

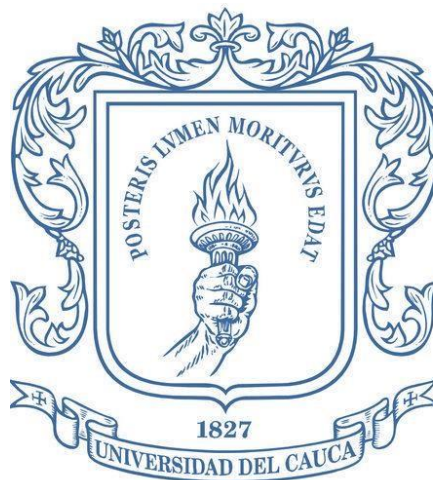
SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS A COMPRESIÓN Y CÁLCULO DE
PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE PERFILES METÁLICOS



Edier Norvey Ortiz Noguera
Santiago Botina Silva

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Civil
Ingeniería Civil
Departamento de Estructuras
Grupo de investigación en mecánica estructural JUMMOS
Popayán, Colombia
2023

SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS A COMPRESIÓN Y CÁLCULO DE
PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE PERFILES METÁLICOS.



Edier Norvey Ortiz Noguera
Santiago Botina Silva

Trabajo en modalidad de investigación presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Civil

Director: Esp. Andrés Felipe Coral Vargas


Codirectora: Esp. Ana María Losada Galeano

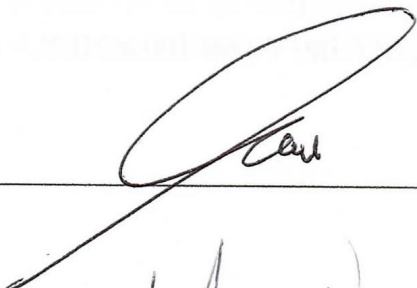
Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Civil
Ingeniería Civil
Departamento de Estructuras
Grupo de investigación en mecánica estructural JUMMOS
Popayán, Colombia
2023

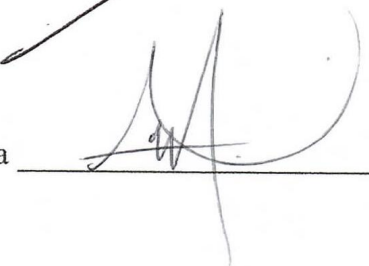
PÁGINA DE ACEPTACIÓN

El director y los jurados han evaluado este documento titulado: "software para el diseño de elementos a compresión y cálculo de propiedades geométricas de perfiles metálicos", escuchando la sustentación del mismo por sus autores y lo encuentran satisfactorio por lo cual autorizan a los estudiantes: Edier Norvey Ortiz Noguera y Santiago Botina Silva, para que desarrolle las gestiones administrativas para optar al título de Ingeniero Civil.

Firma presidente del jurado Brayan Pramba

Firma del jurado 

Firma del director 

Firma de la Codirectora 

RESUMEN

En el presente documento se expone el desarrollo del Software para el diseño de elementos a compresión, en el cual se realizan cálculos para determinar las propiedades geométricas de diferentes perfiles de acero laminados en caliente, perfiles conformados en frío y secciones armadas mediante plantillas que permiten al usuario analizar el perfil con las dimensiones de su elección.

La programación del software se realizó mediante el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) Visual Studio, con lenguaje visual basic.Net en donde se utiliza una base de datos relacional de SQLite. El programa ejecuta el diseño a compresión con el perfil suministrado por el usuario (sea creado o de un catálogo), por el Método de Factores de Carga y Resistencia (LRFD) de la NSR-10.

Palabras clave: compresión, resistencia, perfiles conformados en frío, perfiles laminados en caliente, perfiles armados, base de datos, SQLite, Visual Basic.NET.

Dedicatoria

A Dios por ser mi fortaleza y guía cada día, por darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba. A mis padres y familiares por los años de sacrificio, entrega, amor y dedicación; por hacer todo a su alcance para que yo pudiera cumplir mis sueños, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera y por ser fortaleza en momentos difíciles, ustedes fueron el cimiento para la construcción de mi vida, a ustedes por siempre mi corazón.

Se lo quiero dedicar a toda mi familia y en especial a mis padres que son y seguirán siendo una inspiración en mi vida.

Agradecimientos

A la Universidad del Cauca por haberme permitido formarme en ella y obtener un crecimiento personal e intelectual, a todos mis maestros por los conocimientos otorgados dentro de mi proceso integral de formación, especialmente al director de tesis por depositar su tiempo y confianza en nosotros ayudándonos a que este trabajo pudiese llevarse a cabo.

Quisiera agradecer el esfuerzo de mi compañero y profesores, por hacer posible este gran logro que solo es un paso más en la escalera de la vida.

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	35
2. JUSTIFICACIÓN	37
3. OBJETIVOS	38
3.1. Objetivo principal.....	38
3.2. Objetivos específicos.....	38
4. MARCO TEÓRICO.....	39
4.1. Acero estructural	39
4.1.1. Ventajas del acero.....	40
4.1.2. Desventajas del acero.....	40
4.1.3. Diagrama esfuerzo deformación del acero	41
4.2. Tipos de Perfiles de acero	42
4.3. Propiedades geométricas de secciones transversales tipo	46
4.3.1. Área de una sección	46
4.3.2. Centroides geométrico.....	47
4.3.3. Momentos de inercia para áreas.....	48
4.3.4. Teorema de los ejes paralelos para un área.....	48
4.3.5. Radio de giro de un área	49
4.3.6. Módulo elástico S	50
4.3.7. Módulo plástico Z.....	53
4.3.8. Torsión mecánica	55
4.3.9. Tipos de torsión.....	55
4.3.10. Centro de cortante	56
4.4. Miembros cargados axialmente a compresión	57
4.4.1. Relación de esbeltez.....	58
4.4.2. Esfuerzos residuales.....	59
4.4.3. Fórmulas para columnas sometidas a compresión.....	61
4.4.4. Longitud efectiva y condiciones de apoyo de columnas sometidas a compresión	69
4.4.5. Elementos rigidizados y no rigidizados	75
4.4.6. Columnas largas, cortas e intermedias.....	78
4.5. Diseño de elementos sometidos a compresión.....	79
4.5.1. Diseño con factores de carga y resistencia (LRFD).....	79
4.5.2. Nudos	80

4.5.3. Cargas	81
4.5.4. Pandeo general o pandeo por flexión.....	81
4.5.5. Pandeo local	82
4.5.6. Pandeo por flexotorsión	83
4.5.7. Fórmulas para determinar la resistencia de miembros sometidos a compresión	83
4.6. Lenguaje de programación, POO, IDE, Bases de datos y SGBD	99
4.6.1. Lenguaje de programación.....	99
4.6.2. Programación orientada a objetos.....	100
4.6.3. Compiladores de códigos fuente.....	100
4.6.4. Visual basic a Visual Basic.Net	101
4.6.5. Bases de Datos y Sistemas de Gestión de Bases de datos	102
4.6.6. Sistema gestor de bases de datos SQLite.....	104
4.7. Fórmulas para determinar las propiedades geométricas de perfiles.....	105
4.7.1. Perfiles laminados en caliente.....	105
4.7.2. Perfiles conformados en frio.....	140
4.7.3. Perfiles armados con perfiles laminados en caliente	145
4.7.4. Perfiles armados con perfiles conformados en frio.....	183
5. RESULTADOS.....	190
5.1. Comparación de propiedades geométricas con catálogo.....	190
5.1.1. Perfiles en I sin pendiente (laminado en caliente)	190
5.1.2. Perfiles en IS con pendiente (laminado en caliente).....	195
5.1.3. Perfiles en C con pendiente (laminado en caliente).....	200
5.1.4. Perfiles CS sin pendiente (laminado en caliente)	206
5.1.5. Perfiles L (laminado en caliente)	212
5.1.6. Perfiles T sin pendiente (laminado en caliente).....	218
5.1.7. Perfiles TS con pendiente (laminado en caliente).....	224
5.1.8. Perfiles tubulares estructurales rectangulares (conformado frio)	230
5.1.9. Perfiles tubulares estructurales circulares (conformado frio)	235
5.1.10. Perfiles Placa.....	240
5.1.11. Perfiles barra	245
5.1.12. Perfiles C (conformados en frio).....	249
5.1.13. Perfiles G (conformados en frio)	255

5.1.14. Perfiles 2L espalda con espalda (armados).....	261
5.1.15. Perfiles 2L enfrentados (armados).....	266
5.1.16. Perfiles 4L (armados).....	271
5.1.17. Perfiles 2CS espalda con espalda sin pendiente (armados)	277
5.1.18. Perfiles 2CS enfrentados sin pendiente (armados)	282
5.1.19. Perfiles 2C enfrentados con pendiente (armados)	288
5.1.20. Perfiles 2C espalda con espalda con pendiente (armados)	294
5.1.21. Perfiles 2T Patín con patín sin pendiente (armados)	299
5.1.22. Perfiles 2TS Patín con patín con pendiente (armados)	305
5.1.23. Perfiles en IR reforzado con placas en las aletas (armados).....	311
5.1.24. Perfiles en ISR con pendiente con placas en las aletas (armados).....	316
5.1.25. Perfiles en I armado con placas (armados)	321
5.1.26. Perfiles Tubular armado con placas (armados).....	327
5.1.27. Perfiles 2G enfrentados (armados).....	332
5.1.28. Perfiles 2G espalda con espalda (armados)	336
5.2. Comprobación Q (pandeo local)	340
5.2.1. Comprobación Qs	340
5.2.2. Comprobación Qa.....	350
6. EJEMPLOS DE DISEÑO COMPRESIÓN	362
6.1. Ejemplos diseño	362
6.1.1. Perfil tipo L.....	362
6.1.2. Perfil 2L	365
6.1.3. Perfil tipo I sin pendiente	369
6.1.4. Perfil tipo I sin pendiente	372
6.1.5. Perfil tipo IR sin pendiente	375
6.1.6. Perfil Tipo T sin pendiente	378
7. CONCLUSIONES	382
8. TRABAJOS FUTUROS	384
9. BIBLIOGRAFÍA	385
10. CITAS SECUNDARIAS	390

Lista de tablas

Tabla 1	<i>Cálculo de los centroides en figuras simples</i>	47
Tabla 2	<i>Inercias de secciones Tipo</i>	48
Tabla 3	<i>Estado del arte, estudios en pandeo de columnas</i>	68
Tabla 4	<i>Dimensiones perfil W30x116</i>	190
Tabla 5	<i>Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo</i>	191
Tabla 6	<i>Muestras para porcentaje de variación en área</i>	192
Tabla 7	<i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X</i>	192
Tabla 8	<i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y</i>	192
Tabla 9	<i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X</i>	192
Tabla 10	<i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X</i>	193
Tabla 11	<i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X</i>	193
Tabla 12	<i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X</i>	193
Tabla 13	<i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y</i>	193
Tabla 14	<i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y</i>	193
Tabla 15	<i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y</i>	194
Tabla 16	<i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y</i>	194
Tabla 17	<i>Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)</i> ..	194
Tabla 18	<i>Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (Cw)</i>	194
Tabla 19	<i>Dimensiones S20x75</i>	195
Tabla 20	<i>Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo</i>	196
Tabla 21	<i>Muestras para porcentaje de variación en área</i>	197
Tabla 22	<i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X</i>	197

Tabla 23 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y	197
Tabla 24 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X	197
Tabla 25 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X	198
Tabla 26 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X	198
Tabla 27 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X.....	198
Tabla 28 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y.....	198
Tabla 29 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y	198
Tabla 30 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y	199
Tabla 31 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y.....	199
Tabla 32 Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J) ..	199
Tabla 33 Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (Cw)	199
Tabla 34 Dimensiones C10x20	200
Tabla 35 Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo.....	202
Tabla 36 Muestras para porcentaje de variación en área.....	202
Tabla 37 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X.....	202
Tabla 38 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y	203
Tabla 39 Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en X.....	203
Tabla 40 Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en Y	203
Tabla 41 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X	203
Tabla 42 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X	203
Tabla 43 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X	204
Tabla 44 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X.....	204
Tabla 45 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y.....	204

Tabla 46 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y</i>	204
Tabla 47 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y</i>	204
Tabla 48 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y</i>	205
Tabla 49 <i>Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)</i> ..	205
Tabla 50 <i>Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (Cw)</i>	205
Tabla 51 <i>Dimensiones CS8x5.56</i>	206
Tabla 52 <i>Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo</i>	208
Tabla 53 <i>Muestras para porcentaje de variación en área</i>	208
Tabla 54 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X</i>	209
Tabla 55 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y</i>	209
Tabla 56 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X</i>	209
Tabla 57 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X</i>	209
Tabla 58 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X</i>	210
Tabla 59 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X</i>	210
Tabla 60 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y</i>	210
Tabla 61 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y</i>	210
Tabla 62 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y</i>	210
Tabla 63 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y</i>	211
Tabla 64 <i>Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)</i> ..	211
Tabla 65 <i>Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (Cw)</i>	211
Tabla 66 <i>Dimensiones L4x3x1/2</i>	212
Tabla 67 <i>Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo</i>	214
Tabla 68 <i>Muestras para porcentaje de variación en área</i>	214

Tabla 69 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X</i>	214
Tabla 70 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y</i>	215
Tabla 71 <i>Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en X</i>	215
Tabla 72 <i>Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en Y</i>	215
Tabla 73 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X</i>	215
Tabla 74 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X</i>	216
Tabla 75 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X</i>	216
Tabla 76 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X</i>	216
Tabla 77 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y</i>	216
Tabla 78 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y</i>	216
Tabla 79 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y</i>	217
Tabla 80 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y</i>	217
Tabla 81 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia mínima</i>	217
Tabla 82 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro mínimo</i>	217
Tabla 83 <i>Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)</i> ..	217
Tabla 84 <i>Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (Cw)</i>	218
Tabla 85 <i>Dimensiones WT15x49.5</i>	218
Tabla 86 <i>Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo</i>	220
Tabla 87 <i>Muestras para porcentaje de variación en área</i>	220
Tabla 88 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X</i>	221
Tabla 89 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y</i>	221
Tabla 90 <i>Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en X</i>	221
Tabla 91 <i>Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en Y</i>	221

Tabla 92 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X</i>	221
Tabla 93 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X</i>	222
Tabla 94 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X</i>	222
Tabla 95 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X</i>	222
Tabla 96 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y</i>	222
Tabla 97 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y</i>	222
Tabla 98 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y</i>	223
Tabla 99 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y</i>	223
Tabla 100 <i>Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)</i>	223
Tabla 101 <i>Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (Cw)</i>	223
Tabla 102 <i>Dimensiones ST10x37.5</i>	224
Tabla 103 <i>Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo</i>	226
Tabla 104 <i>Muestras para porcentaje de variación en área</i>	226
Tabla 105 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X</i>	226
Tabla 106 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y</i>	227
Tabla 107 <i>Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en X</i>	227
Tabla 108 <i>Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en Y</i>	227
Tabla 109 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X</i>	227
Tabla 110 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X</i>	227
Tabla 111 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X</i>	228
Tabla 112 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X</i>	228
Tabla 113 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y</i>	228
Tabla 114 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y</i>	228

