- 108 Límites de aplicabilidad para la Tabla 4-104

Límites de aplicabilidad	
Angulo de carga en la plancha	$\Theta \geq 30^\circ$
Esbeltez de la pared del cordón	$D/t \leq 50$ para conexiones en T y en Y. $D/t \leq 40$ para conexiones en cruz.
Esbeltez de la pared de la rama	$D_b/t_b \leq 50$ para la rama en tracción. $D_b/t_b \leq 0,05 E/F_{yb}$ para conexiones en K excéntricas.
Razón de Ancho	$0.2 < D_b / D \leq 1.0$ para conexión de plancha en ramal transversal.
Resistencia del material	$F_y$ y $F_{yb} \leq 3660 \text{ kg/cm}^2$ .
Ductilidad	$F_y/F_u$ y $F_{yb}/F_{ub} \leq 0.80$

(Fuente: Adaptación de la Tabla 9-1A. AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Tabla 4- 109 Resistencia disponible de conexiones de Momento Tubo-Tubo con secciones tubulares rectangulares.

Tipo de Conexión	Resistencia a Flexión Disponible de la Conexión
<p>Rama(s) solicitadas por Flexión en el plano Conexiones en T y en Cruz</p>  <p>No aplica para uniones en T</p>	<p>Estado límite: Plastificación de la pared del cordón cuando <math>\beta \leq 0,85</math></p> $M_n = F_y t_b^2 H_b \left[ \frac{1}{2\eta} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{\eta}{(1-\beta)} \right] Q_f \quad (4-93)$ <p><math>\Phi = 1.00</math> (LRFD)</p>
	<p>Estado límite: Cedencia local de las paredes de los lados del cordón, cuando <math>\beta &gt; 0,85</math></p> $M_n = 0,5 F_y t (H_b + 5t)^2 \quad (4-94)$ <p><math>\Phi = 1.00</math> (LRFD)</p>
	<p>Estado límite: Cedencia local de la rama(s) debido a una distribución desigual de la carga cuando <math>\beta &gt; 0,85</math></p> $M_n = F_{yb} \left[ Z_b - \left( 1 - \frac{b_{eol}}{B_b} \right) B_b H_b t_b \right] \quad (4-95)$ <p><math>\Phi = 0.95</math> (LRFD)</p>
<p>Rama(s) solicitadas por Flexión fuera del plano Conexiones en T y en Cruz</p> 	<p>Estado límite: Cedencia de la pared del cordón cuando <math>\beta \leq 0,85</math></p> $M_n = F_y t^2 \left[ \frac{0,5 H_b (1 + \beta)}{(1 - \beta)} + \sqrt{\frac{2 B B_b (1 + \beta)}{(1 - \beta)}} \right] Q_f \quad (4-96)$ <p><math>\Phi = 1.00</math> (LRFD)</p>
	<p>Estado límite: Cedencia de la pared del cordón, cuando <math>\beta &gt; 0,85</math></p> $M_n = F_y t (B - t) (H_b + 5t) \quad (4-97)$ <p><math>\Phi = 1.00</math> (LRFD)</p>
	<p>Estado límite: Cedencia local de la rama(s) debido a una distribución desigual de carga, cuando <math>\beta &gt; 0,85</math></p> $M_n = F_{yb} \left[ Z_b - 0,5 \left( 1 - \frac{b_{eol}}{B_b} \right) B_b^2 t_b \right] \quad (4-98)$ <p><math>\Phi = 0.95</math> (LRFD)</p>
	<p>Estado límite: Falla por distorsión del cordón, para conexiones en T y conexiones en Cruz desbalanceadas</p> $M_n = 2 F_y t [H_b t + \sqrt{B H t (B + H)}] \quad (4-99)$ <p><math>\Phi = 1.00</math> (LRFD)</p>

(Fuente: Adaptación de la Tabla 9-2. AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Tabla 4- 110 Continuación de la Tabla 108. Resistencia disponible de conexiones de Momento Tubo-Tubo con secciones tubulares rectangulares.

<p>Para conexiones en T, en Y y en Cruz, con rama(s) bajo una combinación de carga axial, flexión en el plano y fuera del plano, o cualquiera combinación de estos efectos de carga:</p> $\frac{P_c}{P_c} + \left( \frac{M_{r-ip}}{M_{c-ip}} \right) + \left( \frac{M_{r-op}}{M_{c-op}} \right) \leq 1.0 \quad (4-93)$ <p><math>M_{c-ip} = \Phi * M_n</math> = resistencia de diseño a flexión para flexión en el plano obtenida de la Tabla 4-109, kgf-m (N-mm).</p> <p><math>M_{c-op} = M_n / \Omega</math> = resistencia admisible a flexión para flexión en el plano obtenida de la Tabla 4-109, kgf-m (N-mm).</p> <p><math>M_{c-op} = \Phi * M_n</math> = resistencia de diseño a flexión para flexión fuera del plano obtenida de la Tabla 4-109, kgf-m (N-mm).</p> <p><math>M_{c-op} = M_n / \Omega</math> = resistencia admisible a flexión para flexión fuera del plano obtenida de la Tabla 4-109, kgf-m (N-mm).</p> <p><math>M_{r-ip}</math> = resistencia requerida a flexión para la flexión en el plano, usando combinaciones de carga LRFD según sea aplicable, kgf-m (N-mm).</p> <p><math>M_{r-op}</math> = resistencia requerida a flexión para la flexión en el plano, usando combinaciones de carga LRFD según sea aplicable, kgf-m (N-mm).</p> <p><math>P_c = \Phi P</math> = resistencia de diseño axial.</p> <p><math>P_c = P_n / \Omega</math> = resistencia admisible axial.</p> <p><math>P_r</math> = resistencia requerida a fuerza axial, usando combinaciones de carga LRFD según sea aplicable, t (N).</p>
---

(Fuente: Adaptación de la Tabla 9-2. AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Tabla 4- 111 Resistencia disponible de conexiones de Momento Tubo-Tubo con secciones tubulares rectangulares.

Funciones	
$Q_f = 1$ para cordones (superficie conectada) en tracción.	
$Q_f = 1.3 - 0.4 \frac{U}{\beta} \leq 1.0$ para perfiles tubulares (superficie de conexión) en compresión.	(4-94)
$U = \left  \frac{P_{ro}}{F_c A_g} + \frac{M_{ro}}{F_c S} \right $	(4-92)
Donde $P_{ro}$ y $M_{ro}$ son determinados en el lado de la junta que tiene el esfuerzo de compresión más bajo. $P_{ro}$ y $M_{ro}$ es referida a la resistencia requeridas en el tubo. $P_{ro} = P_u$ y $M_{ro} = M_u$ para LRFD.	
$F_y^*$ = $F_y$ para conexiones en T y $F_y$ para conexiones en cruz.	
$b_{eol} = \frac{10}{B/t} \left( \frac{F_y t}{F_{yb} t_b} \right) B_b \leq B_b$	(4-95)

(Fuente: Adaptación de la Tabla 9-2. AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

Tabla 4- 112 Límites de aplicabilidad de la Tabla 4-108.

Límites de aplicabilidad	
Angulo de carga en la plancha	$\Theta \approx 90^\circ$
Esbeltez de la pared del cordón	$B/t$ y $H/t \leq 35$
Esbeltez de la pared de la rama	$B_b/t_b$ y $H_b/t_b \leq 35$ $B_b/t_b$ y $H_b/t_b \leq 1,25 \sqrt{\frac{E}{F_{yb}}}$
Razón de Ancho	$B_b/B \geq 0,25$
Razón de Aspecto	$0,5 \leq H_b/B_b \leq 2,0$ y $0,5 \leq H/B \leq 2,0$
Resistencia del material	$F_y$ y $F_{yb} \leq 3660 \text{ kg/cm}^2$ .
Ductilidad	$F_y/F_u$ y $F_{yb}/F_{ub} \leq 0.80$

(Fuente: Adaptación de la Tabla 9-2A. AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010)

A nuestros efectos de investigación, se consideraran los ramales perpendiculares a los cordones principales ( $\theta = 90^\circ$ ), con esto estamos chequeando que el Ángulo de la carga en la placa cumpla con una de las limitantes.

### 7.1. Sección Circular

- Esbeltez de la pared del cordón

Tabla 4- 113 Limitantes por el espesor del miembro principal de sección circular.

Perfil <i>pulg x mm</i>	Conexiones en T y en Y	Conexiones en Cruz
3" x 2.25	Cumple	Cumple
3 1/2" x 2.25	Cumple	Cumple
4 1/2" x 2.50	Cumple	No Cumple
5" x 3.00	Cumple	No Cumple
5 1/2" x 3.40	Cumple	No Cumple
6" x 4.00	Cumple	Cumple
6 5/8" x 4.30	Cumple	Cumple
7 5/8" x 4.50	Cumple	No Cumple
8 5/8" x 5.50	Cumple	Cumple
9 5/8" x 5.50	Cumple	No Cumple
9 5/8" x 7.00	Cumple	Cumple
10 3/4" x 7.00	Cumple	Cumple
10 3/4" x 9.00	Cumple	Cumple
12 3/4" x 9.00	Cumple	Cumple
12 3/4" x 11.00	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

- Esbeltez de la pared de la Rama

Tabla 4- 114 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección circular, Grado A.

$F_y = 2320 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

<b>Perfil</b>	<b>Rama en Tracción.</b>	<b>Conexiones en K excéntricas.</b>
<i>pulg x mm</i>		
3" x 2.25	Cumple	Cumple
3 1/2" x 2.25	Cumple	Cumple
4 1/2" x 2.50	Cumple	No Cumple
5" x 3.00	Cumple	Cumple
5 1/2" x 3.40	Cumple	Cumple
6" x 4.00	Cumple	Cumple
6 5/8" x 4.30	Cumple	Cumple
7 5/8" x 4.50	Cumple	Cumple
8 5/8" x 5.50	Cumple	Cumple
9 5/8" x 5.50	Cumple	Cumple
9 5/8" x 7.00	Cumple	Cumple
10 3/4" x 7.00	Cumple	Cumple
10 3/4" x 9.00	Cumple	Cumple
12 3/4" x 9.00	Cumple	Cumple
12 3/4" x 11.00	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

Tabla 4- 115 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección circular, Grado B.

$F_y = 2955 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

<b>Perfil</b>	<b>Rama en Tracción.</b>	<b>Conexiones en K excéntricas.</b>
<i>pulg x mm</i>		
3" x 2.25	Cumple	Cumple
3 1/2" x 2.25	Cumple	No Cumple
4 1/2" x 2.50	Cumple	No Cumple
5" x 3.00	Cumple	No Cumple
5 1/2" x 3.40	Cumple	No Cumple
6" x 4.00	Cumple	No Cumple
6 5/8" x 4.30	Cumple	No Cumple
7 5/8" x 4.50	Cumple	No Cumple
8 5/8" x 5.50	Cumple	No Cumple
9 5/8" x 5.50	Cumple	No Cumple
9 5/8" x 7.00	Cumple	Cumple
10 3/4" x 7.00	Cumple	No Cumple
10 3/4" x 9.00	Cumple	Cumple
12 3/4" x 9.00	Cumple	No Cumple
12 3/4" x 11.00	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

Tabla 4- 116 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección circular, Grado C.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

<b>Perfil</b>	<b>Rama en Tracción.</b>	<b>Conexiones en K excéntricas.</b>
<i>pulg x mm</i>		
3" x 2.25	Cumple	No Cumple
3 1/2" x 2.25	Cumple	No Cumple
4 1/2" x 2.50	Cumple	No Cumple
5" x 3.00	Cumple	No Cumple
5 1/2" x 3.40	Cumple	No Cumple
6" x 4.00	Cumple	No Cumple
6 5/8" x 4.30	Cumple	No Cumple
7 5/8" x 4.50	Cumple	No Cumple
8 5/8" x 5.50	Cumple	No Cumple
9 5/8" x 5.50	Cumple	No Cumple
9 5/8" x 7.00	Cumple	No Cumple
10 3/4" x 7.00	Cumple	No Cumple
10 3/4" x 9.00	Cumple	Cumple
12 3/4" x 9.00	Cumple	No Cumple
12 3/4" x 11.00	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

- Razón de ancho

Tabla 4- 117 Límite para el ancho del ramal, para secciones circular.