Tabla 115 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y</i>	228
Tabla 116 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y</i>	229
Tabla 117 <i>Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)</i> 229	
Tabla 118 <i>Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (Cw)</i>	229
Tabla 119 <i>Dimensiones HSS7x4x5/16</i>	230
Tabla 120 <i>Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo</i>	231
Tabla 121 <i>Muestras para porcentaje de variación en área</i>	232
Tabla 122 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X</i>	232
Tabla 123 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y</i>	232
Tabla 124 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X</i>	232
Tabla 125 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X</i>	233
Tabla 126 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X</i>	233
Tabla 127 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X</i>	233
Tabla 128 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y</i>	233
Tabla 129 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y</i>	233
Tabla 130 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y</i>	234
Tabla 131 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y</i>	234
Tabla 132 <i>Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)</i> 234	
Tabla 133 <i>Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (Cw)</i>	234
Tabla 134 <i>Dimensiones Pipe1-1/2STD</i>	235
Tabla 135 <i>Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo</i>	236
Tabla 136 <i>Muestras para porcentaje de variación en área</i>	237
Tabla 137 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X</i>	237

Tabla 138 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y.....	237
Tabla 139 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X.	237
Tabla 140 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X.	238
Tabla 141 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X.	238
Tabla 142 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X.....	238
Tabla 143 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y.....	238
Tabla 144 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y.	238
Tabla 145 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y.	239
Tabla 146 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y.....	239
Tabla 147 Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J). 239	
Tabla 148 Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (Cw).	239
Tabla 149 Dimensiones Placa 5x2.....	240
Tabla 150 Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS.....	241
Tabla 151 Muestras para porcentaje de variación en área.....	241
Tabla 152 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X.....	242
Tabla 153 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y.....	242
Tabla 154 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X.....	242
Tabla 155 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X.....	242
Tabla 156 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X.....	243
Tabla 157 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X.....	243
Tabla 158 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y.....	243
Tabla 159 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y.....	243
Tabla 160 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y.....	244

Tabla 161 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y</i>	244
Tabla 162 <i>Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)</i>	244
Tabla 163 <i>Dimensiones Barra 1-1/2</i>	245
Tabla 164 <i>Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS</i>	246
Tabla 165 <i>Muestras para porcentaje de variación en área</i>	246
Tabla 166 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X</i>	246
Tabla 167 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y</i>	247
Tabla 168 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X</i>	247
Tabla 169 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X</i>	247
Tabla 170 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X</i>	247
Tabla 171 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X</i>	248
Tabla 172 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y</i>	248
Tabla 173 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y</i>	248
Tabla 174 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y</i>	248
Tabla 175 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y</i>	249
Tabla 176 <i>Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)</i>	249
Tabla 177 <i>Dimensiones perfil UF 40x50x2</i>	250
Tabla 178 <i>Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo</i>	252
Tabla 179 <i>Muestras para porcentaje de variación en área</i>	252
Tabla 180 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X</i>	252
Tabla 181 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y</i>	253
Tabla 182 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X</i>	253
Tabla 183 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X</i>	253

Tabla 184 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X</i>	253
Tabla 185 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y</i>	253
Tabla 186 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y</i>	254
Tabla 187 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y</i>	254
Tabla 188 <i>Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)</i>	254
Tabla 189 <i>Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (Cw)</i>	254
Tabla 190 <i>Dimensiones CF 60x2.5</i>	255
Tabla 191 <i>Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo</i>	257
Tabla 192 <i>Muestras para porcentaje de variación en área</i>	257
Tabla 193 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X</i>	258
Tabla 194 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y</i>	258
Tabla 195 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X</i>	258
Tabla 196 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X</i>	258
Tabla 197 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X</i>	259
Tabla 198 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y</i>	259
Tabla 199 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y</i>	259
Tabla 200 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y</i>	259
Tabla 201 <i>Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)</i>	259
Tabla 202 <i>Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (Cw)</i>	260
Tabla 203 <i>Dimensiones 2L8x8x1/2x3/8</i>	261
Tabla 204 <i>Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo</i>	262
Tabla 205 <i>Muestras para porcentaje de variación en área</i>	263
Tabla 206 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X</i>	263

Tabla 207 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y.....	263
Tabla 208 Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en X.....	263
Tabla 209 Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en Y.....	264
Tabla 210 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X.....	264
Tabla 211 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X.....	264
Tabla 212 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X.....	264
Tabla 213 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X.....	264
Tabla 214 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y.....	265
Tabla 215 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y.....	265
Tabla 216 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y.....	265
Tabla 217 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y.....	265
Tabla 218 Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)	265
Tabla 219 Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (Cw).....	266
Tabla 220 Dimensiones 2LF8x8x1/2x3/8.....	267
Tabla 221 Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS.....	268
Tabla 222 Muestras para porcentaje de variación en área.....	269
Tabla 223 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X.....	269
Tabla 224 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y.....	269
Tabla 225 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X.....	269
Tabla 226 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X.....	269
Tabla 227 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X.....	270
Tabla 228 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X.....	270
Tabla 229 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y.....	270

Tabla 230 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y	270
Tabla 231 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y	270
Tabla 232 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y.....	271
Tabla 233 Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)	271
Tabla 234 Dimensiones 4L8X8X1/2X3/8X5/8	272
Tabla 235 Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS	273
Tabla 236 Muestras para porcentaje de variación en área.....	274
Tabla 237 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X.....	274
Tabla 238 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y.....	274
Tabla 239 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X	274
Tabla 240 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X.....	275
Tabla 241 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X	275
Tabla 242 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X.....	275
Tabla 243 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y.....	275
Tabla 244 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y	275
Tabla 245 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y	276
Tabla 246 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y.....	276
Tabla 247 Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)	276
Tabla 248 Dimensiones 2CSB12x3x0.5x0.5x0.75.....	277
Tabla 249 Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS	279
Tabla 250 Muestras para porcentaje de variación en área.....	279
Tabla 251 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X.....	279
Tabla 252 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y.....	280

Tabla 253 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X	280
Tabla 254 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X	280
Tabla 255 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X	280
Tabla 256 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X.....	281
Tabla 257 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y.....	281
Tabla 258 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y	281
Tabla 259 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y	281
Tabla 260 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y.....	282
Tabla 261 Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)	282
Tabla 262 Dimensiones 2CSF12x3x0.5x0.5x0.75.....	283
Tabla 263 Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS	285
Tabla 264 Muestras para porcentaje de variación en área.....	285
Tabla 265 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X.....	285
Tabla 266 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y.....	286
Tabla 267 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X	286
Tabla 268 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X	286
Tabla 269 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X	286
Tabla 270 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X.....	286
Tabla 271 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y.....	287
Tabla 272 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y	287
Tabla 273 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y	287
Tabla 274 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y.....	287
Tabla 275 Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)	288

Tabla 276 Dimensiones 2CF12x3x0.5x0.5x0.75x16%	289
Tabla 277 Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS	290
Tabla 278 Muestras para porcentaje de variación en área.....	291
Tabla 279 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X.....	291
Tabla 280 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y.....	291
Tabla 281 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X	291
Tabla 282 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X	292
Tabla 283 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X	292
Tabla 284 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X.....	292
Tabla 285 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y.....	292
Tabla 286 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y	292
Tabla 287 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y	293
Tabla 288 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y.....	293
Tabla 289 Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)	293
Tabla 290 Dimensiones 2CB12x3x0.5x0.5x0.75x16%	294
Tabla 291 Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS	296
Tabla 292 Muestras para porcentaje de variación en área.....	296
Tabla 293 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X.....	296
Tabla 294 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y.....	297
Tabla 295 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X	297
Tabla 296 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X	297
Tabla 297 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X	297
Tabla 298 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X.....	298

Tabla 299 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y.....	298
Tabla 300 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y	298
Tabla 301 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y	298
Tabla 302 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y.....	299
Tabla 303 Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)	299
Tabla 304 Dimensiones 2TP12x12x0.5x1x0.75	300
Tabla 305 Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS	302
Tabla 306 Muestras para porcentaje de variación en área.....	302
Tabla 307 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X.....	302
Tabla 308 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y.....	303
Tabla 309 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X	303
Tabla 310 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X	303
Tabla 311 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X	303
Tabla 312 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X.....	303
Tabla 313 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y.....	304
Tabla 314 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y	304
Tabla 315 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y	304
Tabla 316 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y.....	304
Tabla 317 Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)	305
Tabla 318 Dimensiones 2TSP12x12x0.5x1x0.75X16%	306
Tabla 319 Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS	307
Tabla 320 Muestras para porcentaje de variación en área.....	308
Tabla 321 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X.....	308

Tabla 322 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y.....	308
Tabla 323 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X	308
Tabla 324 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X	309
Tabla 325 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X	309
Tabla 326 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X.....	309
Tabla 327 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y.....	309
Tabla 328 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y	309
Tabla 329 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y	310
Tabla 330 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y.....	310
Tabla 331 Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)	310
Tabla 332 Dimensiones IR24x12x16x1.....	311
Tabla 333 Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS	313
Tabla 334 Muestras para porcentaje de variación en área.....	313
Tabla 335 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X.....	313
Tabla 336 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y.....	314
Tabla 337 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X	314
Tabla 338 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X	314
Tabla 339 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X	314
Tabla 340 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X.....	314
Tabla 341 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y.....	315
Tabla 342 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y	315
Tabla 343 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y	315
Tabla 344 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y.....	315

Tabla 345 <i>Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)</i>	315
Tabla 346 <i>Dimensiones ISR24x12x16x1x16%</i>	316
Tabla 347 <i>Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS</i>	318
Tabla 348 <i>Muestras para porcentaje de variación en área</i>	319
Tabla 349 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X</i>	319
Tabla 350 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y</i>	319
Tabla 351 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X</i>	319
Tabla 352 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X</i>	319
Tabla 353 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X</i>	320
Tabla 354 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X</i>	320
Tabla 355 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y</i>	320
Tabla 356 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y</i>	320
Tabla 357 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y</i>	320
Tabla 358 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y</i>	321
Tabla 359 <i>Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)</i>	321
Tabla 360 <i>Dimensiones IA15x0.5x10x2x5x1</i>	322
Tabla 361 <i>Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS</i>	324
Tabla 362 <i>Muestras para porcentaje de variación en área</i>	324
Tabla 363 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X</i>	324
Tabla 364 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y</i>	325
Tabla 365 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X</i>	325
Tabla 366 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X</i>	325
Tabla 367 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X</i>	325

Tabla 368 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X.....	325
Tabla 369 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y.....	326
Tabla 370 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y	326
Tabla 371 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y	326
Tabla 372 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y.....	326
Tabla 373 Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)	326
Tabla 374 Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (Cw)	327
Tabla 375 Dimensiones TUBREC 12x0.5x12x0.5	328
Tabla 376 Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS	329
Tabla 377 Muestras para porcentaje de variación en área.....	329
Tabla 378 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X.....	330
Tabla 379 Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y.....	330
Tabla 380 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X	330
Tabla 381 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X	330
Tabla 382 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X	330
Tabla 383 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X.....	331
Tabla 384 Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y.....	331
Tabla 385 Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y	331
Tabla 386 Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y	331
Tabla 387 Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y.....	331
Tabla 388 Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)	332
Tabla 389 Dimensiones PHR C 100 x50 -2.0	332
Tabla 390 Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo.....	334

Tabla 391 <i>Muestras para porcentaje de variación en área</i>	334
Tabla 392 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X</i>	334
Tabla 393 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y</i>	334
Tabla 394 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X</i>	335
Tabla 395 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X</i>	335
Tabla 396 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X</i>	335
Tabla 397 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y</i>	335
Tabla 398 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y</i>	335
Tabla 399 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y</i>	336
Tabla 400 <i>Dimensiones PHR C 254 x 67 - 2.5 mm</i>	336
Tabla 401 <i>Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo</i>	337
Tabla 402 <i>Muestras para porcentaje de variación en área</i>	338
Tabla 403 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X</i>	338
Tabla 404 <i>Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y</i>	338
Tabla 405 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X</i>	338
Tabla 406 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X</i>	339
Tabla 407 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X</i>	339
Tabla 408 <i>Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y</i>	339
Tabla 409 <i>Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y</i>	339
Tabla 410 <i>Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y</i>	339
Tabla 411 <i>Resultados Qs</i>	361
Tabla 412 <i>Resultados Qa</i>	361
Tabla 413 <i>Resistencia alrededor del eje X o y en Koutetsu</i>	363

Tabla 414 <i>Propiedades calculadas por CYPE 3D</i>	364
Tabla 415 <i>Resistencia alrededor del eje X o Y en</i>	364
Tabla 416 <i>Resistencia alrededor del eje X o Y en</i>	365
Tabla 417 <i>Resistencia alrededor del eje X cálculo a mano</i>	367
Tabla 418 <i>Resistencia alrededor del eje X Koutetsu</i>	367
Tabla 419 <i>Resistencia alrededor del eje Y cálculo a mano</i>	368
Tabla 420 <i>Flexotorsión Caso a NSR-10 Cálculo a mano</i>	368
Tabla 421 <i>Resistencia a la torsión Koutetsu</i>	368
Tabla 422 <i>Comparación resultados perfil 2L</i>	369
Tabla 423 <i>Resultados obtenidos en el software Koutetsu para el ejemplo 2</i>	372
Tabla 424 <i>Resultados obtenidos en el software Koutetsu para el ejemplo 3</i>	375
Tabla 425 <i>Resultados obtenidos en el software Koutetsu para el ejemplo 4</i>	378
Tabla 426 <i>Resultados dados por McCormac & Csernak (2013) ejemplo 5</i>	378
Tabla 427 <i>Resultados obtenidos en el software Koutetsu para el ejemplo 5</i>	379
Tabla 428 <i>Comparación con CYPE 3D</i>	380
Tabla 429 <i>Diagrama de flujo diseño a Compresión pura</i>	380

Lista de figuras

Figura 1 <i>Diagrama esfuerzo deformación del acero estructural dulce a temperatura ambiente.</i>	42
Figura 2 <i>Secciones laminadas en caliente.</i>	43
Figura 3 <i>Perfiles laminados de acero.</i>	44
Figura 4 <i>Partes de un perfil.</i>	45
Figura 5 <i>Perfiles de acero rolados o conformados en frío.</i>	45
Figura 6 <i>Perfiles para el cálculo de propiedades geométricas y diseño (Se excluyen de diseño los perfiles conformados en frío).</i>	46
Figura 7 <i>Cálculo de las coordenadas de los centroides sobre un plano.</i>	47
Figura 8 <i>Centroides en secciones tipo</i>	48
Figura 9 <i>Sección tipo para determinar el momento de inercia a ejes paralelos</i>	49
Figura 10 <i>Esfuerzos elásticos.</i>	50
Figura 11 <i>Resultante de un par de fuerzas en un elemento diferencial de área</i>	51
Figura 12 <i>Esfuerzos elásticos en los materiales</i>	52
Figura 13 <i>Esfuerzos plásticos en los materiales</i>	54
Figura 14 <i>Modos de pandeo de una columna sometida a compresión</i>	57
Figura 15 <i>Tensiones residuales debidas al proceso de laminación y de soldadura</i>	60
Figura 16 <i>Efecto de los esfuerzos residuales sobre el diagrama esfuerzo-deformación unitaria en columnas</i>	61
Figura 17 <i>Curva resultado de la prueba para estimar la resistencia de columnas rectangulares (Pieter Van Musschenbroek).</i>	62
Figura 18 <i>Pandeo de una columna ideal</i>	64
Figura 19 <i>Hipérbola de Euler</i>	66
Figura 20 <i>Diagrama esfuerzo-deformación y zona elástica en la teoría de Euler</i>	67

Figura 21	<i>Longitudes efectivas (KL) de columnas en marcos arriostrados</i>	69
Figura 22	<i>Columnas de Marcos no arriostrados contra el ladeo lateral</i>	70
Figura 23	<i>Valores de longitud efectiva teórico y de diseño</i>	71
Figura 24	<i>Ejemplo de marcos o pórticos arriostrados o con ladeo impedido</i>	72
Figura 25	<i>Nomogramas de longitud efectiva K en Pórticos o marcos arriostrados contra el desplazamiento lateral (comportamiento elástico)</i>	73
Figura 26	<i>Nomogramas de longitud efectiva K en Pórticos o marcos no arriostrados contra el desplazamiento lateral (comportamiento elástico)</i>	74
Figura 27	<i>Elementos rigidizados y no rigidizados</i>	76
Figura 28	<i>Valores Límite de la Relación Ancho a Espesor para Elementos de Miembros a Compresión Axial</i>	77
Figura 29	<i>Transferencia de momentos en nudos articulados y rígidos</i>	80
Figura 30	<i>Modo de pandeo general de una columna con dos ejes de simetría</i>	82
Figura 31	<i>Pandeo local de patines y de alma</i>	83
Figura 32	<i>Numerales aplicables para el diseño a compresión según la NSR-10</i>	84
Figura 33	<i>Curva de esfuerzo crítico F_{cr} Vs relación de esbeltez (KL/r)</i>	85
Figura 34	<i>Ejemplo de perfil en I con cubre placas</i>	90
Figura 35	<i>Ejemplo de miembros armados con componentes sin contacto entre sí</i>	92
Figura 36	<i>Vista lateral de una columna de miembros armados interconectados con cubre placas perforadas</i>	93
Figura 37	<i>Vista lateral de una columna de miembros armados interconectados con celosía doble</i>	93

Figura 38 <i>Vista lateral de una columna de miembros armados interconectados con celosía simple</i>	93
Figura 39 <i>Ciclo para desarrollar un software.</i>	101
Figura 40 <i>Perfil tipo I sin pendiente</i>	105
Figura 41 <i>Representación gráfica del sobrante</i>	106
Figura 42 <i>Perfil tipo IS con pendiente</i>	109
Figura 43 <i>Aleta de los perfiles con pendiente</i>	109
Figura 44 <i>Perfil tipo T sin pendiente</i>	112
Figura 45 <i>Diagrama de flujo para el cálculo de Y_p para perfiles T sin pendiente</i>	114
Figura 46 <i>Perfil tipo TS con pendiente</i>	115
Figura 47 <i>Diagrama de flujo para el cálculo de Y_p para perfiles TS con pendiente</i>	118
Figura 48 <i>Perfil tipo L</i>	119
Figura 49 <i>Diagrama de flujo para el cálculo de X_p para perfiles L</i>	122
Figura 50 <i>Diagrama de flujo para el cálculo de Y_p para perfiles L</i>	123
Figura 51 <i>Perfil tipo CS sin pendiente</i>	124
Figura 52 <i>Diagrama de flujo para el cálculo de X_p para perfiles CS sin pendiente</i>	126
Figura 53 <i>Perfil tipo C con pendiente</i>	127
Figura 54 <i>Diagrama de flujo para el cálculo de X_p para perfiles C con pendiente</i>	130
Figura 55 <i>Perfil tipo tubular rectangular</i>	131
Figura 56 <i>Radio para perfiles conformados en frío</i>	132
Figura 57 <i>Perfil tipo tubular circular</i>	134
Figura 58 <i>Perfil tipo barra sólida</i>	136
Figura 59 <i>Perfil tipo Placa</i>	138

Figura 60 Perfil tipo G con aletas.....	140
Figura 61 Perfil tipo C sin aletas.....	143
Figura 62 Perfil tipo 2L espalda con espalda.....	145
Figura 63 Perfil tipo 2L enfrentados.....	148
Figura 64 Perfil tipo 4L en cajón.....	150
Figura 65 Perfil tipo 2CS enfrentados sin pendiente	153
Figura 66 Perfil tipo 2CS espalda con espalda sin pendiente	155
Figura 67 Perfil tipo 2C enfrentados con pendiente	158
Figura 68 Perfil tipo 2C espalda con espalda con pendiente	161
Figura 69 Perfil tipo 2T patín con patín sin pendiente	164
Figura 70 Perfil tipo 2TS patín con patín con pendiente	167
Figura 71 Perfil tipo I sin pendiente con placas de refuerzo	170
Figura 72 Perfil tipo IS con pendiente con placas de refuerzo.....	174
Figura 73 Perfil tipo I hecho con placas.....	178
Figura 74 Diagrama de flujo para el cálculo de Y_p para perfiles I armados	180
Figura 75 Perfil tipo TUBULAR hecho con placas	181
Figura 76 Perfil tipo 2G con aletas espalda con espalda.....	183
Figura 77 Perfil tipo 2G con aletas enfrentados.....	186
Figura 78 Dimensiones y propiedades del perfil en I CYPE 3D.....	341
Figura 79 Resultado Q_s CYPE 3D	341
Figura 80 Dimensiones y Propiedades Perfil I laminado en caliente	342
Figura 81 Resultado Q_s Koutetsu	342
Figura 82 Dimensiones y propiedades del perfil en I CYPE 3D.....	343

Figura 83 <i>Resultado Qs CYPE 3D</i>	344
Figura 84 <i>Dimensiones y propiedades de I armados con placas</i>	344
Figura 85 <i>Resultado Qs Koutetsu</i>	345
Figura 86 <i>Dimensiones y Propiedades de perfil L CYPE 3D</i>	346
Figura 87 <i>Resultado Qs CYPE 3D</i>	346
Figura 88 <i>Propiedades y dimensiones de 2L</i>	347
Figura 89 <i>Resultado Qs Koutetsu</i>	347
Figura 90 <i>Dimensiones y Propiedades perfil T en CYPE 3D</i>	348
Figura 91 <i>Resultado Qs CYPE 3D</i>	349
Figura 92 <i>Propiedades Y dimensiones del Perfil en T</i>	349
Figura 93 <i>Resultado Qs Koutetsu</i>	349
Figura 94 <i>Dimensiones y Propiedades del perfil en I</i>	350
Figura 95 <i>Resultado Qa CYPE 3D</i>	351
Figura 96 <i>Dimensiones y Propiedades del perfil en I armado con placas</i>	351
Figura 97 <i>Resultado Qa CYPE 3D</i>	352
Figura 98 <i>Dimensiones y Propiedades de perfil en I</i>	352
Figura 99 <i>Valor Qa Koutetsu</i>	352
Figura 100 <i>Dimensiones y propiedades perfil en I armado con placas</i>	353
Figura 101 <i>Resultado Qa software Koutetsu</i>	353
Figura 102 <i>Dimensiones y Propiedades del perfil tubular rectangular</i>	353
Figura 103 <i>Resultado Qa CYPE 3D</i>	354
Figura 104 <i>Dimensiones y Propiedades del perfil tubular rectangular</i>	354
Figura 105 <i>Resultado Qa CYPE 3D</i>	355

Figura 106 <i>Dimensiones y Propiedades del perfil tubular rectangular</i>	355
Figura 107 <i>Resultado Qa CYPE 3D</i>	356
Figura 108 <i>Dimensiones y Propiedades del perfil tubular rectangular</i>	356
Figura 109 <i>Resultado Qa CYPE 3D</i>	357
Figura 110 <i>Dimensiones y propiedades perfil Tubular rectangular</i>	357
Figura 111 <i>Resultado Qa software Koutetsu</i>	358
Figura 112 <i>Dimensiones y propiedades perfil Tubular rectangular</i>	358
Figura 113 <i>Resultado Qa software Koutetsu</i>	358
Figura 114 <i>Dimensiones y propiedades perfil Tubular rectangular armado con placas</i>	358
Figura 115 <i>Resultado Qa software Koutetsu</i>	359
Figura 116 <i>Dimensiones y propiedades perfil Tubular rectangular armado con placas</i>	359
Figura 117 <i>Resultado Qa software Koutetsu</i>	359
Figura 118 <i>Dimensiones y propiedades de perfil tubular circular</i>	360
Figura 119 <i>Resultado Qa CYPE 3D</i>	360
Figura 120 <i>Dimensiones y propiedades perfil Tubular circular</i>	361
Figura 121 <i>Resultado Qa software Koutetsu</i>	361
Figura 122 <i>Perfil diseño tipo L6x6x5/8</i>	362
Figura 123 <i>Plano YZ</i>	362
Figura 124 <i>Plano XZ</i>	363
Figura 125 <i>Perfil diseño tipo 2L</i>	366
Figura 126 <i>Columna a diseñar</i>	366
Figura 127 <i>Ejemplo de diseño 2 tomado de McCormac & Csernak (2013)</i>	369
Figura 128 <i>Resultados del ejemplo 2 dados por McCormac & Csernak (2013)</i>	370

Figura 129 <i>Resultados de las propiedades geométricas en el software Koutetsu para un perfil W12X72</i>	371
Figura 130 <i>Modelo gráfico de la columna del ejemplo 2</i>	371
Figura 131 <i>Ejemplo de diseño 3 tomado de McCormac & Csernak (2013)</i>	372
Figura 132 <i>Resultados dados por Mccormac & Csernak (2013)</i>	373
Figura 133 <i>Resultados de las propiedades geométricas en el software Koutetsu para un perfil W14X90</i>	374
Figura 134 <i>Modelo gráfico de la columna del ejemplo 3</i>	374
Figura 135 <i>Ejemplo de diseño 4 tomado de McCormac & Csernak (2013)</i>	375
Figura 136 <i>Resultados dados por Mccormac & Csernak (2013)</i>	376
Figura 137 <i>Resultados de las propiedades geométricas en el software Koutetsu para un perfil W12X12 y placa 16x1/2</i>	377
Figura 138 <i>Modelo gráfico de la columna del ejemplo 4</i>	377
Figura 139 <i>Ejemplo de diseño 5 tomado de McCormac & Csernak (2013)</i>	378
Figura 140 <i>Resultados de las propiedades geométricas en el software Koutetsu para un perfil WT10.5X66</i>	379

1. INTRODUCCIÓN

Las estructuras metálicas son comúnmente utilizadas en la ingeniería, debido a que su implementación evidencia mejores características constructivas en las edificaciones, presentando así mayores resistencias, uniformidad, elasticidad, ductilidad y durabilidad en comparación a las construidas en concreto reforzado. Adicional a esto, las estructuras metálicas son mucho más livianas y logran generar construcciones más económicas y versátiles, optimizando los tiempos de construcción. De esta forma, es frecuente ver puentes, cerchas, edificios, cubiertas, naves industriales, grúas, torres, pilotes y demás obras de estructura metálica. (McCormac & Csernak, 2013).

En este sentido, se puede afirmar que el acero es un material que ofrece gran variedad de ventajas frente a otros materiales. Sin embargo, su implementación está ligada a diversos factores como lo son las condiciones particulares del suelo, ubicación, tipo de construcción, entre otros. Por otra parte, en el diseño de estructuras metálicas se deben considerar las fallas por pandeo, a causa de que comúnmente las secciones son delgadas y abarcan grandes longitudes, caso que generalmente no es necesario tener en cuenta en estructuras de concreto, por el hecho de que las estructuras de acero al ser largas y tener algún tipo de esbeltez tienden a pandearse, además de los fallos por compresión, tensión, flexión y cortante que presentan. (Monfort, 2006; Urbán, 2010).

Además de esto, es imprescindible analizar los posibles fallos a los que se encuentran expuestas las estructuras metálicas a causa de su exposición a fuerzas externas como cargas debido a su uso (carga viva), peso propio, cargas de viento, efectos debido a sismos, granizo y todas las combinaciones de carga que generan esfuerzos y solicitaciones a los elementos de la

edificación, dimensionando la estructura y las partes de tal modo que soporten satisfactoriamente las cargas a las que estará sometida (McCormac & Csernak, 2013).

Por lo anterior, cada país tiene su normatividad de diseño, y Colombia no es la excepción, contando actualmente con la norma colombiana para construcción sismo resistente (NSR-10), en donde se abarcan formulaciones generales y específicas que garantizan el uso de edificios y el comportamiento adecuado de las estructuras metálicas bajo normativas vigentes de diseño (Rodríguez & Walter, 2018). Pese a contar con estas formulaciones que permiten diseñar obras de ingeniería en acero estructural, su riguroso y extenso proceso, genera una ineficiencia en tiempo al realizar todos los diseños manualmente, por lo tanto, diversas agrupaciones y empresas programan softwares sofisticados para analizar y/o diseñar proyectos en estructuras metálicas. Sin embargo, la mayoría de estos softwares no son de acceso libre o si lo son limitan al diseñador.

Debido a esto, se lleva a cabo el desarrollo de Koutetsu Estructuras, software de uso libre para la comunidad, el cual permite obtener rápidamente las propiedades geométricas de perfiles de catálogos americanos y europeos, presentando además un apartado para obtener estas propiedades por medio de plantillas y dimensiones proporcionadas por el usuario, así como secciones armadas. Adicional a esto, el software permite diseñar un elemento a compresión, todo bajo la norma colombiana NSR-10 y la norma americana ANSI/AISC 360-05, que refieren a las especificaciones para edificios de acero estructural. Por otra parte, el software tiene la capacidad de escoger según los datos suministrados los perfiles que estén por debajo de la demanda de capacidad requerida y los ordena de menor a mayor peso para que el diseñador pueda escoger el perfil según las necesidades.

2. JUSTIFICACIÓN

Existen diversos programas para el diseño de elementos a compresión, los cuales en su mayoría se deben adquirir por medio de la compra de una licencia para su posterior uso, sin embargo, aunque se encuentran algunos de carácter gratuito, limitan al usuario únicamente al diseño estructural de perfiles que comercializa la empresa. Adicional a esto, son escasos los programas que tienen la norma NSR-10 para este tipo de diseños. Por consiguiente, se requiere de un software de uso libre parametrizado con base en los criterios que presenta la NSR-10 para el diseño de elementos a compresión y de esta manera poder tener una herramienta de fácil acceso que permita el diseño de diferentes perfiles sin ningún limitante.

Conociendo que, el diseño a compresión de perfiles metálicos genera un procedimiento extenso y repetitivo debido al empleo de gran variedad de ecuaciones que dependen tanto del tipo de perfil como de las propiedades geométricas de este, se propone automatizar el proceso mediante un software, logrando así una eficiencia en tiempo en el diseño de los elementos.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo principal

- Programar un software para el diseño a compresión y el cálculo de propiedades geométricas de perfiles más usados en estructuras metálicas.

3.2. Objetivos específicos

- Crear un módulo para el cálculo de propiedades geométricas de perfiles más usados.
- Programar módulo para el diseño de elementos sometidos a compresión
- Sistematizar la generación de la memoria de cálculo de los resultados.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Acero estructural

El acero estructural es uno de los materiales más usados a nivel mundial por su alta resistencia a la tracción, compresión y momento flector; sin embargo, no es un elemento químico que se encuentre en la naturaleza, es una aleación principalmente hecha de carbón y hierro, además de otros componentes e impurezas que no afectan la calidad del producto y no se justifica eliminarlas si sus propiedades no cambian drásticamente. Dicho lo anterior, si la cantidad de carbono es inferior al 2% el material es conocido como acero, cuyas propiedades son muy sensibles ya que si es superior al 2% es muy frágil, resistiendo altas cargas a compresión y bajas a tensión, este material es conocido como hierro colado (Monfort, 2006).

Por otra parte, si el porcentaje del carbono esta entre 0.2-0.3%, es de muy alta resistencia y es conocido como acero dulce, en consecuencia, de estos estudios, la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM) especifica los porcentajes máximos presentes en un acero estructural (carbono, hierro, níquel, cobre, magnesio, etc.), presentando además propiedades como soldabilidad, resistencia a corrosión, fractura, entre otras debido a las variaciones de los porcentajes. Por lo que, un buen acero estructural su porcentaje de carbono debe estar entre 0.2% y 2% (Zambrano, 2022).