<b>Perfil</b>	<b>Diámetro de ramal</b>	<b>Diámetro de ramal</b>
<i>pulg x mm</i>	<b>mínimo (mm).</b>	<b>máximo (mm).</b>
3" x 2.25	15.24	76.2
3 1/2" x 2.25	17.78	88.9
4 1/2" x 2.50	22.86	114.3
5" x 3.00	25.4	127
5 1/2" x 3.40	27.94	139.7
6" x 4.00	30.48	152.4
6 5/8" x 4.30	33.66	168.3
7 5/8" x 4.50	38.74	193.7
8 5/8" x 5.50	43.82	219.1
9 5/8" x 5.50	48.9	244.5
9 5/8" x 7.00	48.9	244.5
10 3/4" x 7.00	54.62	273.1
10 3/4" x 9.00	54.62	273.1
12 3/4" x 9.00	64.77	323.85
12 3/4" x 11.00	64.77	323.85

(Fuente: Elaboración Propia).

- Ductilidad

Tabla 4- 118 Limitante de ductilidad del acero, para secciones circular.

Acero	Fy	Fu	Norma
	<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg/cm2</i>	
ASTM 500 Grado A	2320.00	3170.00	Cumple
ASTM 500 Grado B	2955.00	4080.00	Cumple
ASTM 500 Grado C	3230.00	4360.00	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

- Resistencia del material

Tabla 4- 119 Limitante de resistencia del acero, para secciones circular.

Acero	Fy	Norma
	<i>Kg/cm2</i>	
ASTM 500 Grado A	2320.00	Cumple
ASTM 500 Grado B	2955.00	Cumple
ASTM 500 Grado C	3230.00	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

## 7.2. Sección rectangular

- Esbeltez de la pared del cordón

Tabla 4- 120 Limitantes por el espesor del miembro principal de sección rectangular.

Perfil	Norma
<i>mm</i>	
80x40x2.25	No Cumple
100x40x2.25	No Cumple
120x60x2.50	No Cumple
140x60x3.00	No Cumple
160x65x3.40	No Cumple
180x65x4.00	No Cumple
200x70x4.30	No Cumple
220x90x4.50	No Cumple
260x90x5.50	No Cumple
300x100x5.50	No Cumple
300x100x7.00	No Cumple
320x120x7.00	No Cumple
320x120x9.00	No Cumple
350x170x9.00	No Cumple
350x170x11.00	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

- Esbeltez de la pared rama

Tabla 4- 121 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección rectangular, Grado A.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

Perfil	Rama en Tracción.	Norma
<i>mm</i>		
80x40x2.25	No Cumple	No Cumple
100x40x2.25	No Cumple	No Cumple
120x60x2.50	No Cumple	No Cumple
140x60x3.00	No Cumple	No Cumple
160x65x3.40	No Cumple	No Cumple
180x65x4.00	No Cumple	No Cumple
200x70x4.30	No Cumple	No Cumple
220x90x4.50	No Cumple	No Cumple
260x90x5.50	No Cumple	No Cumple
300x100x5.50	No Cumple	No Cumple
300x100x7.00	No Cumple	No Cumple
320x120x7.00	No Cumple	No Cumple
320x120x9.00	No Cumple	No Cumple
350x170x9.00	No Cumple	No Cumple
350x170x11.00	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

Tabla 4- 122 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección rectangular, Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

<b>Perfil</b>	<b>Rama en Tracción.</b>	<b>Norma</b>
<i>mm</i>		
80x40x2.25	No Cumple	No Cumple
100x40x2.25	No Cumple	No Cumple
120x60x2.50	No Cumple	No Cumple
140x60x3.00	No Cumple	No Cumple
160x65x3.40	No Cumple	No Cumple
180x65x4.00	No Cumple	No Cumple
200x70x4.30	No Cumple	No Cumple
220x90x4.50	No Cumple	No Cumple
260x90x5.50	No Cumple	No Cumple
300x100x5.50	No Cumple	No Cumple
300x100x7.00	No Cumple	No Cumple
320x120x7.00	No Cumple	No Cumple
320x120x9.00	No Cumple	No Cumple
350x170x9.00	No Cumple	No Cumple
350x170x11.00	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

Tabla 4- 123 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección rectangular, Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

<b>Perfil</b>	<b>Rama en Tracción.</b>	<b>Norma</b>
<i>mm</i>		
80x40x2.25	No Cumple	No Cumple
100x40x2.25	No Cumple	No Cumple
120x60x2.50	No Cumple	No Cumple
140x60x3.00	No Cumple	No Cumple
160x65x3.40	No Cumple	No Cumple
180x65x4.00	No Cumple	No Cumple
200x70x4.30	No Cumple	No Cumple
220x90x4.50	No Cumple	No Cumple
260x90x5.50	No Cumple	No Cumple
300x100x5.50	No Cumple	No Cumple
300x100x7.00	No Cumple	No Cumple
320x120x7.00	No Cumple	No Cumple
320x120x9.00	No Cumple	No Cumple
350x170x9.00	No Cumple	No Cumple
350x170x11.00	Cumple	No Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

- Razón de ancho

Tabla 4- 124 Límite para el ancho del ramal, para secciones rectangular.

<b>Perfil</b>	<b>Ancho mínimo del ramal (mm).</b>
<i>mm</i>	
80x40x2.25	10
100x40x2.25	10
120x60x2.50	15
140x60x3.00	15
160x65x3.40	16.25
180x65x4.00	16.25
200x70x4.30	17.5
220x90x4.50	22.5
260x90x5.50	22.5
300x100x5.50	25
300x100x7.00	25
320x120x7.00	30
320x120x9.00	30
350x170x9.00	42.5
350x170x11.00	42.5

(Fuente: Elaboración Propia).

- Razón de aspecto

Tabla 4- 125 Límite para el aspecto del ramal, para secciones rectangular.

<b>Perfil</b>	<b>Norma</b>
<i>mm</i>	
80x40x2.25	Cumple
100x40x2.25	No Cumple
120x60x2.50	Cumple
140x60x3.00	No Cumple
160x65x3.40	No Cumple
180x65x4.00	No Cumple
200x70x4.30	No Cumple
220x90x4.50	No Cumple
260x90x5.50	No Cumple
300x100x5.50	No Cumple
300x100x7.00	No Cumple
320x120x7.00	No Cumple
320x120x9.00	No Cumple
350x170x9.00	No Cumple
350x170x11.00	No Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

- Ductilidad

Tabla 4- 126 Limitante de ductilidad del acero, para secciones rectangular.

Acero	Fy	Fu	Norma
	<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg/cm2</i>	
ASTM 500 Grado A	2740.00	3170.00	Cumple
ASTM 500 Grado B	3230.00	4080.00	Cumple
ASTM 500 Grado C	3515.00	4360.00	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

- Resistencia del material

Tabla 4- 127 Limitante de resistencia del acero, para secciones rectangular.

Acero	Fy	Norma
	<i>Kg/cm2</i>	
ASTM 500 Grado A	2740.00	Cumple
ASTM 500 Grado B	3230.00	Cumple
ASTM 500 Grado C	3515.00	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

### 7.3. Sección Cuadrada

- Esbeltez de la pared del cordón

Tabla 4- 128 Limitantes por el espesor del miembro principal de sección cuadrada.

<b>Perfil</b>	<b>Norma</b>
<i>mm</i>	
60x60x2.25	Cumple
70x70x2.25	Cumple
90x90x2.50	No Cumple
100x100x3.00	Cumple
110x110x3.40	Cumple
120x120x4.00	Cumple
135x135x4.30	Cumple
155x155x4.50	Cumple
175x175x5.50	Cumple
200x200x5.50	No Cumple
200x200x7.00	Cumple
220x220x7.00	Cumple
220x220x9.00	Cumple
260x260x9.00	Cumple
260x260x11.00	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

- Esbeltez de la pared de la rama

Tabla 4- 129 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección cuadrada, Grado A.

$F_y = 2740 \text{ kg/cm}^2$  Grado A

<b>Perfil</b>	<b>Rama en Tracción.</b>	<b>Norma</b>
<i>mm</i>		
60x60x2.25	Cumple	Cumple
70x70x2.25	Cumple	Cumple
90x90x2.50	No Cumple	No Cumple
100x100x3.00	Cumple	Cumple
110x110x3.40	Cumple	Cumple
120x120x4.00	Cumple	Cumple
135x135x4.30	Cumple	Cumple
155x155x4.50	Cumple	Cumple
175x175x5.50	Cumple	Cumple
200x200x5.50	No Cumple	No Cumple
200x200x7.00	Cumple	Cumple
220x220x7.00	Cumple	Cumple
220x220x9.00	Cumple	Cumple
260x260x9.00	Cumple	Cumple
260x260x11.00	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

Tabla 4- 130 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección cuadrada, Grado B.

$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$  Grado B

Perfil <i>mm</i>	Rama en Tracción.	Norma
60x60x2.25	Cumple	Cumple
70x70x2.25	Cumple	Cumple
90x90x2.50	No Cumple	No Cumple
100x100x3.00	Cumple	No Cumple
110x110x3.40	Cumple	No Cumple
120x120x4.00	Cumple	Cumple
135x135x4.30	Cumple	Cumple
155x155x4.50	Cumple	No Cumple
175x175x5.50	Cumple	Cumple
200x200x5.50	No Cumple	No Cumple
200x200x7.00	Cumple	Cumple
220x220x7.00	Cumple	Cumple
220x220x9.00	Cumple	Cumple
260x260x9.00	Cumple	Cumple
260x260x11.00	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

Tabla 4- 131 Limitantes por el espesor del miembro ramal de sección cuadrada, Grado C.

$F_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$  Grado C

Perfil <i>mm</i>	Rama en Tracción.	Norma
60x60x2.25	Cumple	Cumple
70x70x2.25	Cumple	No Cumple
90x90x2.50	No Cumple	No Cumple
100x100x3.00	Cumple	No Cumple
110x110x3.40	Cumple	No Cumple
120x120x4.00	Cumple	Cumple
135x135x4.30	Cumple	No Cumple
155x155x4.50	Cumple	No Cumple
175x175x5.50	Cumple	No Cumple
200x200x5.50	No Cumple	No Cumple
200x200x7.00	Cumple	Cumple
220x220x7.00	Cumple	No Cumple
220x220x9.00	Cumple	Cumple
260x260x9.00	Cumple	Cumple
260x260x11.00	Cumple	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

- Razón de ancho

Tabla 4- 132 Límite para el ancho del ramal, para secciones cuadrada.

<b>Perfil</b>	<b>Ancho mínimo del ramal (mm).</b>
<i>mm</i>	
60x60x2.25	15
70x70x2.25	17.5
90x90x2.50	22.5
100x100x3.00	25
110x110x3.40	27.5
120x120x4.00	30
135x135x4.30	33.75
155x155x4.50	38.75
175x175x5.50	43.75
200x200x5.50	50
200x200x7.00	50
220x220x7.00	55
220x220x9.00	55
260x260x9.00	65
260x260x11.00	65

(Fuente: Elaboración Propia).

- Razón de aspecto

Tabla 4- 133 Límite para el aspecto del ramal, para secciones cuadrada.

<b>Perfil</b>	<b>Norma</b>
<i>mm</i>	
60x60x2.25	Cumple
70x70x2.25	Cumple
90x90x2.50	Cumple
100x100x3.00	Cumple
110x110x3.40	Cumple
120x120x4.00	Cumple
135x135x4.30	Cumple
155x155x4.50	Cumple
175x175x5.50	Cumple
200x200x5.50	Cumple
200x200x7.00	Cumple
220x220x7.00	Cumple
220x220x9.00	Cumple
260x260x9.00	Cumple
260x260x11.00	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

- Ductilidad

Tabla 4- 134 Limitante de ductilidad del acero, para secciones cuadrada.

Acero	Fy	Fu	Norma
	<i>Kg/cm2</i>	<i>Kg/cm2</i>	
ASTM 500 Grado A	2740.00	3170.00	Cumple
ASTM 500 Grado B	3230.00	4080.00	Cumple
ASTM 500 Grado C	3515.00	4360.00	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

- Resistencia del material

Tabla 4- 135 Limitante de resistencia del acero, para secciones cuadradas.

Acero	Fy	Norma
	<i>Kg/cm2</i>	
ASTM 500 Grado A	2740.00	Cumple
ASTM 500 Grado B	3230.00	Cumple
ASTM 500 Grado C	3515.00	Cumple

(Fuente: Elaboración Propia).