Llegados a este punto, la principal función del software es el diseño de perfiles de acero laminados en caliente, cuya principal distinción se hace por las diferentes formas transversales como son I, T, C, L, estos se consiguen moldeando el acero a altas temperaturas, sin perder propiedades físicas y mecánicas. Por otro lado, se encuentran los perfiles conformados en frío que son perfiles tubulares rectangulares o circulares, que se consigue doblando una lámina de acero (McCormac y Csernak, 2013).

4.1.1. Ventajas del acero

Como se menciona, el material más usado en el ámbito de la construcción es el acero por sus diferentes ventajas, como presentar alta rigidez o ser un material homogéneo y que se mantiene al pasar el tiempo, estas y otras que expresa (McCormac & Csernak (2013); Zambrano (2022):

- Alta resistencia por unidad de peso, haciendo estructuras más livianas.
- Elasticidad, es uno de los pocos materiales que se acercan a su comportamiento hipotético a la vida real.
- Ductilidad, soporta grandes esfuerzos y deformaciones sin llegar al fallo.
- Tenacidad, resiste grandes esfuerzos aun estando deformado.
- Fácil montaje y conexión, además de poder alargarse soldando o con pernos.
- Es un material de fácil reciclado.

4.1.2. Desventajas del acero

Como todo material no es perfecto, existen desventajas cuando se usa este material para construir, como las que expresa McCormac & Csernak (2013); Zambrano (2022):

- Corrosión, el acero puede ser afectado cuando está en la intemperie, lo que hace necesario que las estructuras de acero se pinten, o se use un acero intemperizado.
- Protección contra el fuego, el acero es un material que resiste el fuego, sin embargo, sus propiedades mecánicas se ven afectadas drásticamente, por lo que se debe proteger con materiales aislantes.
- Pandeo, los perfiles al ser delgados y largos son susceptibles a pandeo.
- Fatiga, si el acero se presenta a inversiones de esfuerzo continuos, su resistencia mecánica reduce.

4.1.3. Diagrama esfuerzo deformación del acero

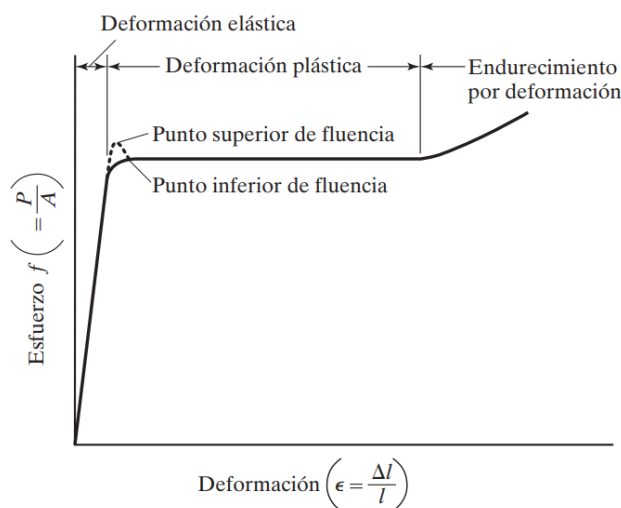
Es importante conocer las características del material que se va a utilizar para el diseño, porque “los diagramas esfuerzo-deformación presentan información valiosa necesaria para entender cómo se comporta el acero en una situación dada” (McCormac & Csernak, 2013, p.26). En este sentido, el acero se comporta linealmente elástico hasta el límite de proporcionalidad, donde para este tramo es válida la ley de Hooke (Zambrano, 2022).

El esfuerzo donde se incrementa la deformación sin un incremento de esfuerzo se le conoce como límite de fluencia y es el valor que comúnmente se utiliza para el diseño de los elementos de acero estructural. Toda deformación que ocurre por debajo de este límite se le denomina deformación elástica, y las deformaciones siguientes se les conocen como deformaciones plásticas.

Después del rango de deformaciones plásticas, se debe incrementar el esfuerzo para que aumenten las deformaciones, a este tramo se le conoce como endurecimiento por deformación. Finalmente se presenta una marcada reducción en la sección transversal del elemento de acero, zona que se le conoce como estricción del elemento y ocurre antes de que se fracture el elemento. (McCormac & Csernak, 2013).

Figura 1

Diagrama esfuerzo deformación del acero estructural dulce a temperatura ambiente.



Nota. Adaptado de Diagrama de esfuerzo-deformación característico de un acero estructural dulce o con bajo contenido de carbono a temperatura ambiente, J.C McCormac & S, F Csernak, 2013. Alfaomega Grupo Editor.

4.2. Tipos de Perfiles de acero

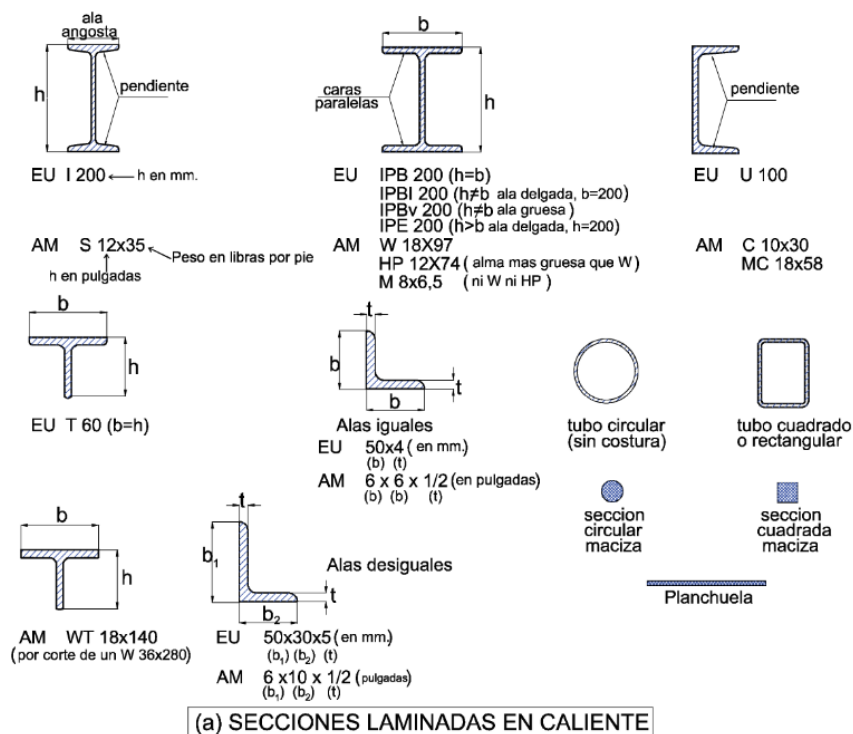
Los perfiles de acero estructural son elementos utilizados en la industria de la construcción para formar la estructura de un edificio u otras estructuras, estos pueden ser laminados en caliente o conformados en frío y su uso depende del tipo de construcción y sollicitación. Los primeros perfiles estructurales fueron hechos en Estados Unidos alrededor de 1819, fueron ángulos de hierro laminado, seguidamente se laminaron las vigas en I, posteriormente se construyó el edificio de la Home Insurance Company de Chicago, que se le atribuye al ingeniero William LeBaron Jenney, en el cual se usó hierro colado, hierro dulce y ladrillos.

Más adelante, en el año 1890 se construyó el edificio Rand McNally, terminado en 1890 en Chicago, totalmente armado en acero. En este sentido, los perfiles de acero fueron utilizados

en miles de edificios y con las laminadoras se fabricaron perfiles y se publicaron sus catálogos con todas sus propiedades geométricas. Mas tarde, en 1896, La Association of American Steel Manufacturers (Asociación Estadounidense de Fabricantes de Acero) (ahora el American Iron and Steel Institute, o AISI) (Instituto Estadounidense del Hierro y el Acero) intentaron estandarizar los primeros perfiles. Actualmente casi todos los perfiles estructurales se encuentran estandarizados (McCormac & Csernak, 2013). Existen varios Tipos de perfiles que dependen de su fabricación y de su geometría, por ejemplo:

Figura 2

Secciones laminadas en caliente.



Nota. Adaptado de Secciones laminadas en caliente, J. Troglia, 2013. Jorge Sarmiento Editor – Universitas.

Por lo tanto, los perfiles más utilizados según Urbán (2016) son los perfiles IPN, IPE, que resiste adecuadamente a flexión, pero no tanto a compresión; Perfiles HE, semejantes a los

IPE, pero b/h es mayor que en los perfiles IPE y resiste muy bien a flexión y a compresión; perfiles en U, unido a otro trabaja muy bien a compresión, individualmente soporta tracciones y bajas compresiones; perfiles L, que soportan tracciones y pequeñas compresiones; perfiles T, que soportan tracciones, flexiones no tan grandes y bajas compresiones.

También, El Instituto Técnico de la Estructura en Acero afirma que los perfiles tubulares tienen excelentes propiedades para soportar cargas estáticas, tanto para al pandeo, flexión biaxial y torsión. La anterior nomenclatura es europea; Pero existe la nomenclatura americana, donde los perfiles W, son similares a los IPN; los perfiles C son similares a los U, como se muestra a continuación.

Figura 3

Perfiles laminados de acero.

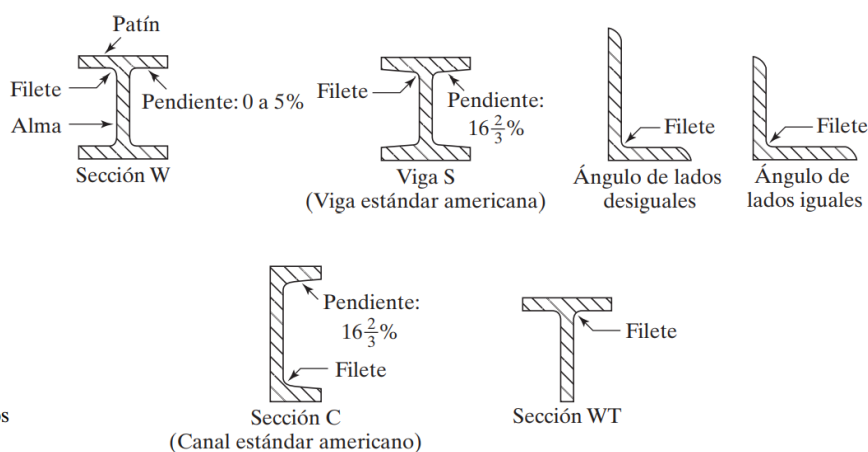


Figura 1.1

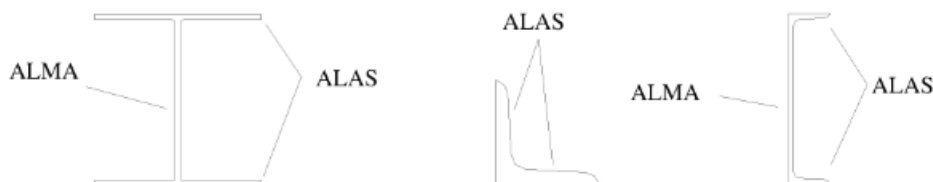
Perfiles laminados de acero.

Nota. Adaptado de Perfiles laminados de acero, J.C McCormac & S, F Csernak, 2013. Alfaomega Grupo Editor.

Usualmente para reconocer las partes de los perfiles se utiliza la siguiente nomenclatura:

Figura 4

Partes de un perfil.

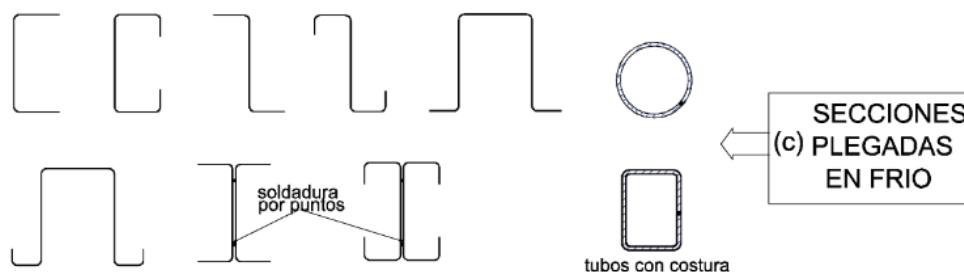


Nota. Adaptado de Denominación de las partes de un perfil, P. Urbán, 2010.ECU.

Además de tener perfiles laminados en caliente, también existen algunos perfiles que son conformados o rolados en frío. Esta fabricación se realiza doblando láminas delgadas de acero de bajo carbono y se convierten en casi cualquier sección deseada (McCormac & Csernak, 2013). A continuación, se muestran algunas secciones transversales de perfiles rolados en frío.

Figura 5

Perfiles de acero rolados o conformados en frío.



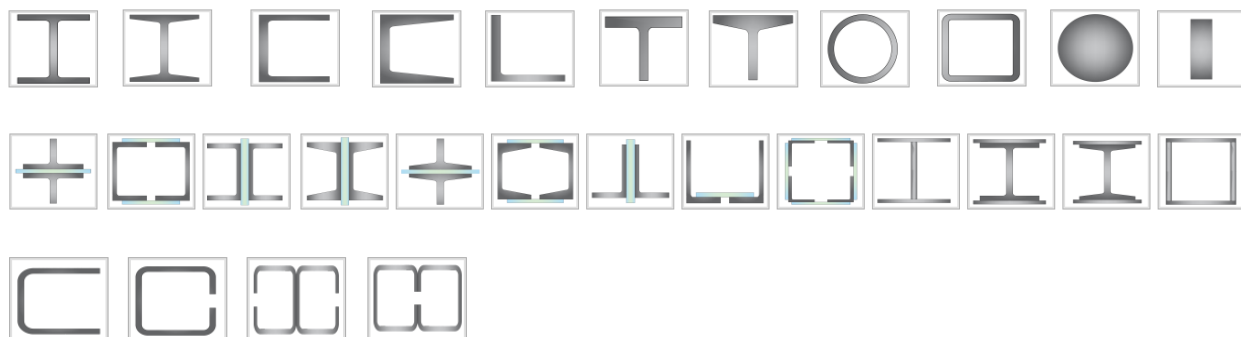
Nota. Adaptado de Secciones plegadas en frío, J. Troglia, 2013. Jorge Sarmiento Editor – Universitat.

De los anteriores tipos de perfiles (Laminados en caliente y rolados en frío), se pueden conformar secciones armadas. En este sentido, para el desarrollo del software donde se deben determinar las propiedades geométricas para realizar el diseño a compresión, se tomaron en cuenta las secciones que son comúnmente más utilizadas. Koutetsu Estructuras permite tomar

información de estas secciones de un catálogo base como por ejemplo el de la AISC o el usuario puede crear su sección o un catálogo propio. A continuación, se muestran las secciones que tienen en cuenta en Koutetsu estructuras:

Figura 6

Perfiles para el cálculo de propiedades geométricas y diseño (Se excluyen de diseño los perfiles conformados en frío)



4.3. Propiedades geométricas de secciones transversales tipo

Todo cuerpo tiene definida ciertas características como la masa, longitud, volumen, área, inercia, entre otras. Estas dependen de sus dimensiones y es necesario resaltar que las propiedades del cuerpo son referentes a su sección transversal, las cuales son: inercia (I_x), radio de giro (r_x), módulo plástico (Z_x), módulo elástico (S_x), centro de gravedad (\bar{X}), constante de torsión (J), constante de alabeo (C_w), claro está en los dos ejes principales o si es necesario en un tercero.

4.3.1. Área de una sección

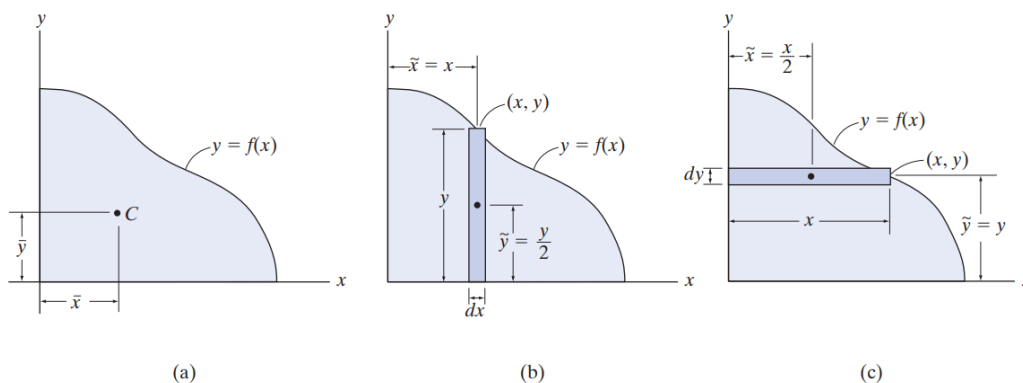
El área es el espacio que ocupa encerrado entre los límites de esta, al ser una superficie es una medida bidimensional.

4.3.2. Centroide geométrico

Un cuerpo de acero está compuesto por un número infinito de partículas, de un material homogéneo y suponiendo que el cuerpo se encuentra en un plano XY, entonces se podrá obtener el resultado, mediante integrales (Hibbeler, 2010).

Figura 7

Cálculo de las coordenadas de los centroides sobre un plano.



Nota. Adaptado de Figura 9-5, R. Hibbeler, 2010. Pearson Education, Inc.

$$\bar{x} = \frac{\int_A \tilde{x} dA}{\int_A dA} \quad \bar{y} = \frac{\int_A \tilde{y} dA}{\int_A dA}$$

Por otro lado, si se tiene áreas compuestas se divide el cuerpo en secciones más simples, si hay agujeros se suman como áreas negativas, obtenido así la ubicación de los centroides de la figura en cuestión, se debe tener en cuenta, si la figura es simétrica, el centroide se encuentra sobre este eje (Hibbeler, 2010). Para las secciones simples, se tendrá en cuenta la siguiente tabla.

Tabla 1

Cálculo de los centroides en figuras simples.

Figura	\bar{x}	\bar{y}
Segmento circular	$2R/\pi$	$2R/\pi$
triángulo	$h/3$	$b/3$
Cuadrante de un círculo	$4R/3\pi$	$4R/3\pi$
Rectángulo	$h/2$	$b/2$

4.3.3. Momentos de inercia para áreas

Cuando una sección transversal es sometida a una carga distribuida que varía a lo largo de la sección, el cálculo del momento de la sección en un eje es llamado momento de inercia de área, es decir un momento de inercia es (Hibbeler, 2010):

$$I_x = \int_A y^2 dA \quad I_y = \int_A x^2 dA$$

Por lo que ya existen fórmulas para el cálculo de momento de inercia para figuras simples en su centro de área, como rectángulo, círculo, triángulo, cuarto de círculo.

Figura 8

Centroides en secciones tipo

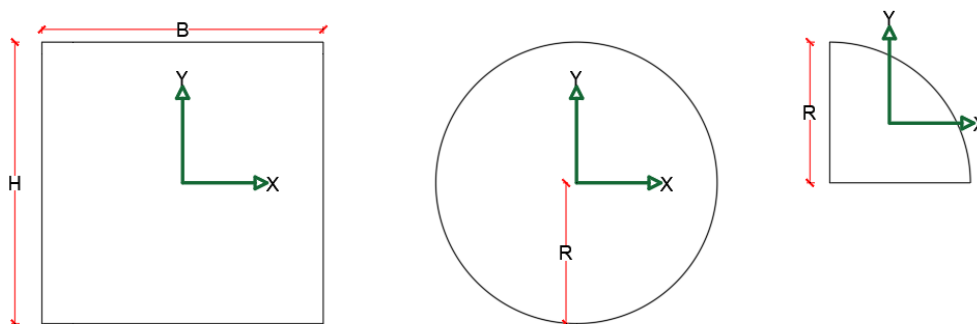


Tabla 2

Inercias de secciones Tipo

Figura	\bar{x}	\bar{y}
Rectángulo	$B * H^3 / 12$	$B * H^3 / 12$
Círculo	$\frac{\pi * R^4}{4}$	$\frac{\pi * R^4}{4}$
Cuarto de círculo	$\frac{\pi * R^4}{4} - \frac{4 * R^4}{9 * \pi}$	$\frac{\pi * R^4}{4} - \frac{4 * R^4}{9 * \pi}$

4.3.4. Teorema de los ejes paralelos para un área

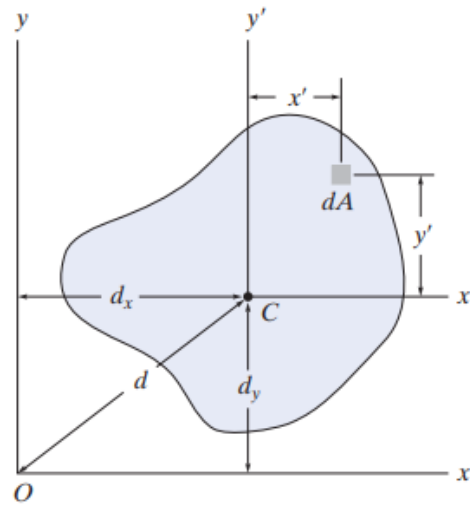
Se usa para determinar el momento de inercia de un área con respecto a cualquier eje paralelo a un eje que pasa por el centroide de la figura.

$$I_x = \bar{I}_{x'} + Ad_y^2 \qquad I_y = \bar{I}_{y'} + Ad_x^2$$

Al igual que el anterior ítem existe una tabla donde se muestran los momentos de inercia (Hibbeler, 2010).

Figura 9

Sección tipo para determinar el momento de inercia a ejes paralelos



Nota. Adaptado de Figura 10-3, R. Hibbeler, 2010. Pearson Education, Inc.

4.3.5. Radio de giro de un área

Describe la forma en la que un área transversal se distribuye alrededor de un eje centroidal, se determina de la siguiente manera.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

Por lo que el radio de giro está ligado al pandeo de las estructuras, a mayor radio de giro más inestable las estructuras (Botero, 2019). En virtud de que no importa el tipo de figura, el radio de giro se calcula de la misma manera.

4.3.6. Módulo elástico S

Para el cálculo del módulo elástico, hay que tener en cuenta la hipótesis de que las secciones planas permanecen planas; por lo tanto, se estudia el caso donde los esfuerzos de fluencia σ_x son inferiores al límite de F_y , es decir, no hay deformaciones permanentes, por lo que es posible aplicar la ley de Hooke y teniendo un material homogéneo el módulo de elasticidad E es constante (Beer et al., 2010).

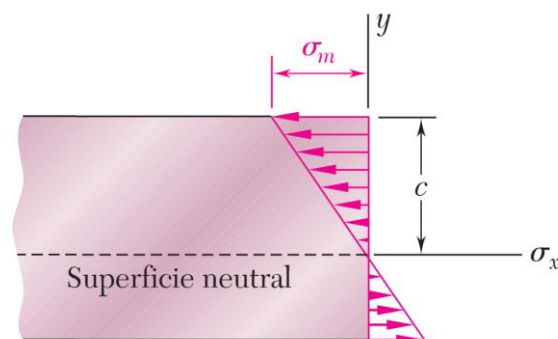
$$\sigma_x = E * \varepsilon_x$$

Debido a que las secciones planas permanecen planas, se producen deformaciones idénticas en todos los planos paralelos al eje neutro, por lo que las deformaciones unitarias varían linealmente con la distancia medida desde el eje neutro hasta el punto de interés (y), teniendo su máxima deformación unitaria (ε_m) cuando se tiene el mayor brazo posible (c) (Beer et al., 2010).

$$\varepsilon_x = -\frac{y}{c} * \varepsilon_m$$

Figura 10

Esfuerzos elásticos



Nota. Adaptado de Figura 4.8, F. Beer et al., 2010. (J.E. Murrieta, Trad 5ª). Mc Graw Hill Education.

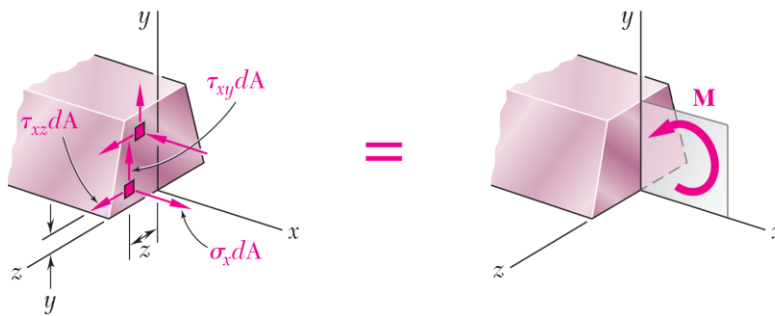
$$E \varepsilon_x = -\frac{y}{c} * (E \varepsilon_m)$$

$$\sigma_x = -\frac{y}{c} * \sigma_m$$

Recordando de la estática donde un **par**, son 2 fuerzas opuestas y en la misma dirección donde la resultante es cero; sin embargo, el momento del **par** es el mismo alrededor de cualquier eje perpendicular a su plano, y es cero alrededores de cualquier eje contenido en tal plano (Beer et al., 2010). Por lo que:

Figura 11

Resultante de un par de fuerzas en un elemento diferencial de área



Nota. Adaptado de Figura 4.8, F. Beer et al., 2010. (J.E. Murrieta, Trad 5ª). Mc Graw Hill Education.

Componentes en x:

$$\int \sigma_x dA = 0$$

Momento alrededor del eje Z:

$$\int -y * \sigma_x dA = M$$

Reemplazando en los componentes en x:

$$\int \sigma_x dA = \int -\frac{y}{c} * \sigma_m dA = -\frac{\sigma_m}{c} * \int y dA = 0$$

Donde se obtiene:

$$\int y dA = 0$$

Por lo que se deduce, que el primer momento es igual a cero en el eje neutro y los esfuerzos permanecen en el rango elástico.

Colocando el eje Z en el eje neutro y reemplazando:

$$\int -y * \left(-\frac{y}{c} * \sigma_m\right) dA = M$$

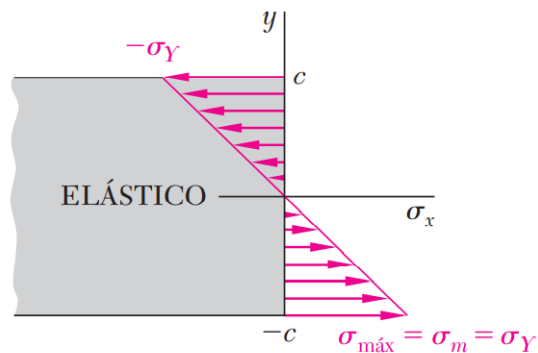
$$\frac{\sigma_m}{c} \int y^2 dA = M$$

Resolviendo la ecuación.

$$\sigma_m = \frac{M * c}{I}$$

Figura 12

Esfuerzos elásticos en los materiales



Nota. Adaptado de Figura 4.37, F. Beer et al., 2010. (J.E. Murrieta, Trad 5ª). Mc Graw Hill Educación

Recordando que c es el máximo brazo posible medido desde el eje neutro y “ y ” es el brazo en cualquier punto de la sección.

$$\sigma_x = \frac{M * y}{I_x}$$

Si el esfuerzo es igual al esfuerzo de fluencia (F_y), se obtendría el momento elástico máximo (M_{Yield}).

$$M_{Yield} = F_y * \frac{I_x}{C}$$

Como $I/brazo$ solo depende de la geometría transversal de la sección, se denomina el módulo elástico de la sección (S). Por lo que los brazos dependerán de que Módulo elástico se necesite (eje X o Y).

$$S_x = \frac{I_x}{Y'} \quad S_y = \frac{I_y}{X'}$$

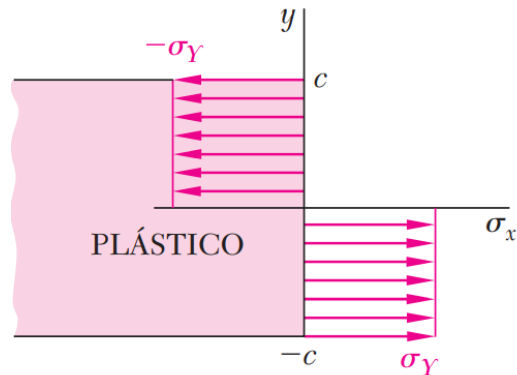
Cuando la figura es simétrica, el brazo del eje analizado será el mismo independientemente del sentido de análisis, presentando el mismo “S”; sin embargo, cuando presenta una asimetría en cualquiera de los 2 ejes, se tomará el brazo mayor, para que “S” sea menor, siendo el caso más crítico, además, como en columnas no se sabe que parte de la sección está a compresión o tensión, se tomara siempre el brazo que produzca un menor módulo elástico (Beer et al., 2010).

4.3.7. Módulo plástico Z

El módulo plástico se obtiene de manera similar al módulo elástico, teniendo en cuenta que no hay partes elásticas en la sección.

Figura 13

Esfuerzos plásticos en los materiales



Nota. Adaptado de Figura 4.37, F. Beer et al., 2010. (J.E. Murrieta, Trad 5ª). Mc Graw Hill Educación

Como los esfuerzos máximos son cuando toda la sección está en un comportamiento plástico, el cual es F_y .

$$M_p = \int \sigma_x * y dA$$

$$M_p = Fy \int y dA$$

Por lo que se deduce que el módulo plástico (Z) es la sumatoria de todas las áreas presentes en la sección multiplicada por el brazo medido desde el centroide de la sección.

$$Z_x = \int y' dA \quad Z_y = \int x' dA$$

Sin embargo, es necesario conocer el centro plástico de la sección, el cual se obtiene siguiendo el principio de que los esfuerzos de la sección a compresión y a tensión del perfil deben ser iguales, por lo que:

$$T = C$$

$$F_{sT} * A_T = F_{sC} * A_C$$

Como está en estado plástico, F_{ST} y F_{SC} son iguales a F_y , entonces se resume en igualar el área a compresión con la de tensión para obtener el centro plástico (X_p , Y_p). El centro plástico coincide con el centro geométrico en una sección de simetría doble, si es de simetría simple uno de ellos coincidirá, por ende, si no hay simetría en la sección, el centro plástico no coincidirá con el centro geométrico (Beer et al., 2010).

4.3.8. Torsión mecánica

Puede definirse a la torsión como, la exigencia que se presenta cuando se aplica un momento sobre el eje longitudinal de un elemento de sección plana, como pueden ser ejes o, en general, elementos donde una dimensión predomina sobre las otras dos. Se caracteriza geométricamente porque cualquier curva paralela al eje de la pieza deja de estar contenida en el plano formado inicialmente por las dos curvas. En lugar de eso una curva paralela al eje se retuerce alrededor de él. (Ron, 2015), también puede definirse como lo expresa Vlassov (1948 como se citó en Bahena., Muñoz & Díaz, 2014) “La torsión es la rotación de un miembro alrededor de su eje longitudinal y ocurre cuando la resultante de las fuerzas aplicadas no atraviesa el centro de cortante de la sección”.

4.3.9. Tipos de torsión

Existen diferentes tipos de torsión que pueden ser aplicables para distintas secciones, por ejemplo, la torsión pura de una barra de sección circular fue una problemática resuelta por Coulomb en 1784. Seguido en 1826 Por Navier quien quería generalizar sus resultados a barras de sección recta cualquiera, considerando que los puntos de la sección continuaban siendo planos luego de la deformación producida por la torsión. Sin embargo, esto no es del todo cierto, esta teoría puede aplicarse aceptablemente en flexión, pero no para torsión, puesto que aceptar esta

hipótesis era equivalente a decir que las secciones rectas no experimentan alabeo alguno y es una teoría que la hace inadmisibile como manifestó Cauchy en 1829 (Berrocal, 2007).