## **CAPÍTULO V**

### **DISEÑO DE CONEXIONES**

A continuación se muestra el plano de una estructura de dos niveles que será evaluado para realizar las siguientes combinaciones de perfiles:

- Modelo n° 1: Columnas de perfil tubular de sección cuadrada con vigas IPN.
- Modelo n° 2: Columnas de perfil tubular cuadrado con vigas de perfil tubular cuadrado.
- Modelo n° 3: Columnas de perfil tubular circular con vigas IPN.

A la misma se verificara que la conexión sea lo suficientemente fuerte para soportar las solicitaciones aplicadas a la estructura, siendo evaluada por fuerza axial, corte y momento, según las especificaciones de la “*AISC Design Guide 24: Hollow Structural Section Connections, 2010*”.

Por último se diseñar la soldadura a usar y de ser necesario el reforzamiento de la conexión mediante planchas.

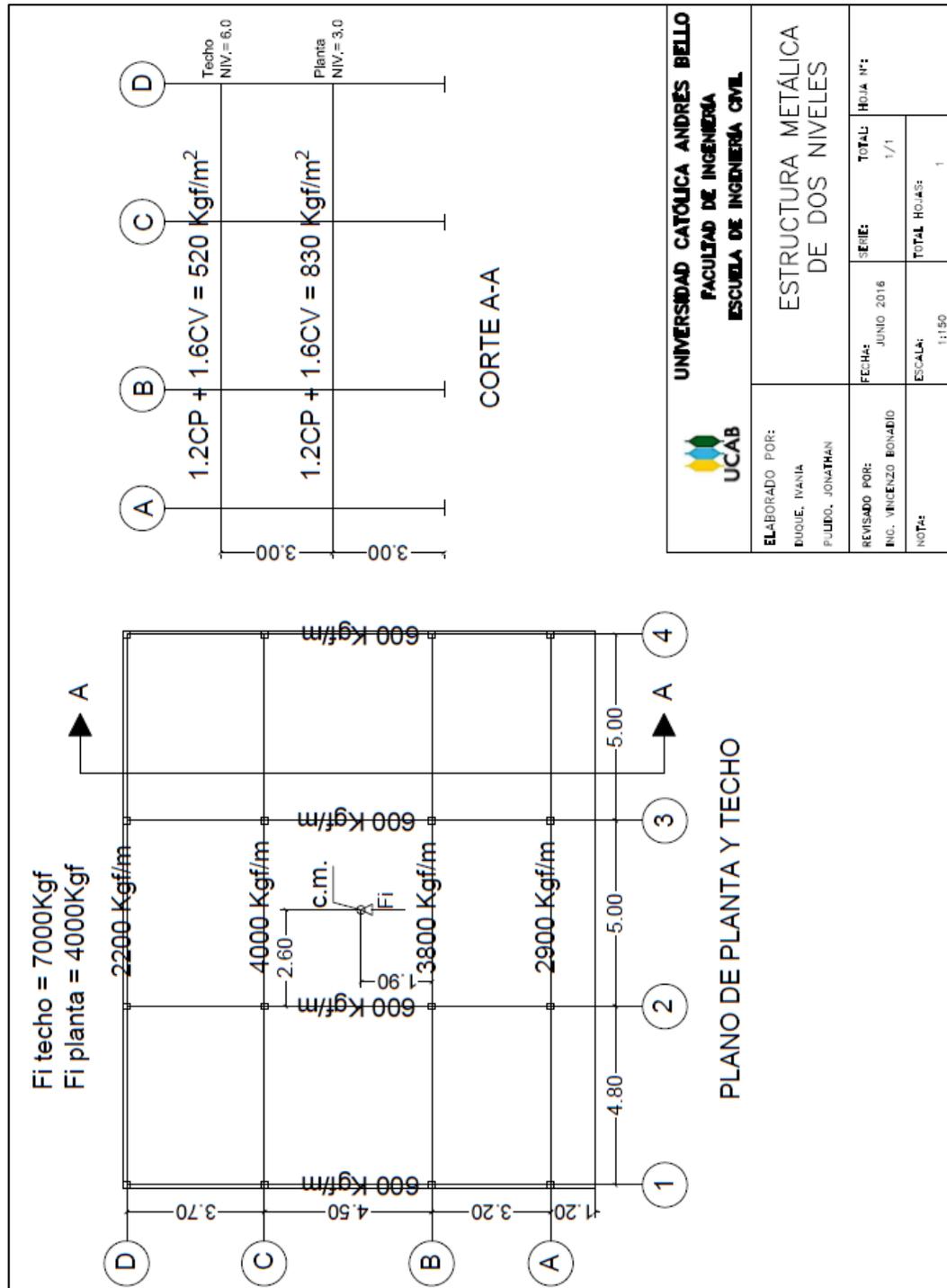


Figura 5- 1 Plano de Estructura Metálica de dos niveles.

(Fuente: Elaboración propia en AutoCAD).

### 1. Modelo n° 1: Columnas de perfil tubular de sección cuadrada con vigas IPN

Tabla 5- 1 Propiedades de los perfiles del Modelo n°1.

Propiedades de los perfiles	
Columna	Viga
HSS 260x260x9	IPN260
ASTM A500 Grado B	A36
$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$	$F_{yp} = 2500 \text{ kg/cm}^2$
$F_u = 4080 \text{ kg/cm}^2$	$F_{up} = 3700 \text{ kg/cm}^2$
H = 260 mm	d = 260 mm
B = 260 mm	$b_f = 113 \text{ mm}$
t = 9 mm	$t_f = 9,4 \text{ mm}$
A = 89,66 cm <sup>2</sup>	
S = 653,85 cm <sup>3</sup>	

(Fuente: Diseño de Estructuras de Acero con Perfiles Tubulares 1ra edición, 2011 y Catálogo de productos SABIMET.)

#### Límites de aplicabilidad

$$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2 \leq 3660 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{o.k.}$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{3230}{4080} = 0.792 \leq 0.8$$

Se chequea los criterios para el perfil tubular circular:

$$\frac{B}{t} = \frac{260}{9} = 28,89 \leq 35 \quad \text{o.k.}$$

$$0.25 < \frac{B_p}{D} = \frac{113}{260} = 0,435 \leq 1,0 \quad \text{o.k.}$$

**Conexiones en T y en Cruz con Plancha Transversal solicitadas por Carga Axial a través de la Plancha**

$$\beta = \frac{113}{260} = 0.435$$

**Estado límite: Cedencia local de la plancha, para todo  $\beta$**

$$R_n = \frac{10}{B/t} F_y t B_p \leq F_{yp} t_p B_p$$

$$R_n = \frac{10}{260/9} * 3230 \text{ Kg}/\text{cm}^2 * 0,9\text{cm} * 11,3\text{cm} \leq 2500 \text{ Kg}/\text{cm}^2 * 0,94\text{cm} * 11,3\text{cm}$$

$$R_n = 11371 \text{ Kg} \leq 26555 \text{ Kg} \quad \text{o.k.}$$

**Conexiones en T con Plancha Longitudinal solicitadas por Corte a través de la Plancha**

**Estados Límites: Estados límite de la plancha y corte por punzonamiento en el tubo**

$$t_p \leq \frac{F_u}{F_{yp}} t$$

$$9,4\text{mm} \leq \frac{3230 \text{ kg}/\text{cm}^2}{2500 \text{ Kg}/\text{cm}^2} * 9\text{mm} = 11,63 \text{ o.k.}$$

Las resistencias requeridas  $P_r$  y  $M_r$  en el perfil tubular se determinan de la siguiente manera:

$$P_r = 94312 \text{ Kg}$$

$$F_y = 3230 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

$$P_c = 0,6 P_y$$

$$P_y = F_y A_g$$

$$P_y = 3230 \text{ kg}/\text{cm}^2 * 89,66\text{cm}^2 = 289602 \text{ Kg}$$

$$P_c = 0,6 * 289602 \text{ Kgf} = 173761 \text{ Kgf}$$

**Resistencia nominal para caso donde no se considera en el análisis el efecto de la deformación de la zona panel en la estabilidad del marco:**

$$\text{Para } P_r > 0,4P_c$$

$$94312 \text{ Kgf} > 0,4 * 173761 \rightarrow 94312 \text{ Kgf} > 69504 \text{ Kgf}$$

$$R_n = 0,6F_y d_c t_w \left( 1,4 - \frac{P_r}{P_c} \right)$$

$$R_n = 0,6 * 3230 \text{ kgf/cm}^2 * 26\text{cm} * 0,9\text{cm} \left( 1,4 - \frac{94312 \text{ Kgf}}{158967 \text{ Kgf}} \right) = 36584 \text{ Kgf}$$

$$P_u = 14922 \text{ Kgf}$$

$$\phi R_n = 0,9(36584 \text{ Kgf}) = 32926 \text{ Kgf}$$

$$\phi R_n > P_u \rightarrow 32926 \text{ Kgf} > 14922 \text{ Kgf} \text{ o.k.}$$

**Longitud efectiva de soldadura transversal**

$$L_e = 2 \left[ \frac{10}{B/t} \right] \left[ \frac{F_y t}{F_{yp} t_p} \right] B_p \leq 2B_p$$

$$L_e = 2 \left[ \frac{10}{260\text{mm}/9\text{mm}} \right] \left[ \frac{3230 \text{ kgf/cm}^2 * 0,9\text{cm}}{2500 \text{ Kgf/cm}^2 * 0,6\text{cm}} \right] 11,3\text{cm} \leq 2 * 11,3\text{cm}$$

$$L_e = 15,16\text{cm} \leq 22,6\text{cm} \text{ o.k.}$$

$$L_e = 15,16\text{cm}$$

**Tamaño de la soldadura requerida**

$$A_w = \frac{L_e W}{\sqrt{2}}$$

$$A_w = \frac{13,87 \text{ cm} * w}{\sqrt{2}} = (9,81 \text{ cm})w$$

$$R_n = F_w A_w$$

$$F_{EXX} = 4200 \text{ kgf/cm}^2$$

$$F_w = 0,6 F_{EXX}$$

$$R_n = 0,6 (4200 \text{ kgf/cm}^2) * (9,81 \text{ cm})w$$

$$R_n = 247121,2w \text{ Kg/cm}$$

$$\phi_w R_n \geq Pu$$

$$Pu = \frac{12167 \text{ Kg} - m}{0,26m + 0,006m} = 45741 \text{ Kg}$$

$$0,75 * 24721,2w \frac{\text{Kg}}{\text{cm}} \geq 45741 \text{ Kg}$$

$$w \geq 2,47 \text{ cm}$$

### Longitud efectiva de soldadura longitudinal

$$D_{eff} = 22,6 \left( \frac{F_y}{F_{EXX}} \right) t$$

$$D_{eff} = 22,6 \left( \frac{42 \text{ KSI}}{60 \text{ KSI}} \right) 0,217 \text{ pulg} = 3,43 \text{ pulg}/16 \text{ vo}$$

$$D_{eff} = 0,214 \text{ pulg} \rightarrow 5,43 \text{ mm} \rightarrow \text{No cumple el mínimo establecido.}$$

$$D_{eff} = 6,0 \text{ mm} \rightarrow 3,776 \text{ pulg}/16 \text{ vo}$$

$$R_n = 0,6(60 \text{ ksi}) * \left( \frac{3,776}{16 \sqrt{2}} \right) = 6,01 \text{ kips} \rightarrow 2726,09 \text{ Kg}$$

$$\phi R_n = 0,75 * 2726,09 = 2044,56 \text{ Kgf}$$

$14922 \text{ kgf} > 2044,56 \text{ kgf} \rightarrow$  No cumple requiere de reforzamiento la soldadura.

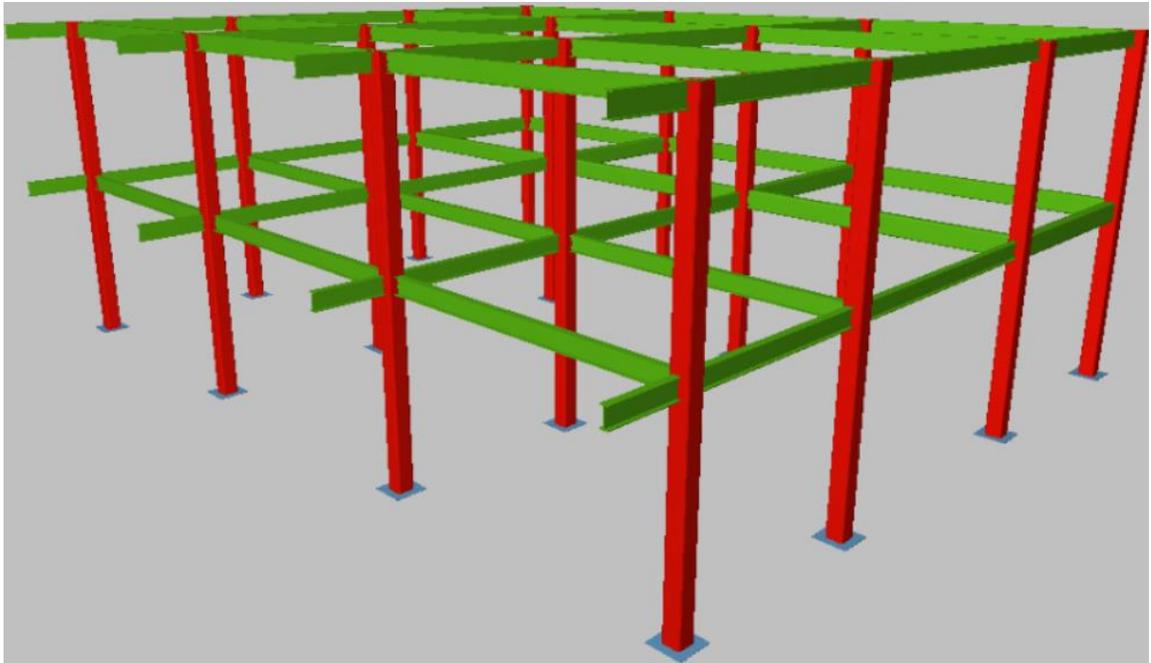


Figura 5- 2 Modelo n° 1: Columna de perfil tubular de sección cuadrada con viga IPN.

(Fuente: Elaboración propia en CYPECAD).

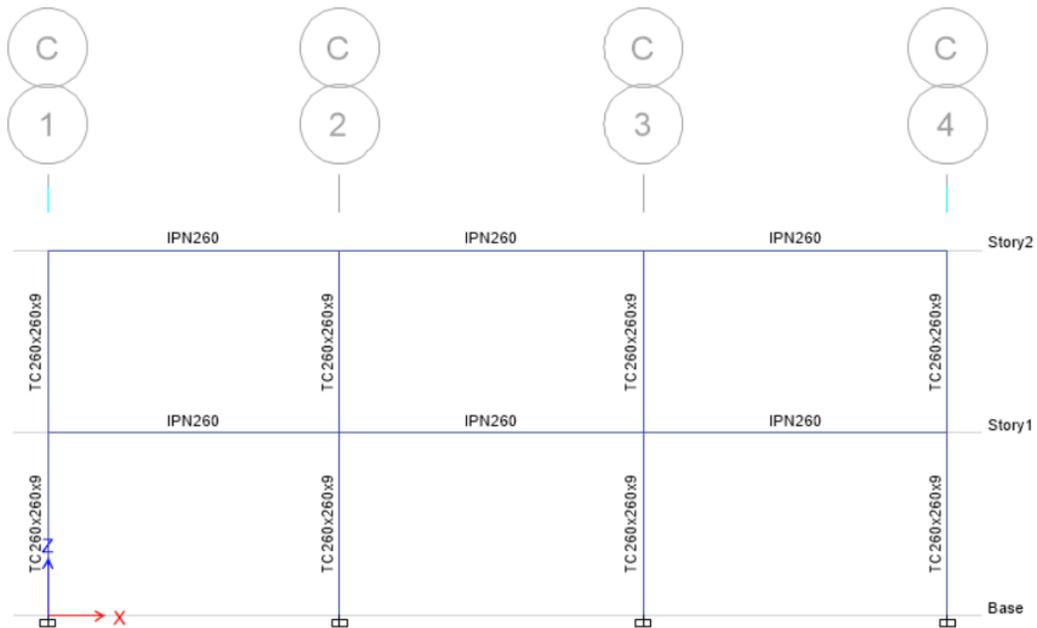


Figura 5- 3 Modelo n° 1: Secciones de columnas y vigas.

(Fuente: Elaboración propia en ETABS).

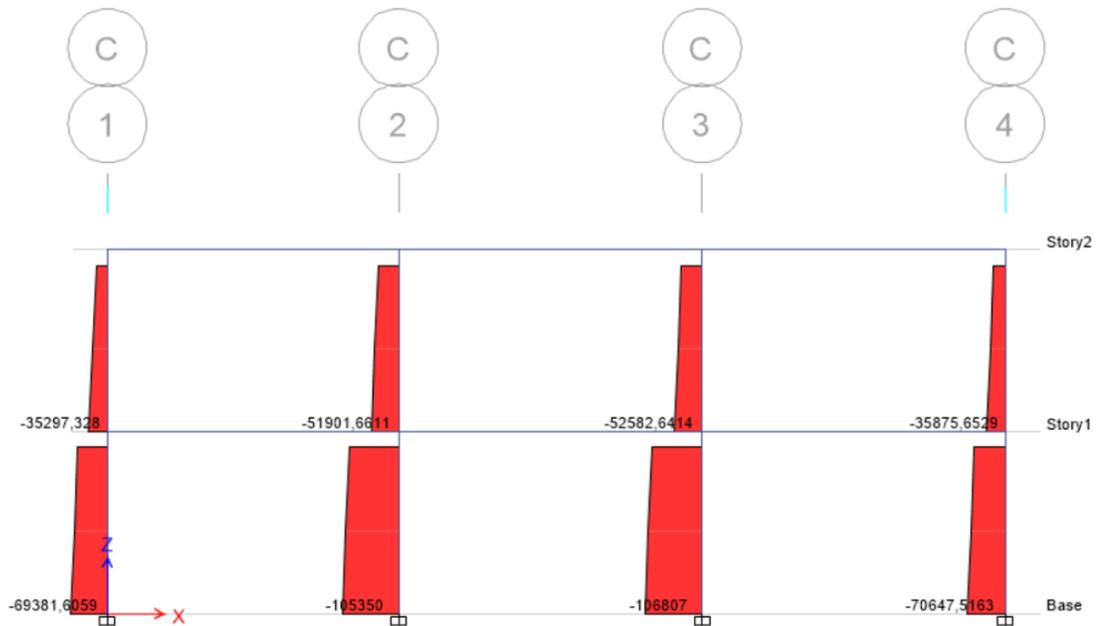


Figura 5- 4 Modelo n° 1: Diagrama de fuerza axial.

(Fuente: Elaboración propia en ETABS).

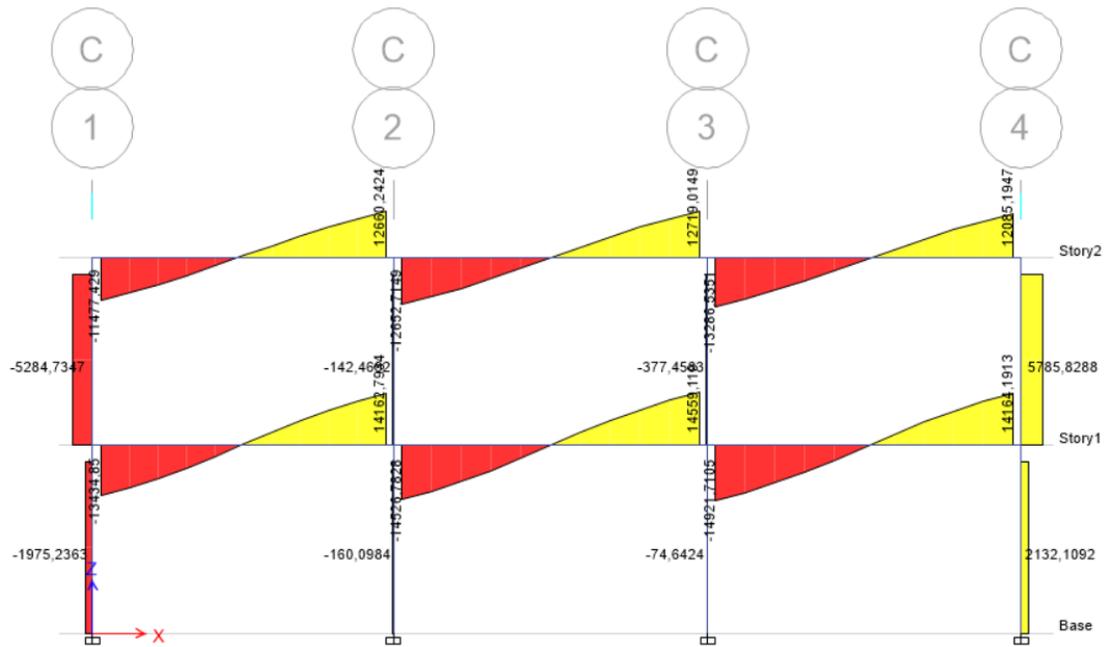


Figura 5- 5 Modelo n° 1: Diagrama de fuerza cortante 2-2.

(Fuente: Elaboración propia en ETABS).

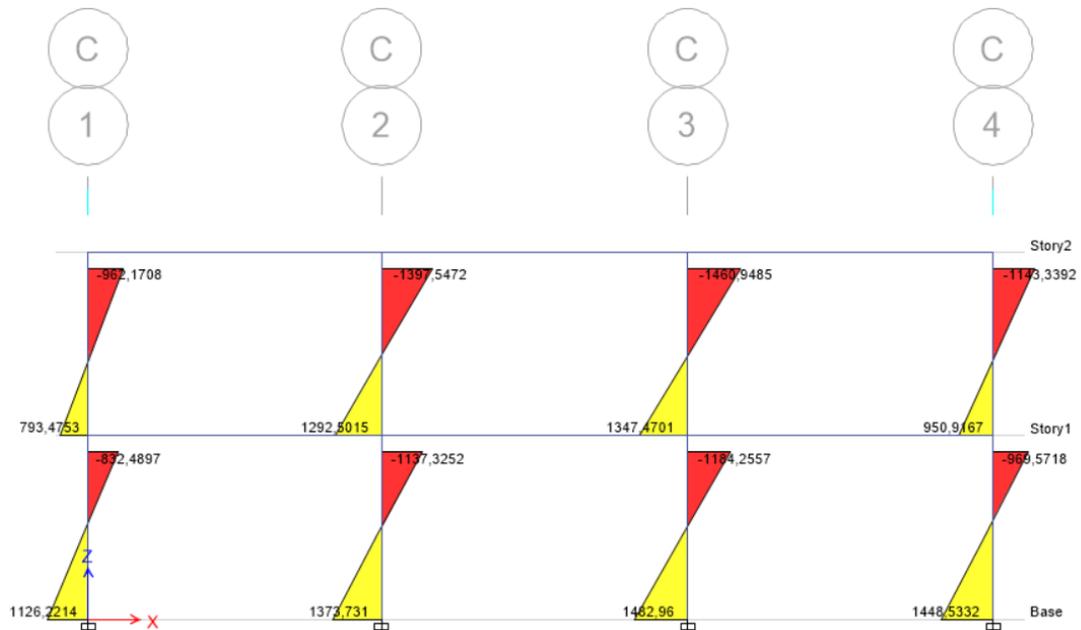


Figura 5- 6 Modelo n° 1: Diagrama de momento 2-2.

(Fuente: Elaboración propia en ETABS).