4.3.9.1. Torsión de Coulomb.

Consiste en que los esfuerzos y deformaciones que sufre un elemento debido a la torsión son uniformes y no se presenta un alabeo, así lo expresa Coulomb (1784, como se citó en Ruiz & Díaz 2015) que puede enunciarse: “en una pieza recta de sección circular sometida a torsión pura, la deformación es tal que cada sección gira alrededor de su centro sin deformarse en su plano y sin alabearse, como si fuera un disco rígido. Las Obras longitudinales de la pieza se deforman en hélices”.

4.3.9.2. Constante torsional de St. Venant.

Es una constante que mide la resistencia a torsión de los elementos ya sea pura o uniforme, se utiliza para estudiar el pandeo en secciones a compresión, flexión, torsión y así obtener su resistencia a la torsión (Canadian Institute of Steel Construction, 2002).

4.3.9.3. Constante torsional de alabeo

Es una constante que mide la resistencia a torsión no uniforme, al igual que la constante torsional de St. Venant, se usa para estudiar el pandeo de una sección a compresión, flexión, torsión (Canadian Institute of Steel Construction, 2002).

4.3.10. Centro de cortante

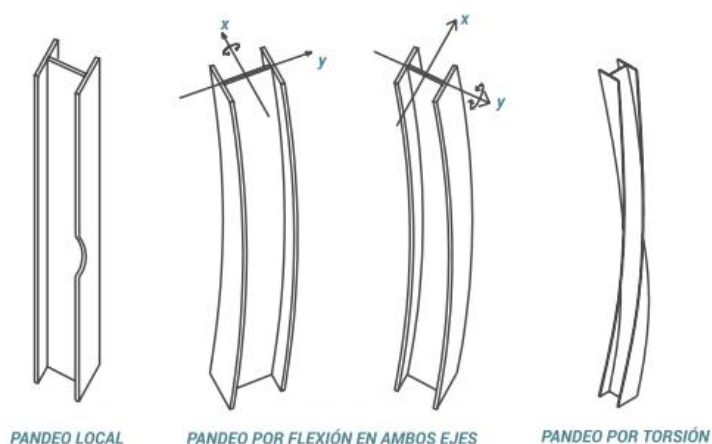
Es el punto en el plano de la sección transversal donde deben aplicarse las cargas o por donde debe pasar la resultante para producir flexión sin torsión, en figuras simétricas en ambos ejes coincide con el centro geométrico (McCormac & Csernak, 2013).

4.4. Miembros cargados axialmente a compresión

Los miembros sometidos a compresión comúnmente son llamados columnas, pero existen otros elementos que también están trabajando a compresión, estos son los cordones superiores de una cercha simplemente apoyada, miembros de arriostramiento, entre otros. También, se debe resaltar que existen miembros que tienen compresión en algunas de sus partes, como los patines de vigas laminadas y armadas y miembros trabajando simultáneamente a flexión y compresión. Por otro lado, estos elementos pueden fallar de 3 modos, pandeo flexionante, pandeo local y pandeo torsionante (McCormac & Csernak, 2013).

Figura 14

Modos de pandeo de una columna sometida a compresión



Nota. Adaptado de Resumen de pandeo, C. Cházaro, 2019. Valeria Giselle Uribe Pérez.

El Pandeo por flexión es un modo de pandeo por el cual un miembro a compresión se defleca lateralmente sin que haya torsión ni cambio en la forma de la sección transversal; el pandeo torsional es el modo de pandeo en el cual un miembro a compresión se torsiona alrededor de un eje que pasa por su centro de cortante (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010); el pandeo local ocurre cuando la sección transversal tiene elementos esbeltos (elementos

delgados), sea de sus alas o de su alma y debido a la compresión se deflecan los elementos, fallando antes de que los otros modos ocurran. Finalmente, la columna puede fallar con la combinación del pandeo por flexión y el pandeo por torsión, resultando el pandeo por flexo-torsión, por el cual un miembro a compresión se flexiona y torsiona simultáneamente sin que haya cambio en la forma de la sección transversal. Además, Una consideración importante en el diseño de columnas es que entre mayor longitud tenga una misma sección transversal, mayor será su tendencia a pandearse y menor será la carga que pueda soportar. Esta tendencia al pandeo puede medirse de acuerdo a la relación de esbeltez (McCormac & Csernak, 2013).

4.4.1. Relación de esbeltez

Puede calcularse como $\frac{KL}{r}$, donde **L** es la longitud de la columna sometida a compresión y **KL** es la longitud efectiva de la columna, **r** es el radio de giro. **K** es el factor de longitud efectiva que se mostrará más adelante. Se debe tener en cuenta que la relación de esbeltez es uno de los parámetros más importantes para el diseño de columnas, puesto que indican el posible pandeo. En este sentido, su cálculo debe ser cuidadoso debido a que para cada eje existe una relación de esbeltez que dependen de la conexión en sus extremos y la manera en que está soportado (Cházaro,2019). Además, “Preferiblemente, la relación de esbeltez, KL/r , para miembros diseñados por compresión no debe exceder de 200.” (NSR-10, 2010, p.F-44).

Por otro lado, en los elementos sometidos a compresión se debe tener en cuenta, el tipo de acero, la excentricidad de la carga, las imperfecciones en los materiales, esfuerzos de montaje y los esfuerzos residuales, estos últimos resultan ser los de mayor importancia (McCormac & Csernak, 2013).

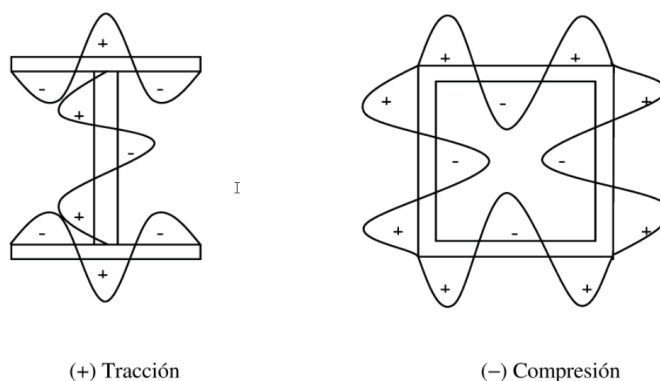
4.4.2. Esfuerzos residuales

Según McCormac & Csernak (2013), un estudio realizado por la universidad de Lehigh ha demostrado que los esfuerzos residuales y su distribución son factores muy importantes en la resistencia de las columnas sometidas a compresión. Este caso ocurre a menudo, puesto que las columnas de mayor uso son con relaciones de esbeltez de 40 a 120 donde los esfuerzos residuales cobran importancia. Se debe agregar que, los esfuerzos residuales se producen por el enfriamiento desigual que sufren los perfiles luego de haber sido laminados en caliente. Como resultado de esta variación en los gradientes de temperatura, los elementos de perfiles laminados en caliente sufren esfuerzos residuales, por ejemplo: en un perfil W los puntos exteriores de los patines y la parte media del alma se enfrían rápidamente, sufriendo menos acortamiento y por lo tanto quedan con esfuerzos a compresión; en tanto que las zonas de intersección del alma con los patines se enfrían más lentamente y tienden a acortarse aún más al enfriarse, produciendo esfuerzos de tensión. Se han encontrado esfuerzos del orden de 20klb/plg^2 (138 Mpa) y pueden variar del orden de $10\text{-}15\text{klb/plg}^2$ ($69\text{ a }103\text{ Mpa}$) (McCormac & Csernak, 2013).

Los esfuerzos residuales se tienen en cuenta en las ecuaciones de esfuerzo crítico, aunque estos esfuerzos residuales también pueden ocasionar fallas locales (Cházaro,2019). También surgen esfuerzos debido al procesos de soldadura y por ende estos esfuerzos al no ser conocidos, simplemente se suman a los elásticos; no obstante, la plastificación del acero permite absorber dichos esfuerzos, de manera que la resistencia no se reduce significativamente si se respetan los criterios y controles de seguridad previstos en las normas vigentes (Benito & Carretero, 2010).

Figura 15

Tensiones residuales debidas al proceso de laminación y de soldadura



Nota. Adaptado de Tensiones residuales al proceso de laminación y soldadura, J. L Benito & J Carretero, 2010. Delta Publicaciones.

Por otro lado, Beedle & Tall (1959, como se citó en McCormac & Csernak, 2013) afirman que:

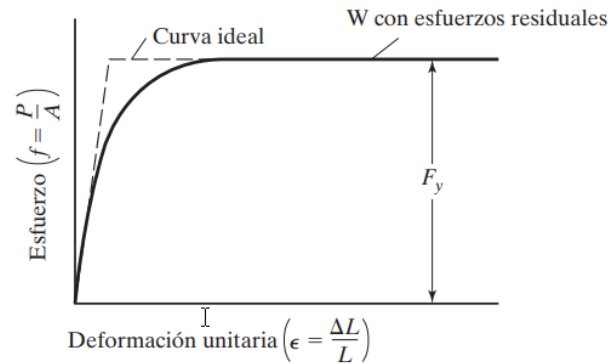
Cuando se prueban secciones de columnas de acero laminadas con sus esfuerzos residuales, sus límites proporcionales se alcanzan para valores de P/A de poco más que la mitad de sus esfuerzos de fluencia y la relación esfuerzo-deformación resulta no lineal desde este valor hasta el esfuerzo de fluencia. Debido a la fluencia prematura en algunos puntos de las secciones transversales de la columna, se reduce apreciablemente la resistencia al pandeo. La reducción es máxima en columnas cuyas relaciones de esbeltez varían aproximadamente entre 70 y 90 y puede ser tan elevada como un 25% (McCormac & Csernak, 2013, pp 132-133.)

En este sentido, cuando se aumenta la carga en la columna, algunas partes llegarán rápidamente al esfuerzo de fluencia y entrarán al intervalo plástico debido a los esfuerzos residuales de compresión. En consecuencia, la rigidez de la columna se reduce y es función de la parte de la sección transversal que aún se comporta elásticamente, es decir, que una columna con

esfuerzos residuales trabajará como si su sección transversal fuera más pequeña (McCormac & Csernak, 2013).

Figura 16

Efecto de los esfuerzos residuales sobre el diagrama esfuerzo-deformación unitaria en columnas



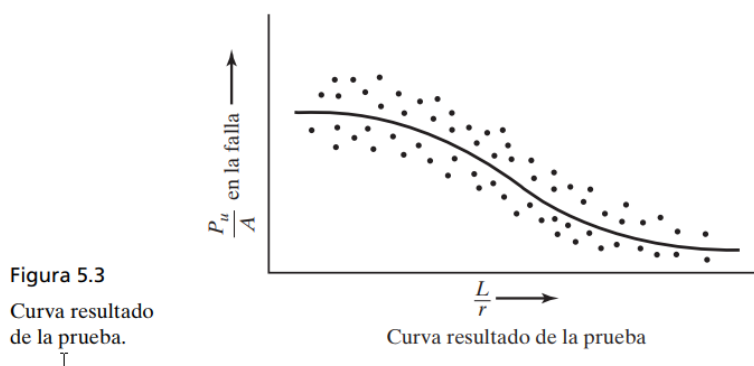
Nota. Adaptado de Efecto de los esfuerzos residuales sobre el diagrama esfuerzo-deformación unitaria en columnas, J.C McCormac & S, F Csernak, 2013. Alfaomega Grupo Editor.

4.4.3. Fórmulas para columnas sometidas a compresión

Unos años anteriores a la teoría de Leonhard Euler, Pieter Van Musschenbroek habría publicado una fórmula empírica para estimar la resistencia de columnas rectangulares. Sin embargo, en 1757, Euler, matemático suizo que escribió un artículo del gran valor relativo al pandeo de columnas (McCormac & Csernak, 2013). A continuación, se muestra el resultado de la curva de Musschenbroek:

Figura 17

Curva resultado de la prueba para estimar la resistencia de columnas rectangulares (Pieter Van Musschenbroek)



Nota. Adaptado de Curva resultado de la prueba, J.C McCormac & S, F Csernak, 2013.

Alfaomega Grupo Editor.

Con respecto a lo anterior, Euler hizo una gran contribución y fue el promotor de las investigaciones del pandeo en columnas; sin embargo, muchas de estas fórmulas se basan en condiciones ideales y estas condiciones no suelen darse en la realidad, por lo tanto, el diseño se basa en fórmulas que se han desarrollado para concordar con una exactitud aceptable con las curvas de los resultados experimentales, puesto que deducciones independientes no conducen a fórmulas que permitan dar resultados que sean comparables con las curvas de resultados para toda relación de esbeltez.

Es decir, columnas con diferentes relaciones de esbeltez conducen a resultados dispersos (como en la figura anterior, resultado experimental de Musschenbroek), porque en un distinto laboratorio los puntos no quedarán en la misma curva debido a la dificultad de: centrar exactamente las cargas, esfuerzos residuales, uniformidad de los materiales, variabilidad de las dimensiones, entre otros aspectos (McCormac & Csernak, 2013).

Con lo anterior, se puede resumir que el planteamiento teórico de Euler sobre el pandeo en columnas es idealizado. Otros autores como Troglia (2013) también plantean que la teoría solo se aplica para casos idealizados cumpliendo lo siguiente:

- (1) El material es isótropo, homogéneo y perfectamente elástico hasta la falla (E_{cte}) y el módulo E es igual en tracción y compresión.
- (2) La barra es perfectamente recta inicialmente y de sección constante en toda su longitud.
- (3) La fuerza de compresión actúa a lo largo del eje recto de la pieza en permanente coincidencia con el centro de gravedad de la sección.
- (4) Los extremos de la barra son articulaciones perfectas sin fricción y tales que el acortamiento de la barra no está restringido.
- (5) Las deformaciones son muy pequeñas.
- (6) Las únicas tensiones actuantes en las secciones de la barra resultan de la fuerza axial.

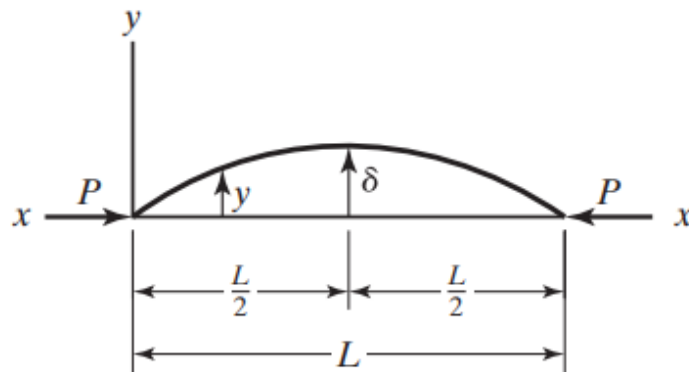
Teniendo en cuenta lo anterior y como expresa McCormac & Csernak (2013):

Las magnitudes de los esfuerzos de fluencia de las secciones probadas son muy importantes en las columnas cortas, ya que sus esfuerzos de falla tienen valores cercanos a los de fluencia. Para columnas con relaciones de esbeltez intermedias, los esfuerzos de fluencia tienen menor importancia en sus efectos sobre los esfuerzos de falla, y no tienen ninguna importancia en las columnas largas y esbeltas. Para columnas en el rango intermedio, los esfuerzos residuales tienen mayor influencia en los resultados, en tanto que los esfuerzos de falla de columnas largas y esbeltas son muy sensibles a las condiciones de apoyo en los extremos. Otro factor dominante en su efecto sobre la resistencia de las columnas, además de los esfuerzos residuales y de la no linealidad de los materiales, es la falta de rectitud axial (McCormac & Csernak, 2013, p 138.).