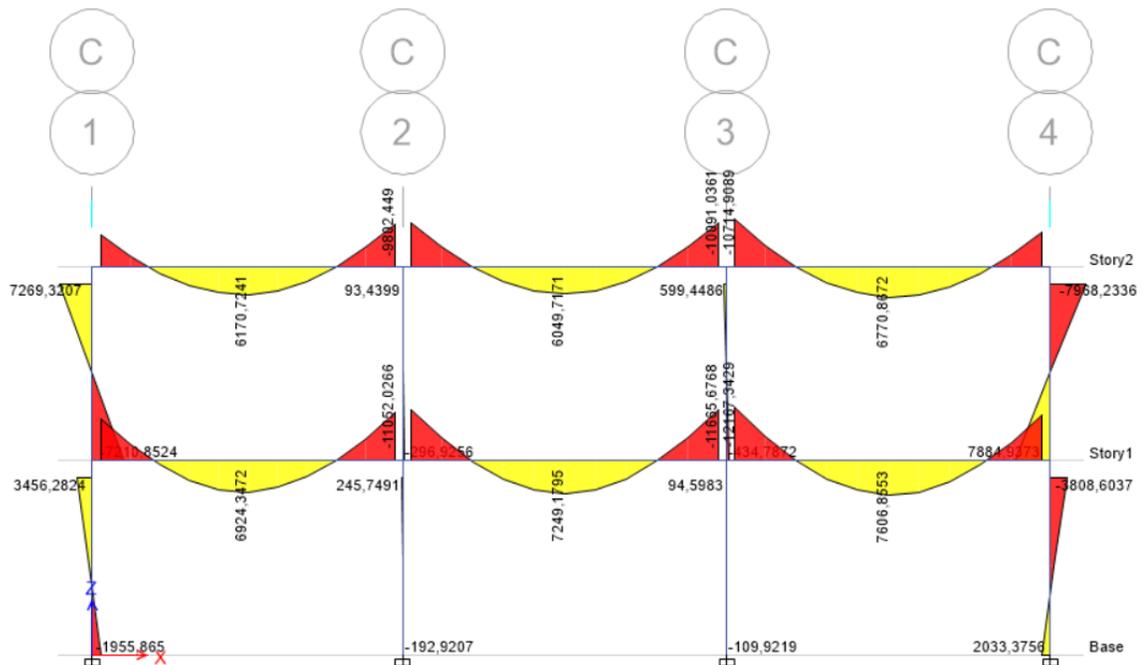


Figura 5- 7 Modelo n° 1: Diagrama de momento 3-3.

(Fuente: Elaboración propia en ETABS).

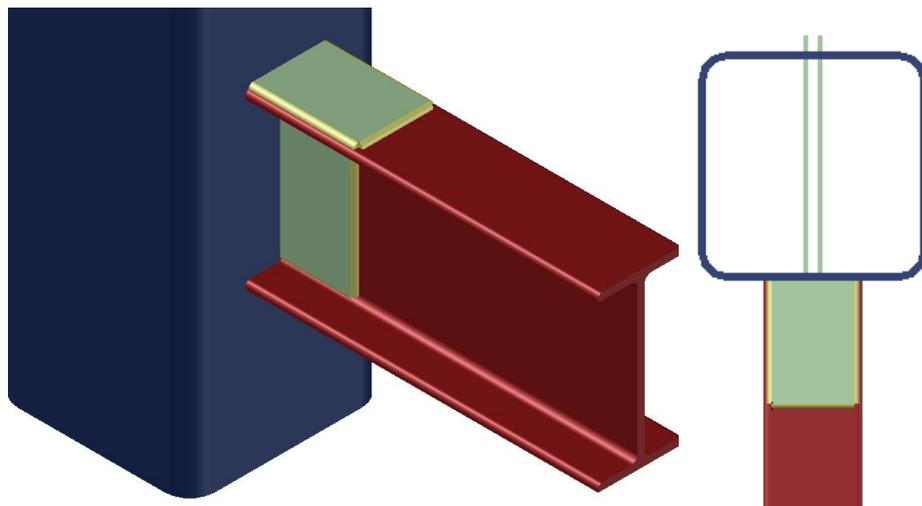


Figura 5- 8 Conexión de Columna de Perfil Tubular Cuadrado con Viga IPN.

(Fuente: Elaboración propia en AutoCAD).

## 2. Modelo n° 2: Columnas de perfil tubular cuadrado con vigas de perfil tubular cuadrado

Tabla 5- 2 Propiedades de los perfiles del Modelo n°2.

Columna	Viga
HSS 260x260x9	HSS 350x170x11
ASTM A500 Grado B	ASTM A500 Grado B
$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$	$F_y = 3230 \text{ kg/cm}^2$
$F_u = 4080 \text{ kg/cm}^2$	$F_u = 4080 \text{ kg/cm}^2$
$H_b = 260 \text{ mm}$	$H = 350 \text{ mm}$
$B_b = 260 \text{ mm}$	$B = 170 \text{ mm}$
$t_b = 9 \text{ mm}$	$t = 11 \text{ mm}$
$A = 89,66 \text{ cm}^2$	$A = 108,52 \text{ cm}^2$
$S = 653,85 \text{ cm}^3$	

(Fuente: Diseño de Estructuras de Acero con Perfiles Tubulares 1ra edición, 2011 y Catálogo de productos SABIMET.)

### Límites de aplicabilidad

$$\theta = 90^\circ \cong 90^\circ$$

$$\frac{H}{t} = \frac{350 \text{ mm}}{11 \text{ mm}} = 31,8 \leq 35 \text{ o.k.}$$

$$\frac{B}{t} = \frac{170 \text{ mm}}{11 \text{ mm}} = 15,45 \leq 35 \text{ o.k.}$$

$$\frac{H_b}{t_b} = \frac{260 \text{ mm}}{9 \text{ mm}} = 28,89 \leq 35 \text{ o.k.}$$

$$\frac{B_b}{t_b} = \frac{260 \text{ mm}}{9 \text{ mm}} = 28,89 \leq 35 \text{ o.k.}$$

$$\frac{B_b}{t_b} = \frac{260 \text{ mm}}{9 \text{ mm}} = 28,89 \leq 1,25 \sqrt{\frac{2,1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2}{3230 \text{ kgf/cm}^2}} = 31,87 \text{ o.k.}$$

$$\frac{H_b}{t_b} = \frac{260 \text{ mm}}{9 \text{ mm}} = 28,89 \leq 1,25 \sqrt{\frac{2,1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2}{3230 \text{ kgf/cm}^2}} = 31,87 \text{ o.k.}$$

$$\frac{B_b}{B} = \frac{260mm}{170mm} = 1,53 \geq 0,25 \text{ o.k.}$$

$$0,5 \leq \frac{H_b}{B_b} \leq 2,0$$

$$\frac{H_b}{B_b} = \frac{260mm}{260mm} = 1$$

$$0,5 \leq 1 \leq 2,0 \text{ o.k.}$$

$$0,5 \leq \frac{H}{B} \leq 2,0$$

$$\frac{H}{B} = \frac{350mm}{170mm} = 2,06$$

$$0,5 \leq 2,06 \leq 2,0 \text{ o.k.}$$

$$F_y = F_{yb} = 3230 \text{ kg/cm}^2 \leq 3660 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{o.k.}$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{F_{yb}}{F_{ub}} = \frac{3230}{4080} = 0.792 \leq 0.8 \text{ o.k}$$

### Resistencia a flexión requerida

$$M_u = 1144 \text{ Kgf} - m$$

$$\beta = \frac{B_b}{B} = \frac{260}{170} = 1,53$$

### Rama(s) solicitadas por Flexión fuera del plano, conexiones en T y en Cruz

Estado límite: Cedencia de la pared del cordón, cuando  $\beta > 0,85$

$$M_n = F_y t (B - t) (H_b + 5t)$$

$$\begin{aligned} M_n &= 3230 \text{ kgf/cm}^2 * 1,1cm * (17cm - 1,1cm)(0,26m + 5 * 0,011m) \\ &= 17795 \text{ Kgf} - m \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 1.0(17795) = 17795 \text{ Kgf} - m$$

$$\phi M_n > M_u \rightarrow 17795 \text{ Kgf} - m > 1144 \text{ Kgf} - m \text{ o.k}$$

### Longitud efectiva de soldadura

$$b_{eoi} = \frac{10}{\frac{B}{t}} \left( \frac{F_y t}{F_{yb} t_b} \right) B_b \leq B_b$$

$$L_e = \frac{2H_b}{\sin \theta} + 2b_{eoi}$$

$$b_{eoi} = \frac{10}{170\text{mm}/11\text{mm}} \left( \frac{3230 \text{ kgf/cm}^2 * 1,1\text{cm}}{3230 \text{ kgf/cm}^2 * 0,9\text{cm}} \right) 26\text{cm} \leq 26\text{cm}$$

$$b_{eoi} = 20,56\text{cm} \leq 26\text{cm}$$

$$\beta = \frac{B_b}{B} = \frac{260}{170} = 1,53 \text{ por lo tanto se debe cumplir que:}$$

$$\frac{b_{eoi}}{2} \leq 2t$$

$$\frac{20,56\text{cm}}{2} \leq 2 * 1,1 \rightarrow 10,28\text{cm} \leq 2,2\text{cm} \text{ No cumple.}$$

$$\text{Por lo tanto se fijara } \frac{b_{eoi}}{2} = 2,2\text{cm}$$

$$L_e = \frac{2 * 35\text{cm}}{\sin 90^\circ} + 2 * 4,4 = 87,1\text{cm}$$

Tamaño de la soldadura requerida

$$A_w = \frac{L_e w}{\sqrt{2}}$$

$$A_w = \frac{87,1\text{cm} * w}{\sqrt{2}} = (61,59\text{cm})w$$

$$R_n = F_w A_w$$

$$F_{EXX} = 4200 \text{ kgf/cm}^2$$

$$F_w = 0,6F_{EXX}$$

$$R_n = 0,6 \left( 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) * (61,59\text{cm})w$$

$$R_n = 155204w \text{ Kgf/cm}$$

$$\phi_w R_n \geq Pu$$

$$Pu = \frac{1144 \text{ Kgf} - m}{0,35m - 0,011m} = 3375 \text{ Kgf}$$

$$0,75 * 155204w \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}} \geq 3375 \text{ Kgf}$$

$$w \geq 0,29\text{mm}$$

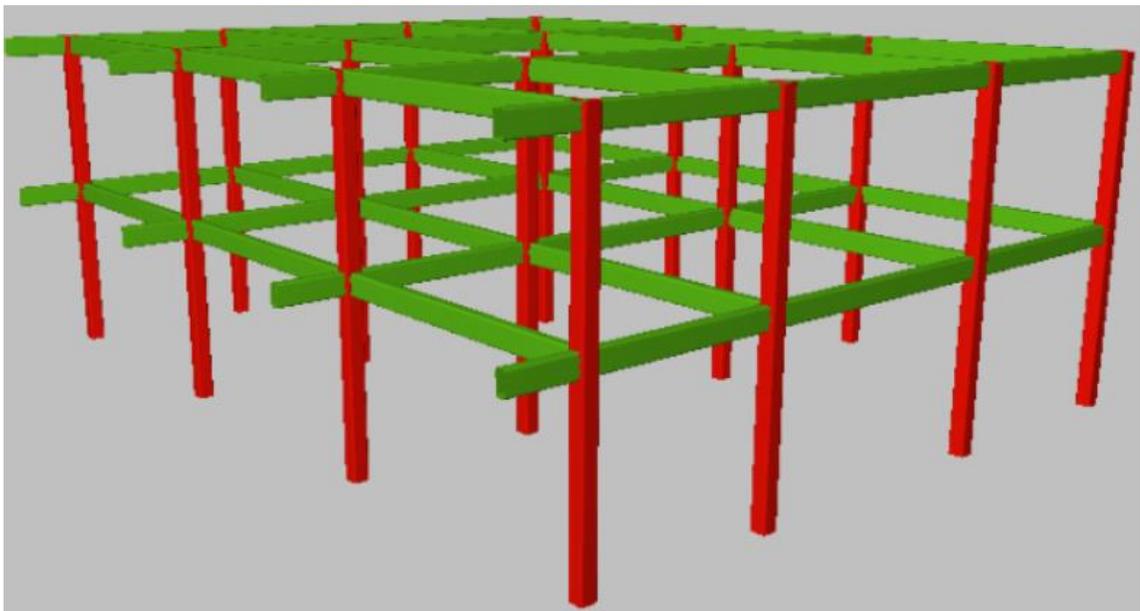


Figura 5- 9 Modelo n° 2: Columna de perfil tubular de sección cuadrada con viga perfil tubular de sección cuadrada.

(Fuente: Elaboración propia en CYPECAD).

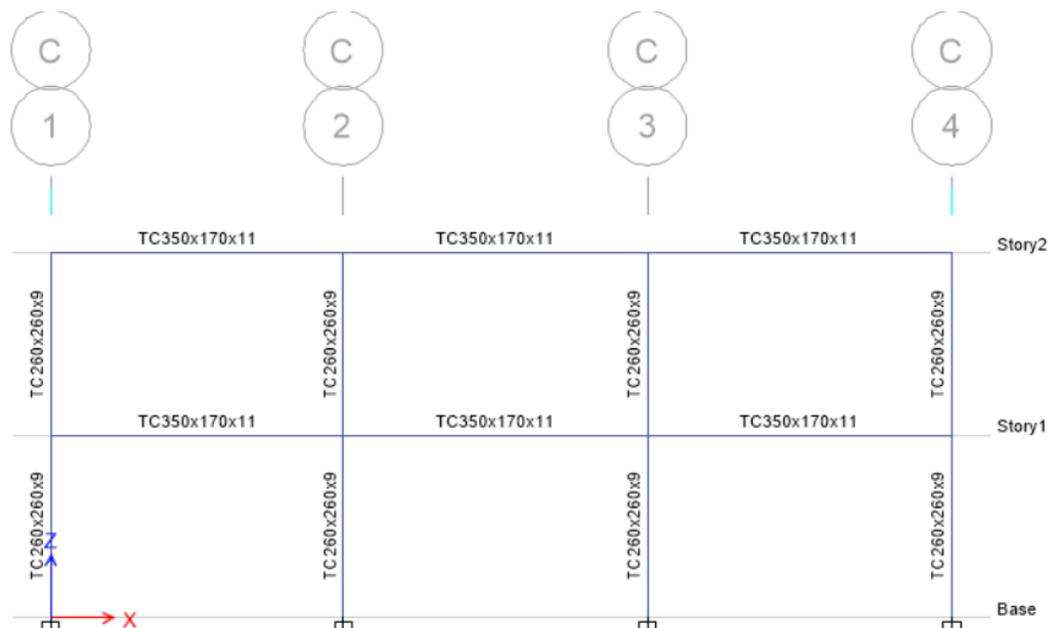


Figura 5- 10 Modelo n° 2: Secciones de columnas y vigas.

(Fuente: Elaboración propia en ETABS).

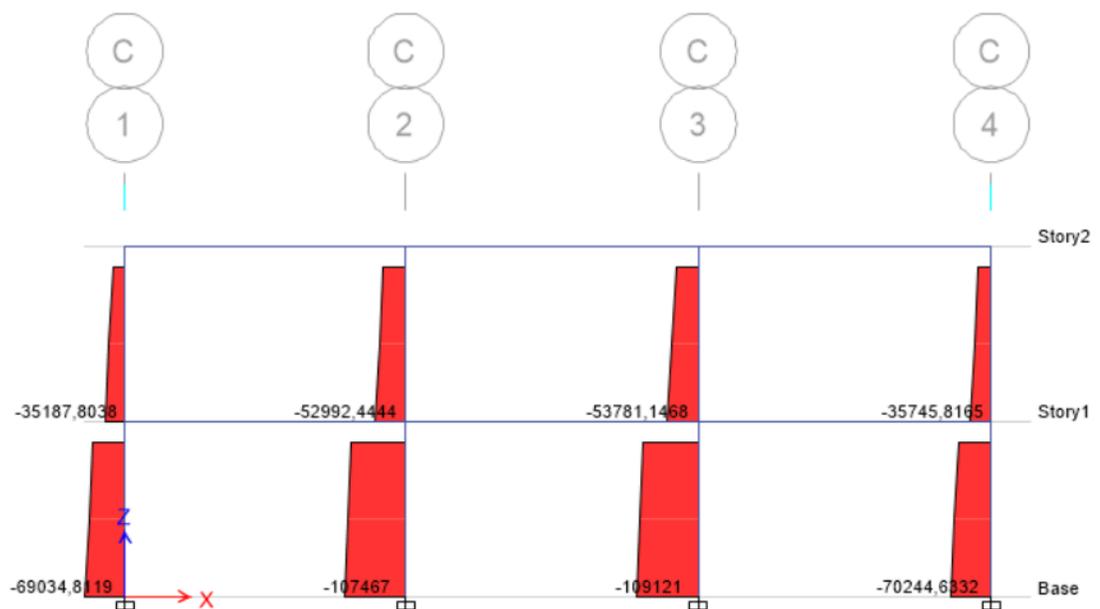


Figura 5- 11 Modelo n° 2: Diagrama de fuerza axial.

(Fuente: Elaboración propia en ETABS).

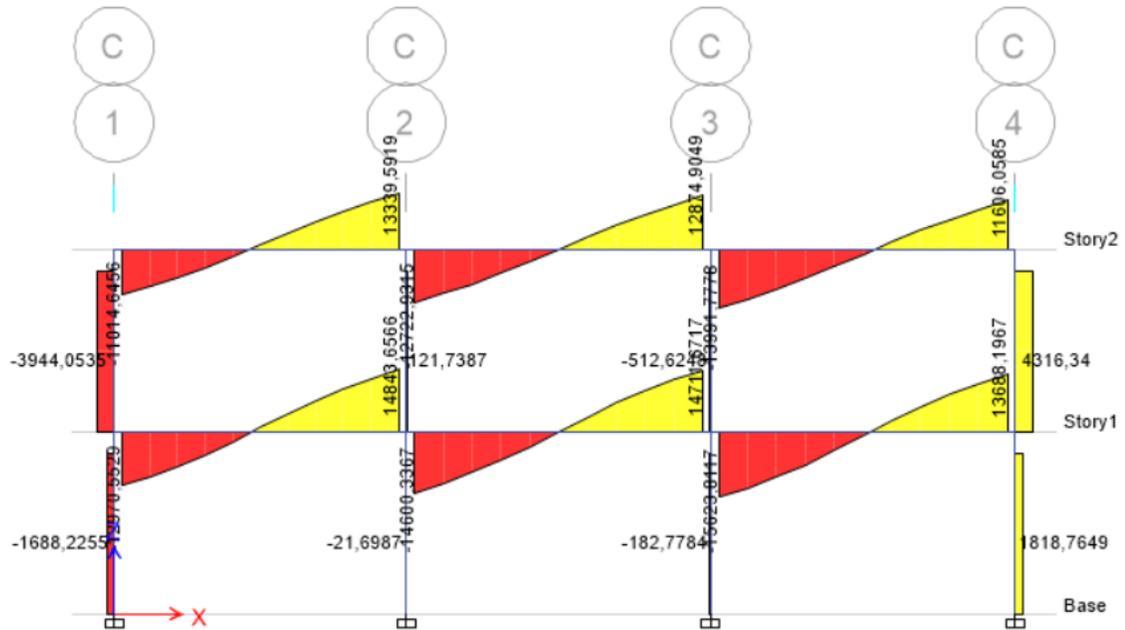


Figura 5- 12 Modelo n° 2: Diagrama de fuerza cortante 2-2.

(Fuente: Elaboración propia en ETABS).

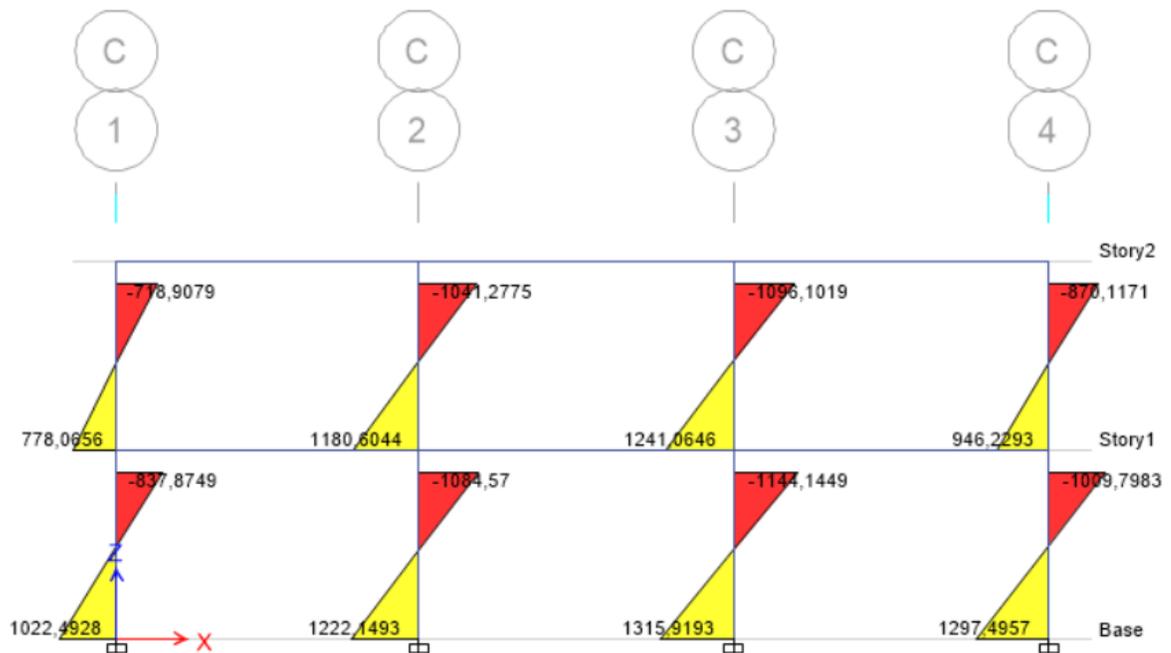


Figura 5- 13 Modelo n° 2: Diagrama de momento 2-2.

(Fuente: Elaboración propia en ETABS).



### 3. Modelo n° 3: Columnas de perfil tubular circular con vigas IPN

Tabla 5- 3 Propiedades de los perfiles del Modelo n°3.

Columna	Viga
HSS 8 5/8" x 5,5	IPN260
ASTM A500 Grado B	A36
$F_y = 2955 \text{ kg/cm}^2$	$F_{yp} = 2500 \text{ kg/cm}^2$
$F_u = 4080 \text{ kg/cm}^2$	$F_{up} = 3700 \text{ kg/cm}^2$
$D = 219,1 \text{ mm}$	$d = 260 \text{ mm}$
$t = 5,5 \text{ mm}$	$b_f = 113 \text{ mm}$
$A = 34,39 \text{ cm}^2$	$t_f = 9,4 \text{ mm}$
$S = 179,76 \text{ cm}^3$	

(Fuente: Diseño de Estructuras de Acero con Perfiles Tubulares 1ra edición, 2011 y Catálogo de productos SABIMET.)

#### Límites de aplicabilidad

$$F_y = 2955 \text{ kg/cm}^2 \leq 3660 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{o.k.}$$

$$\frac{F_y}{F_u} = \frac{2955}{4080} = 0.724 \leq 0.8$$

Se chequea los criterios para el perfil tubular circular

$$\frac{D}{t} = \frac{219,1}{5,5} = 39,8 \leq 50 \quad \text{o.k.}$$

$$0.2 < \frac{b_p}{D} = \frac{113}{219,1} = 0,516 \leq 1,0 \quad \text{o.k.}$$

#### Resistencia a flexión requerida

$$M_u = 13360 \text{ Kgf} - m$$

**Cedencia local del perfil tubular, con conexión a una plancha transversal**

**Estado límite: Cedencia local de la plancha del tubo por carga axial**

$$R_n = F_y t^2 \left( \frac{5.5}{1 - 0.81 \frac{B_p}{D}} \right) Q_f$$

Donde:

$$Q_f = 1.0 - 0.3U(1 + U)$$

$$U = \left| \frac{P_r}{AF_c} + \frac{M_r}{SF_c} \right|$$

Las resistencias requeridas  $P_r$  y  $M_r$  en el perfil tubular se determinan de la siguiente manera:

$$P_r = P_u$$

$$P_r = 91719 \text{ Kgf}$$

$$M_r = M_u$$

$$M_r = -1004 \text{ Kgf} - m$$

$$F_c = F_y$$

$$F_c = 2955 \text{ kgf/cm}^2$$

$$U = \left| \frac{91719 \text{ kgf}}{34,39 \text{ cm}^2 * 2955 \text{ kgf/cm}^2} + \frac{100400 \text{ kgf} - \text{cm}}{179,76 \text{ cm}^3 * 2955 \text{ kgf/cm}^2} \right| = 1,03$$

$$Q_f = 1.0 - 0.3 * 1,03(1 + 1,03) = 0.37$$

**Estado Límite en cedencia local**

$$R_n = 2955 \text{ kgf/cm}^2 * 0,55^2 \text{ cm}^2 \left( \frac{5.5}{1 - 0.81 \frac{113}{219,1}} \right) 0,37 = 3147,77 \text{ Kgf}$$

$$\phi R_n = 0,9(3147,77) = 2832,99 \text{ Kgf}$$

$$\phi M_n = 5223.15 \text{ Kgf} \left( \frac{260\text{mm} - 9,4\text{mm}}{1000} \right) = 356 \text{ Kgf} - m$$

**Conexiones en T con Plancha Longitudinal solicitadas por Corte a través de la Plancha**

**Estados Limites: Estado límite de la plancha y corte por punzonamiento en el tubo**

$$t_p \leq \frac{F_u}{F_{yp}} t$$

$$6.0\text{mm} \leq \frac{2955 \text{ kgf/cm}^2}{2500 \text{ Kgf/cm}^2} * 5.5\text{mm} = 6.05\text{mm} \text{ o.k.}$$