En este sentido se presentará la fórmula propuesta por Euler como se demuestra en McCormac & Csernak (2013): para determinarla se hacen las suposiciones anteriores y se considera que esta columna perfecta ha sido flexionada lateralmente por algún medio como se muestra a continuación:

Figura 18

Pandeo de una columna ideal



Nota. Adaptado de Figura A.1, J.C McCormac & S, F Csernak, 2013. Alfaomega Grupo Editor.

De la anterior columna, si se retira la carga concéntrica P, la columna recuperará su rectitud por completo.

Los ejes x y y se sitúan como se muestra en la figura. Como el momento flexionante en cualquier punto de la columna es $-Py$, la ecuación de la curva elástica se puede escribir como se muestra:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = -Py$$

Por conveniencia en la integración, ambos lados de la ecuación se multiplican por $2dy$ y se lleva a cabo la integración:

$$EI2 \frac{dy}{dx} d \frac{dy}{dx} = -2Pydy$$

$$EI \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 = -py^2 + C1$$

Cuando $y = \delta$, $dy/dx = 0$, y el valor de $C1$ será igual a $P\delta^2$.

$$EI \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 = -Py^2 + P\delta^2$$

A la expresión anterior puede dársele la forma más conveniente:

$$\left(\frac{dy}{dx} \right)^2 = \frac{P}{EI} (\delta^2 - y^2)$$

$$\frac{dy}{dx} = \sqrt{\frac{P}{EI}} \sqrt{\delta^2 - y^2}$$

$$\frac{dy}{\sqrt{\delta^2 - y^2}} = \sqrt{\frac{P}{EI}} dx$$

Integrando esta expresión se obtiene:

$$\arcsen \frac{y}{\delta} = \sqrt{\frac{P}{EI}} x + C2$$

Cuando $x = 0$ y $y = 0$, $C2 = 0$. La columna está flexionada en la forma de una senoide expresada por la ecuación:

$$\arcsen \frac{y}{\delta} = \sqrt{\frac{P}{EI}} x$$

Cuando $x = L/2$, $y = d$, lo que da:

$$\frac{\pi}{2} = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{P}{EI}}$$

En esta expresión, P es la carga crítica de pandeo o la carga máxima que la columna puede soportar antes de volverse inestable. Despejando P , tenemos:

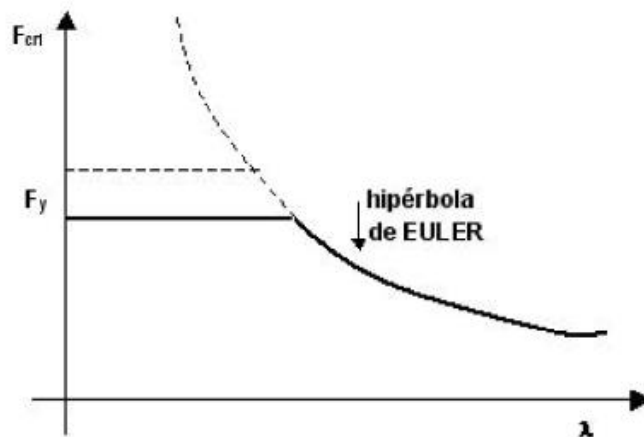
$$P = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

Esta expresión es la fórmula de Euler que usualmente se escribe en términos del esfuerzo en donde aparece la relación de esbeltez. Como $r = \sqrt{I/A}$ y $r^2 = I/A$ e $I = r^2 A$, la fórmula de Euler se puede escribir como:

$$\frac{P}{A} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2} = Fe$$

Figura 19

Hipérbola de Euler

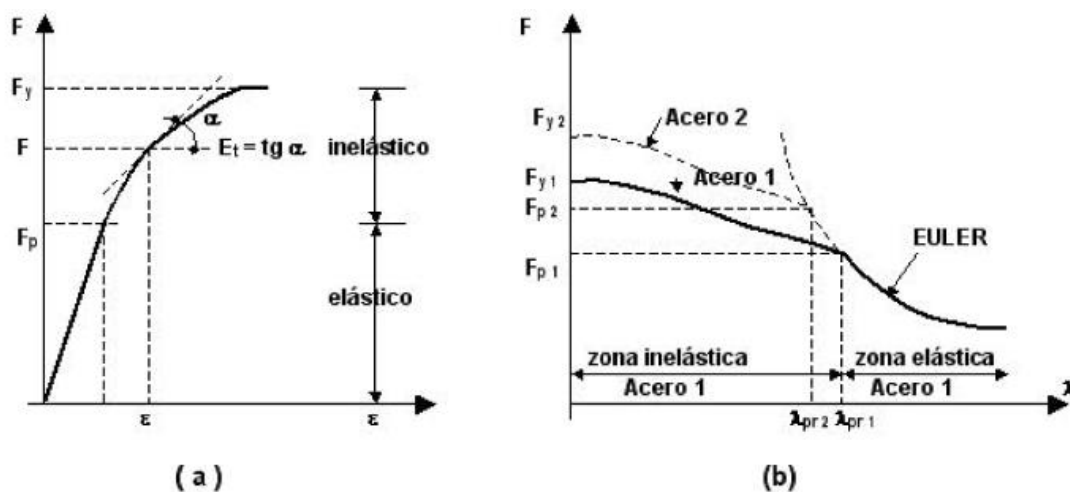


Nota. Adaptado Figura 4-3, G. Troglia, 2013. Universitas.

Teniendo en cuenta que la teoría de Euler es idealizada, solo puede ser usada para casos de laboratorio en condiciones especiales y controladas como se mencionó anteriormente. En este sentido, la hipótesis de un material perfectamente elástico no se cumple en la realidad. Por tanto, el límite de proporcionalidad se ubica ente 0.5 y 0.8 veces la tensión de fluencia F_y , producto de los esfuerzos residuales (Troglia,2013).

Figura 20

Diagrama esfuerzo-deformación y zona elástica en la teoría de Euler



Nota. Adaptado Figura 4-4, G. Troglia, 2013. Universitas.

Luego de superar el límite de proporcionalidad, la columna entra en la zona inelástica y claramente el módulo del acero E se va reduciendo. Por lo tanto, un esfuerzo determinado toma el valor de $E_r < E$ denominado módulo tangente. Es aquí donde autores como Engesser corrigen la teoría de Euler incorporando el módulo tangente a dicha zona (Troglia, 2013). Sin embargo, Engesser no fue el único autor que se incursionó en la corrección y en la generalización de la fórmula de Euler, también lo hicieron Shanley, Von Kármán, entre otros autores como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3

Estado del arte, estudios en pandeo de columnas

año	Autor	Publicación	Síntesis resultados
1744	EULER (1707-1783)	"Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes...", apéndice I,"De curvis elasticis," Bousquet, Lausana y Ginebra, 1744.	Estudios pioneros en pandeo; determina la carga crítica de columnas ideales. $P_E = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$, y analiza bajo distintas condiciones de soporte.
1845	A.H.E Lamarle (1806-1875)	"Mémoire sur la flexion du bois," <i>Annales des Travaux Publiques de Belgique</i> , parte 1, vol. 3, 1845, págs. 1-36.	Señala que la fórmula de Euler se debe usar para relaciones de esbeltez mayores a cierto límite, y que debe experimentarse para columnas con relaciones menores.
1889	A.G. Considère (1841-1914)	"resistense des pièces comprimées," <i>Congrès international des Procédés de Construction</i> , Paris. Septiembre 9-14, 1889.	Primeros ensayos en columnas. Las tensiones sobre el lado cóncavo de la columna se incrementan con Et y las tensiones sobre el lado convexo disminuyen con E . Mostró la no aplicabilidad de Euler al pandeo inelástico y estableció que el módulo reducido tenía un valor entre E y Et .
1889	F. Engesser 1848-1931	"Ueber die Knickfestigkeit gerader Stäbe," <i>Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen</i> , vol. 35, No.4, 1889, págs. 455-462.	Sugiere la teoría del módulo de elasticidad tangente. Denota el módulo tangente como $T = d\sigma/d\varepsilon$ y propone usar T en lugar de E en la ecuación de Euler para carga crítica. La teoría de módulo tangente se considera también teorema de Engesser.
1895		"Knickfragen," <i>Schweizerische Bauzeitung</i> , vol. 25, No. 13, marzo 30/1895, págs, 88-90.	
1895	F.S. Jasinsky 1856 - 1899	"Noch ein Wort zu den 'Knickfragen,'" <i>Schweizerische Bauzeitung</i> , vol. 25, No. 25, 22 junio/1895, págs. 172-175.	Señala que la teoría de Engesser era incorrecta; hace notar el trabajo de Considère y presenta la teoría del módulo reducido. Establece que el módulo reducido no podía calcularse a nivel teórico.
1895	F. Engesser	"Ueber Knickfragen," <i>Schweizerische Bauzeitung</i> , vol. 26, No. 4, Julio 27, 1895, págs. 24-26.	Reconoce el error en teoría del módulo tangente y mostró cómo calcular el módulo reducido para cualquier sección transversal. Teoría del módulo reducido se conoce también como teoría de Considère-Engesser.
1908	Theodore von Kármán (1881 - 1963)	"Die Knickfestigkeit gerader Stäbe," <i>Physikalische Zeitschrift</i> , vol. 9, No. 4, 1908, pags. 136-140	Presenta teoría del módulo reducido (independiente de los demás). Obtiene las fórmulas para E_r de secciones rectangulares e idealizadas doble T (sin alma). Involucra efectos de excentricidades de la carga de pandeo y muestra que la carga máxima disminuye con rapidez con el aumento de la excentricidad.
1910		"Untersuchungen über Knickfestigkeit," <i>Mitteilungen über Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, Verein Deutscher Ingenieure</i> , berlin, Heft 81, 1910.	
1956		<i>Collected Works of Theodore vonn Kármán</i> , vols.I-IV, Butterwoths Scientific Publications, londres, 1956.	
1946	Shanley (1904-1968)	"The column paradox;" <i>Journal of the Aeronautical Sciences</i> , vol. 13, No. 12, diciembre 1946, pág 678.	Señala paradojas lógicas en teoría de módulo tangente y módulo reducido y propone una teoría para resolverlas.
		"Inelastic column theory," <i>ibid.</i> , vol.14 No. 5, mayo de 1947, págs.261-267.	Presenta análisis adicionales y resultados en pruebas de columnas que apoyan su teoría.

Nota. Adaptado de Síntesis histórica, estudios en pandeo de columnas, M. Salazar, 2006.

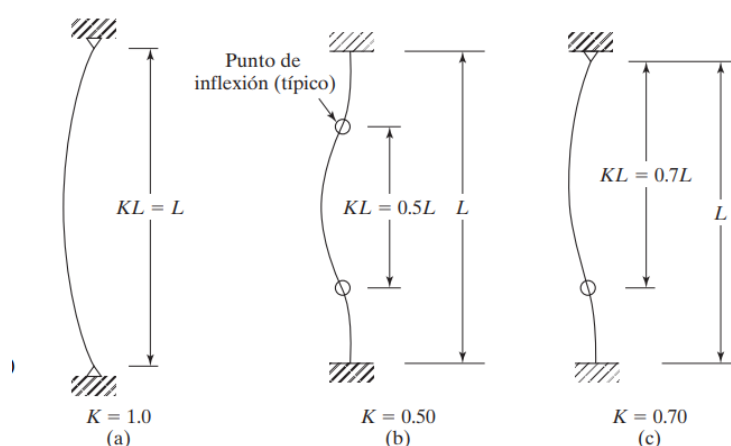
En este sentido, para obtener valores realistas en el esfuerzo crítico para el pandeo en columnas, pueden usarse diferentes valores de longitud en la fórmula de Euler, obteniendo esfuerzos de pandeo más realistas. Por lo tanto, L se tomará como la distancia de los puntos de inflexión o momento nulo localizado en los extremos de la elástica pandeada (Longitud efectiva de la columna) (McCormac & Csernak, 2013).

4.4.4. Longitud efectiva y condiciones de apoyo de columnas sometidas a compresión

Para que el planteamiento de Euler se asemeje más a la realidad, se incorporó el termino de longitud efectiva, donde se involucra la condición de apoyos que tiene la columna, dicha condición que restringe rotación y desplazamiento presenta un papel importante en la resistencia de las columnas. Por lo tanto, de ahora en adelante KL se denotará como **longitud efectiva**, siendo K el factor de longitud efectiva, el cual permite reemplazar una columna con cualquier condición de apoyo por una columna equivalente con extremos articulados (McCormac & Csernak, 2013).

Figura 21

Longitudes efectivas (KL) de columnas en marcos arriostrados

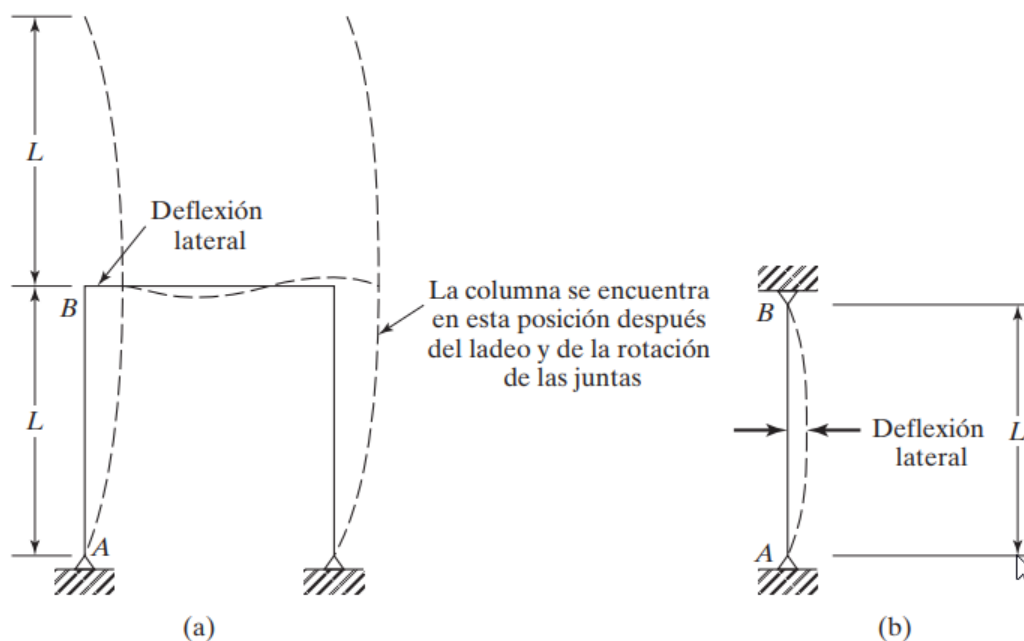


Nota. Adaptado de Longitudes efectivas (KL) de columnas en marcos arriostrados (Ladeo impedido, J.C McCormac & S, F Csernak, 2013. Alfaomega Grupo Editor.

Por otro lado, existen los elementos que no tienen restricciones de ladeo o de desplazamiento lateral, permitiendo que la columna presente valores mucho mayores, en el caso de una columna empotrada y con un extremo libre su elástica será similar a la de una columna con apoyos articulados, pero del doble de su longitud, por lo tanto, el K para este tipo de columna será de 2. En este sentido, se pueden presentar columnas que tengan restricciones al ladeo y otras que no, llamándose el primer caso, columnas de marcos arriostrados y columnas de marcos no arriostrados respectivamente. El arriostramiento anterior puede ser debido a elementos de mayor inercia como muros o pantallas de cortante, estructuras más rígidas, entre otros elementos (McCormac & Csernak, 2013).