Las resistencias requeridas  $P_r$  y  $M_r$  en el perfil tubular se determinan de la siguiente manera:

$$P_r = 50154 \text{ Kgf}$$

$$F_y = 2955 \text{ kgf/cm}^2$$

$$P_c = 0,6P_y$$

$$P_y = F_y A_g$$

$$P_y = 2955 \text{ kgf/cm}^2 * 34.39\text{cm}^2 = 101622.45 \text{ Kgf}$$

$$P_c = 0,6 * 101622.45 \text{ Kgf} = 60973.47 \text{ Kgf}$$

**Resistencia nominal para caso donde no se considera en el análisis el efecto de la deformación de la zona panel en la estabilidad del marco:**

Para  $P_r > 0,4P_c$

$$50154 \text{ Kgf} > 0.4 * 60973.47 \rightarrow 50154 \text{ Kgf} > 24389.39 \text{ Kgf}$$

$$R_n = 0,6F_y d_c t_w \left( 1,4 - \frac{P_r}{P_c} \right)$$

$$R_n = 0,6 * 2955 \text{ kgf/cm}^2 * 21,91 \text{ cm} * 0,55 \text{ cm} \left( 1,4 - \frac{50154 \text{ Kg}}{60973,47 \text{ Kg}} \right) = 12337 \text{ Kg}$$

$$P_u = 9052 \text{ Kg}$$

$$\phi R_n = 0,9(12337 \text{ Kg}) = 11103,69 \text{ Kg}$$

$$\phi R_n > P_u \rightarrow 11103,69 \text{ Kg} > 9052 \text{ Kg} \text{ o.k.}$$

### Longitud efectiva de soldadura longitudinal

$$D_{eff} = 30,2 \left( \frac{F_y}{F_{EXX}} \right) t$$

$$D_{eff} = 30,2 \left( \frac{42 \text{ KSI}}{70 \text{ KSI}} \right) 0,217 \text{ pulg} = 3,93 \text{ pulg}/16 \text{vo}$$

$$D_{eff} = 0,245 \text{ inch} \rightarrow 6,23 \text{ mm}$$

$$R_n = 0,75 * 0,60 * 70 * \frac{3,93}{60 * \sqrt{2}} = 5,47 \text{ kips} \rightarrow 2481,61 \text{ Kg}$$

$$2481,61 \text{ Kg}$$

### Longitud efectiva de soldadura transversal.

$$\beta = 1,2 - 0,002 \left( \frac{113 \text{ mm}}{9 \text{ mm}} \right) = 1,17 \rightarrow \text{No cumple}$$

$$\beta = 1,0$$

$$lw = 113 \text{ mm} * 1,0 = 113 \text{ mm}$$

### Garganta efectiva

$$te = 0,707 * 9 \text{ mm} = 6,36 \text{ mm}$$

$$A_{we} = \frac{6,36 \text{ mm} * 113 \text{ mm}}{100} = 7,19 \text{ cm}^2$$

$$Rn = 0,60 * \frac{4921,40kg}{cm^2} * 7,17cm^2 = 21231,48Kgf$$

Momento aplicado sobre la soldadura

$$Rn = \frac{13360 Kgf * m}{0,26m + 0,0094m} = 51385 Kgf$$

$$51385 Kgf > 21231,48 Kgf$$

→ La soldadura no cumple, requiere reforzar la soldadura.

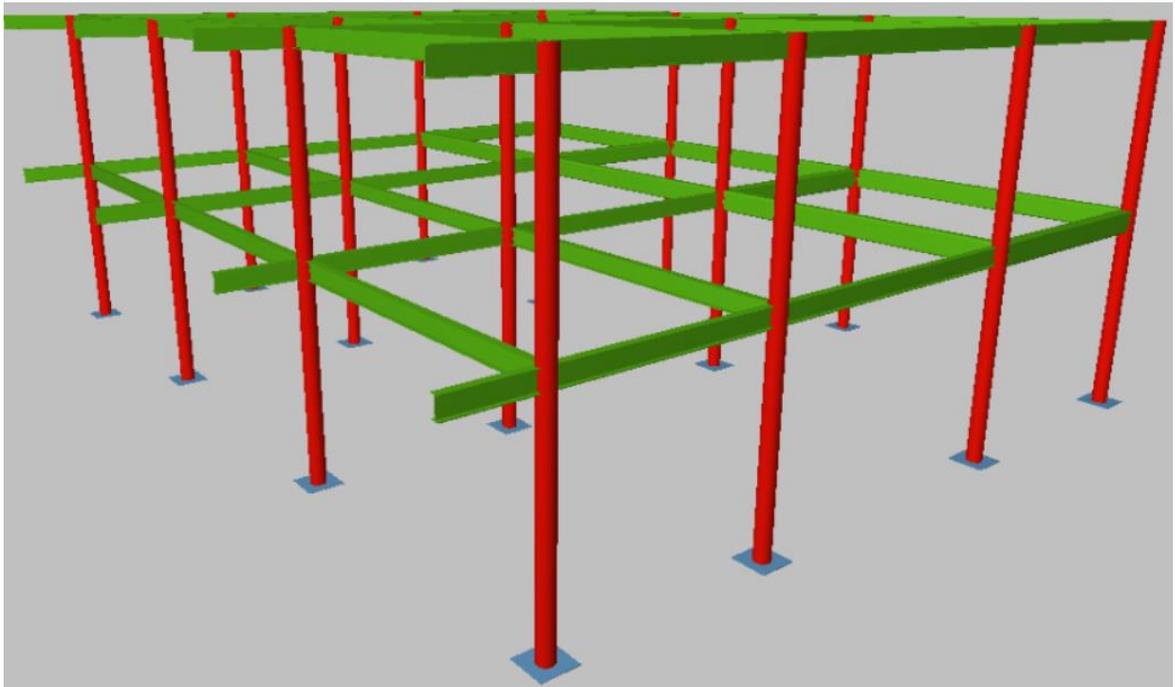


Figura 5- 16 Modelo n° 3: Columna de perfil tubular de sección circular con viga IPN.

(Fuente: Elaboración propia en CYPECAD).

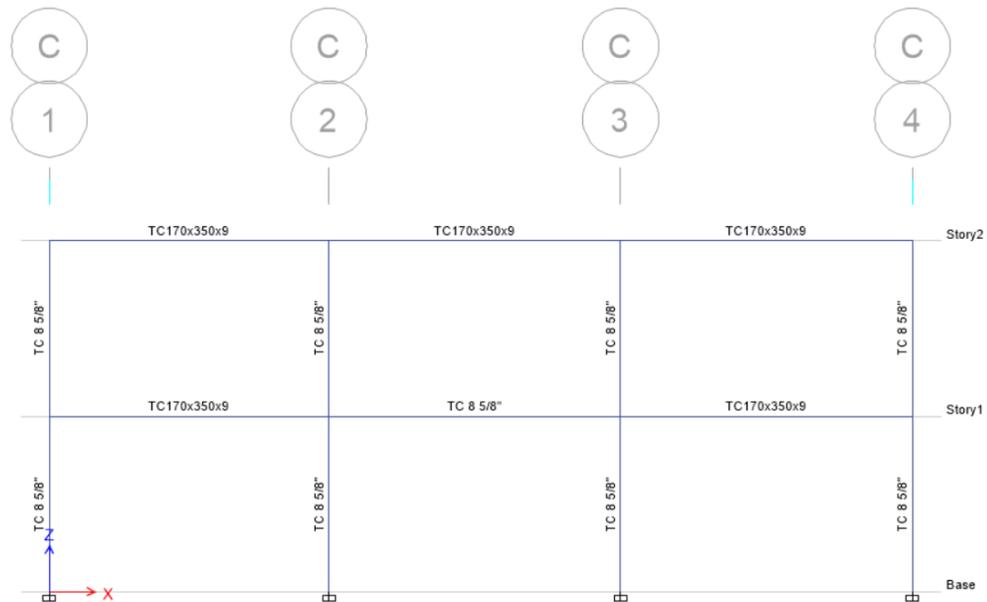


Figura 5- 17 Modelo n° 3: Secciones de columnas y vigas.

(Fuente: Elaboración propia en ETABS).

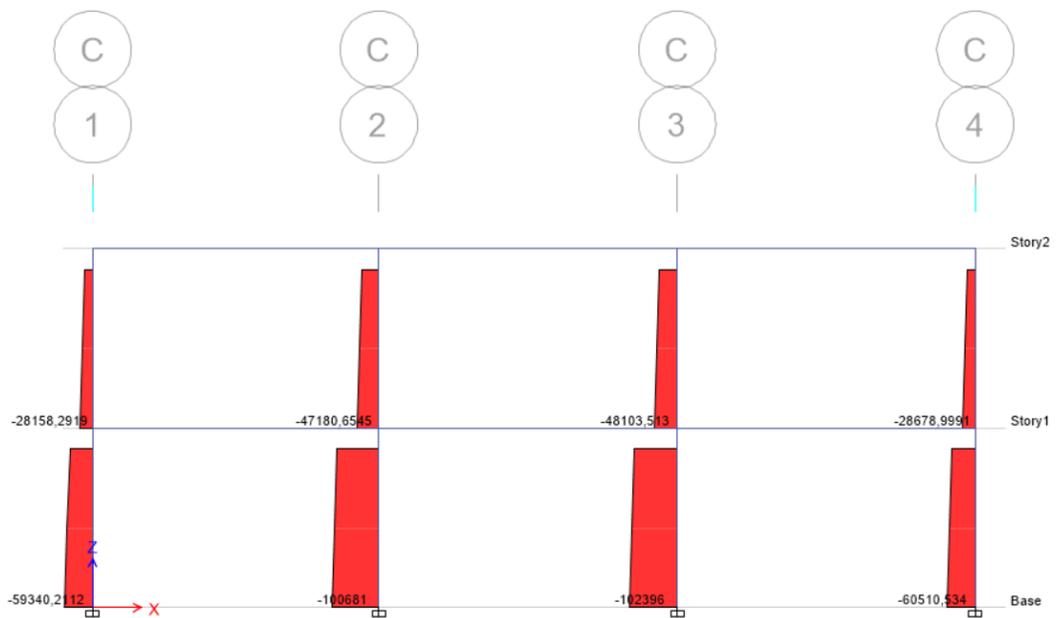


Figura 5- 18 Modelo n° 3: Diagrama de fuerza axial.

(Fuente: Elaboración propia en ETABS).

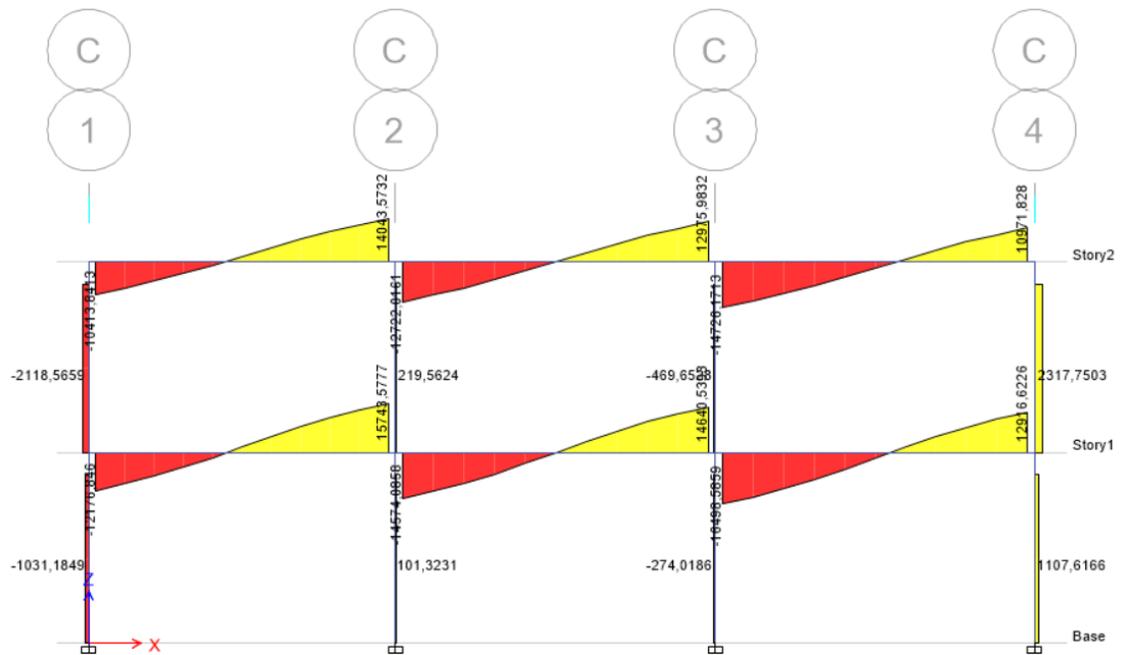


Figura 5- 19 Modelo n° 3: Diagrama de fuerza cortante 2-2.

(Fuente: Elaboración propia en ETABS).

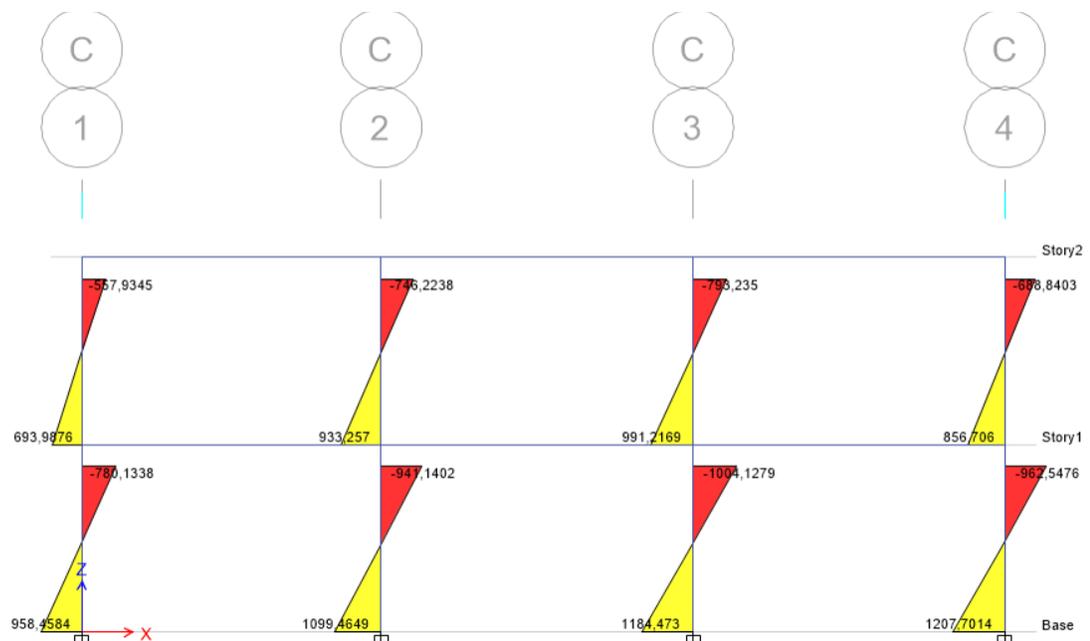


Figura 5- 20 Modelo n° 3: Diagrama de momento 2-2.

(Fuente: Elaboración propia en ETABS).

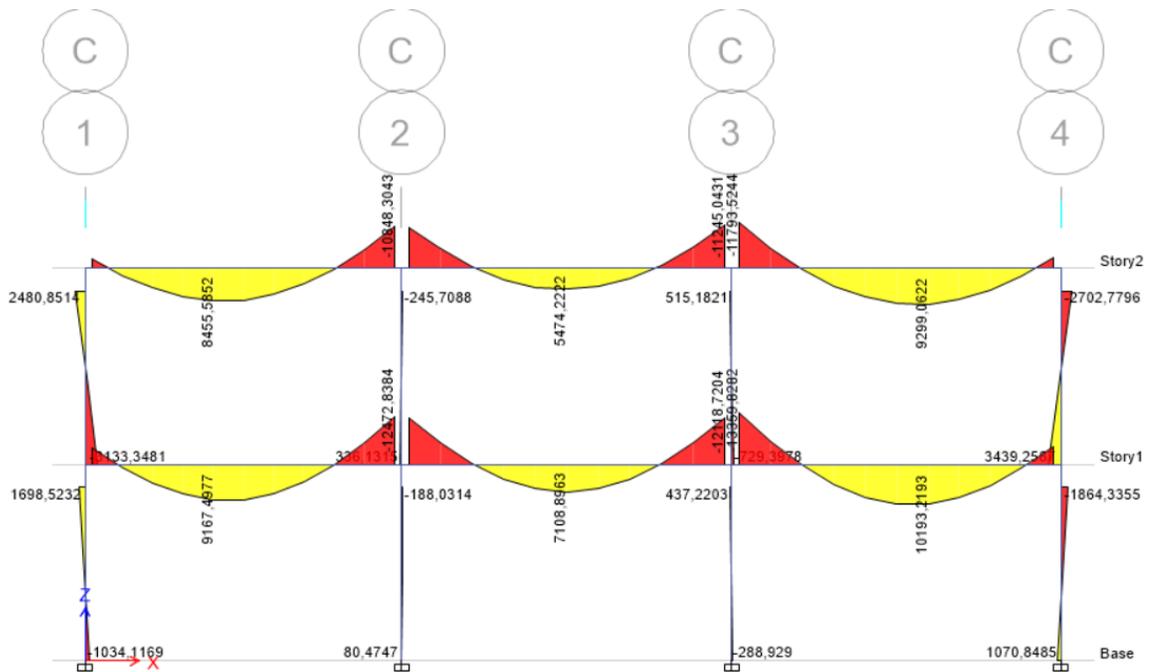


Figura 5- 21 Modelo n° 3: Diagrama de momento 3-3.

(Fuente: Elaboración propia en ETABS).

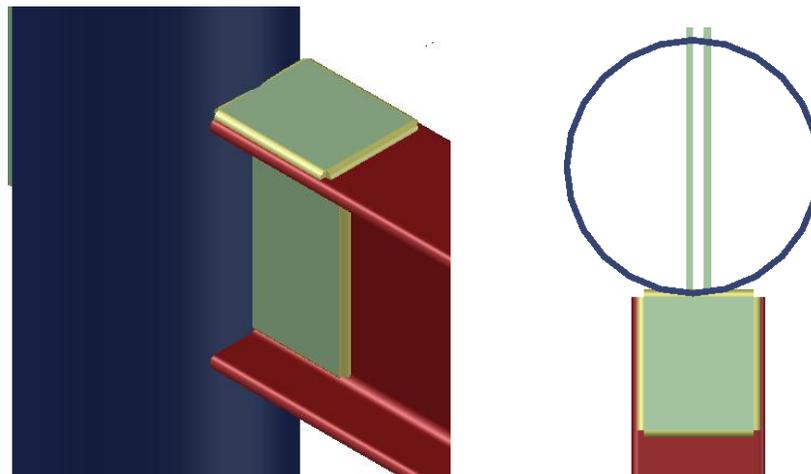


Figura 5- 22 Conexión de Columna de Perfil Tubular Cuadrado con Viga de Perfil Tubular Cuadrado.

(Fuente: Elaboración propia en AutoCAD).

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

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

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

#### **1. Conclusiones**

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

- Luego de revisar toda la perfilería venezolana sobre miembros tubulares tanto circulares como de cajón, se logró determinar que hay una variación en sus parámetros (área, inercia, módulo plástico, radio de giro) entre lo ofrecido por catálogos nacionales y lo calculado.
- Se logró determinar mediante el uso de la norma sísmica americana AISC 341-10, que todos los perfiles tubulares circulares en todas sus presentaciones de acero se comportarían de forma mínimamente dúctil ante un evento sísmico; todos los perfiles tubulares rectangulares en todas sus presentaciones de acero se comportarían altamente dúctil ante eventos sísmicos con excepción del perfil 120x60x2.50 que su comportamiento ante cargas sísmicas decae drásticamente; y todos los perfiles tubulares cuadrados en todas sus presentaciones de acero serán mínimamente dúctil ante eventos sísmicos con excepción del perfil 260x260x11 que aumenta un poco su ductilidad.

- Ante eventos sísmicos el perfil más recomendable sería el perfil tubular rectangular, pero se debe tener en cuenta cual sería el uso de ese perfil ya que sus parámetros varían dependiendo de contra que eje de la sección trabaje.
- Se determinó que todos los perfiles tubulares circulares, rectangulares y cuadrados en todas sus presentaciones de acero son secciones compactas, logrando así alcanzar su momento plástico, con excepción del perfil tubular cuadrado 200x200x7 Grado C de la cual es una sección no compacta.
- Se logró determinar la resistencia nominal a flexión, corte, compresión ( $K=1$ ,  $K=1.2$ ,  $K=1.4$ ) y tracción para cada uno de los perfiles tubulares circulares y de cajón de los perfiles tubulares nacionales, para nuestros efectos de cálculos se utilizaron los parámetros calculados para cada sección, obteniendo resistencias nominales mayores a la presentadas en catálogos de los perfiles tubulares nacionales.
- Se comprobó si nuestra perfilería tubular puede trabajar con los límites de aplicabilidad de la norma americana AISC 360-10 para conexiones con planchas de acero, se comprobó la resistencia y ductilidad del acero, los anchos mínimos y máximos de la plancha para cada perfil, y se verificó los requisitos para conexiones con planchas transversales, longitudinales y de corte.
- Se comprobó si nuestra perfilería tubular puede trabajar con los límites de aplicabilidad de la norma americana AISC 360-10 para conexiones tubo a tubo, se comprobó la resistencia y ductilidad del acero, los diámetros de ramas mínimos y máximos para cada cordón principal, y se verifico los requisitos para la esbeltez del espesor del ramal y del cordón principal.
- Luego de verificar todos los límites de aplicabilidad para conexiones con plancha y conexiones tubo-tubo, se comprobó que no todos nuestros perfiles cumplen con todos los requisitos que nos pide la normativa americana, afortunadamente la gran mayoría cumple con los requisitos.
- Luego del desarrollo de los ejemplos, se concluye que debido a la delgadez de los espesores de la perfilería tubular venezolana, la mayoría de las conexiones requieren de

espesores de plancha de considerable tamaño y de mucha soldadura; por eso en el cálculo de conexiones se opta por reforzar la conexión para otorgarle mayor rigidez a la conexión.

## 2. Recomendaciones

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

- Desarrollar nuevos trabajos de investigación, en la que se incorporen conocimientos de reforzamientos de conexiones metálicas con secciones estructurales tubulares.
- Aprovechar los conocimientos suministrados por este Trabajo Especial de Grado, para un Manual de Diseño de Conexiones con Elementos Tubulares, que sirva de apoyo al Ingeniero Estructural para la ejecución de los cálculos correspondientes al diseño de miembros tubulares y sus conexiones, aumentando así el material bibliográfico en Venezuela.
- Desarrollar procedimientos de diseños de conexiones metálicas considerando pernos, que puedan ser utilizados en conexiones para cerchas donde la apariencia estética de la cercha no sea prioridad.
- Verificar la norma ALACERO. *Comentario ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero* ya que posee errores de transcripción en valores para los límites de aplicabilidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Institute of Steel Construction. (2000). *Load and Resistance Factor Design Specification for Steel Hollow Structural Sections*. Chicago, Illinois.
- American Institute of Steel Construction. (2010). *Hollow Structural Section Connections, Steel Design Guide 24*. Chicago, Illinois.
- American Institute of Steel Construction. (2010). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. Chicago, Illinois.
- American Institute of Steel Construction. (2010). *Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago, Illinois.
- American Welding Society. (2010). *Structural Welding Code-Steel D1.1/D1.1M:2010*. Miami, Florida.
- Asociación Latinoamericana del Acero. (2012). *Comentario ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero*. Las Condes, Santiago de Chile.
- Asociación Latinoamericana del Acero. (2012). *Especificación ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero*. Las Condes, Santiago de Chile.
- CIDECT. (2005). *Guía de Diseño n° 9, Para Uniones a Columnas de Perfiles Tubulares Estructurales*. Alemania.
- Industrias UNICON, C.A. (2011). *Diseño de Estructuras de Acero con Perfiles Tubulares (1ra Edición)*. Caracas: Industrias UNICON, C.A.
- Norma Venezolana. (1998). *COVENIN 1618:1998 Estructuras de Acero para Edificaciones: Métodos de los Estados Límites. (1ra revisión)*. Caracas: FONDONORMA.
- Sabimet, S.A. (s.f.). *Catálogo de Productos Sabimet, S.A.* Caracas.