Figura 22

Columnas de Marcos no arriostrados contra el ladeo lateral







Nota. Adaptado de Figura 5.5, J.C McCormac & S, F Csernak, 2013. Alfaomega Grupo Editor.

Continuando, el factor K es un valor teórico que hace efectiva la fórmula de Euler en la realidad. Pero sigue siendo un factor teórico, por lo tanto, la AISC toma los casos más críticos

donde las condiciones de empotramiento y articulación perfectos no existen, por lo tanto, en los casos donde se tienen apoyos que no permiten el giro pero sí el desplazamiento, no es garantizable que no se presente fricción en la articulación, haciendo que la curva de pandeo disminuya, es decir, que en realidad la deflexión de la columna es menor, en consecuencia, la longitud efectiva real sería menor que la teórica, por lo tanto, la AISC toma los valores mayores para diseño quedando por el lado de la seguridad.

Figura 23

Valores de longitud efectiva teórico y de diseño

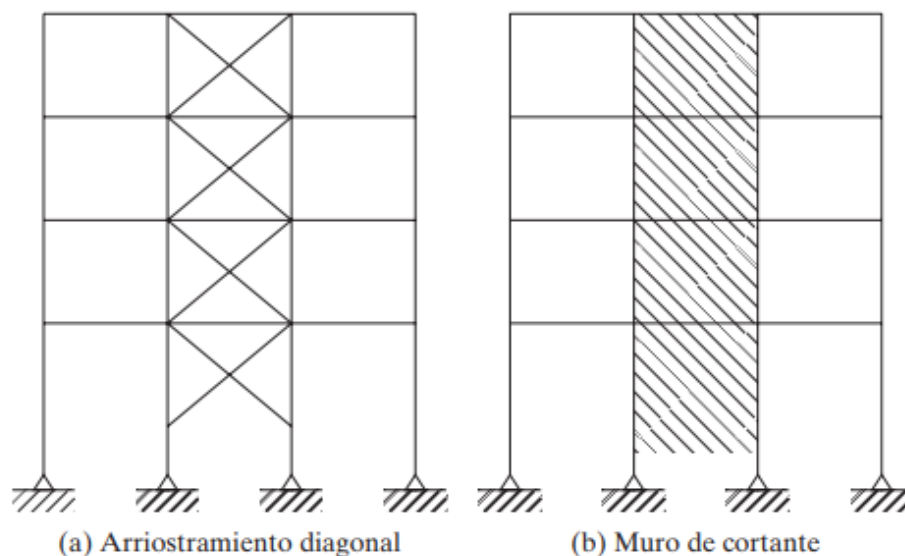
Tabla 5.1 Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K .								
Las líneas punteadas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)		
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0		
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones reales son aproximadas	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0		
Símbolos para las condiciones de extremo								
	<i>Rotación y traslación impedidas</i>		<i>Rotación libre y traslación impedida</i>		<i>Rotación impedida y traslación libre</i>		<i>Rotación y traslación libres</i>	

Nota. Adaptado Valores aproximados del factor de longitud efecto, K , J.C McCormac & S, F Csernak, 2013. Alfaomega Grupo Editor.

Se debe tener en cuenta que realizar este tipo de restricciones perfectamente es casi imposible, sea por el no empotramiento perfecto, la fricción de la columna con los elementos, entre otros factores, además estos valores pueden utilizarse cuando se trate de columnas aisladas o para un predimensionamiento inicial. Porque la restricción al ladeo en realidad surge de un sistema viga-columna y de conexión de pórticos; en consecuencia, el valor de \mathbf{K} puede variar considerablemente. Por lo tanto, existen nomogramas que permiten calcular el valor de \mathbf{K} para columnas de marcos arriostrados y para marcos no arriostrados contra el desplazamiento lateral (McCormac & Csernak, 2013).

Figura 24

Ejemplo de marcos o pórticos arriostrados o con ladeo impedido



Nota. Adaptado Ladeo impedido, J.C McCormac & S, F Csernak, 2013. Alfaomega Grupo Editor.

En este sentido, la AISC 360-05 presenta las siguientes ecuaciones:

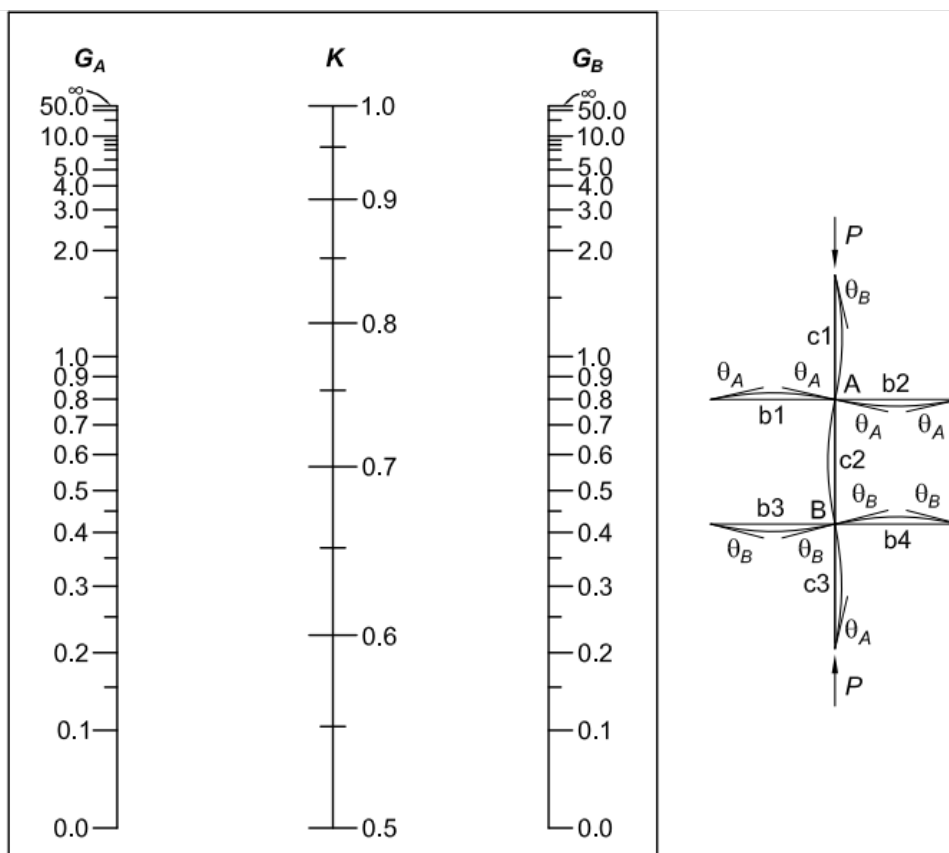
Fórmula para determinar el coeficiente de longitud efectiva \mathbf{K} en Pórticos o marcos arriostrados contra el desplazamiento lateral (comportamiento elástico).

$$\frac{G_A G_B}{4} (\pi/K)^2 + \left(\frac{G_A + G_B}{2} \right) \left(1 - \frac{\pi/K}{\tan(\pi/K)} \right) + \frac{2 \tan(\pi/2K)}{(\pi/K)} - 1 = 0$$

Además de presentar la ecuación, presenta los nomogramas de Jackson y Moreland para determinar K mediante G_A y G_B (Rigidez torsional del nudo).

Figura 25

Nomogramas de longitud efectiva K en Pórticos o marcos arriostrados contra el desplazamiento lateral (comportamiento elástico)



Nota. Adaptado Ladeo Fig. C-C2.3. Alignment chart—sidesway inhibited (braced frame), ANSI/AISC 360-05, 2005. American Institute of Steel Construction.

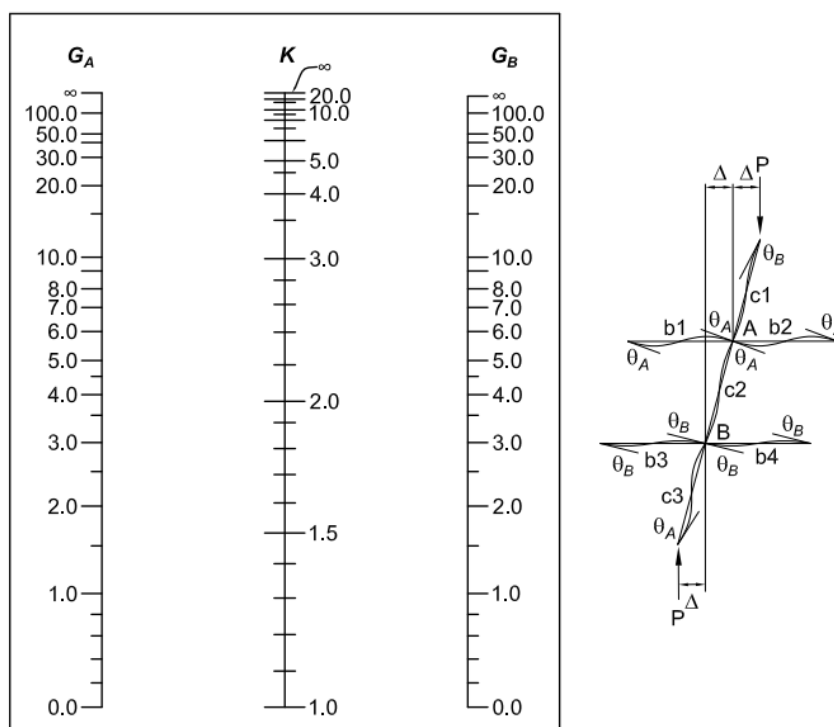
También se presenta la fórmula para determinar el coeficiente de longitud efectiva K en pórticos o marcos no arriostrados contra el desplazamiento lateral (comportamiento elástico).

$$\frac{G_A G_B (\pi/K)^2 - 36}{6(G_A + G_B)} - \frac{(\pi/K)}{\tan(\pi/K)} = 0$$

Igualmente presenta los nomogramas de Jackson y Moreland para determinar \mathbf{K} mediante G_A y G_B (Rigidez torsional del nudo).

Figura 26

Nomogramas de longitud efectiva K en Pórticos o marcos no arriostrados contra el desplazamiento lateral (comportamiento elástico)



Nota. Adaptado Ladeo Fig. C-C2.4. Alignment chart—sidesway uninhibited (moment frame), ANSI/AISC 360-05, 2005. American Institute of Steel Construction.

Finalmente se presenta la ecuación para determinar la rigidez rotacional del nudo.

$$G = \frac{\Sigma(E_c I_c / L_c)}{\Sigma(E_g I_g / L_g)} = \frac{\Sigma(EI / L)_c}{\Sigma(EI / L)_g}$$

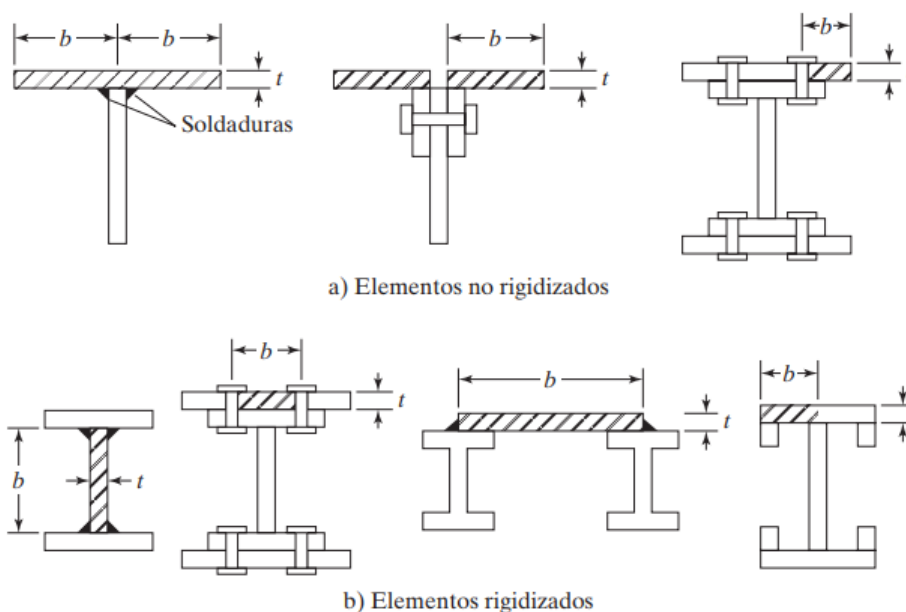
Siendo los valores de E_c , I_c y L_c el módulo de elasticidad, inercia y longitud de las columnas que llegan al nudo y E_g , I_g y L_g el módulo de elasticidad, inercia y longitud de las vigas que llegan al nudo. Cabe resaltar que se debe examinar el sentido de análisis porque existen 2 inercias (x & y). También se debe tener en cuenta que este análisis es elástico; sin embargo, en columnas intermedias, anteriormente se ha hablado que el módulo de elasticidad se ve reducido y se encuentra en la zona de pandeo inelástico, esto modifica la rigidez torsional de los nudos y disminuye el \mathbf{K} , haciendo que la resistencia de la columna aumente. Este análisis existe y se utiliza cuando es necesario.

4.4.5. Elementos rigidizados y no rigidizados

Hasta el momento solo se ha considerado el pandeo global de la columna, sin embargo, es probable que algunos elementos de la sección transversal como patines o almas delgadas sufran pandeo antes de que ocurra el pandeo global o total. La AISC proporciona valores límites de relación ancho espesor de cada parte de la sección patines o alma. Esta clasificación divide a los elementos en rigidizados y no rigidizados, siendo las almas de los perfiles en I, C y perfiles tubulares rectángulos elementos rigidizados (tienen soporte a ambos lados de su eje), esto aumenta su rigidez. Por otro lado, están los elementos no rigidizados como lados de ángulos y aletas de patines que tiene un borde libre. En este sentido, se presenta una tabla donde se clasifica si los elementos son rigidizados o no y además la AISC para establecer los límites de las relaciones ancho espesor, agrupa a los miembros y los clasifica en secciones compactas, no compactas y elementos esbeltos, y esta última es la que se estudiará en este documento (McCormac & Csernak, 2013). La NSR-10 hace las mismas consideraciones que la AISC (2005), sino que a los elementos rigidizados los llama elementos atiesados y a los no rigidizados los llama no atiesados.

Figura 27

Elementos rigidizados y no rigidizados



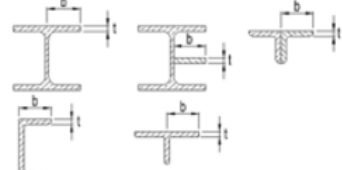
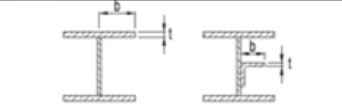
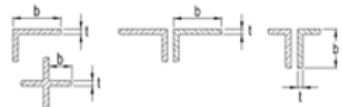

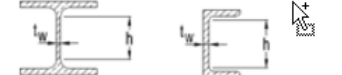
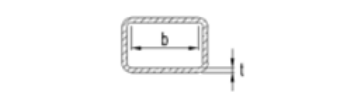

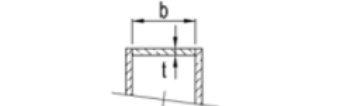
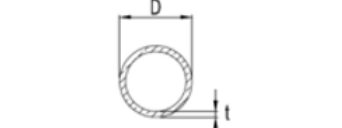
Nota. Adaptado de Figura 5.6, J.C McCormac & S, F Csernak, 2013. Alfaomega Grupo Editor.

Teniendo en cuenta lo anterior, el pandeo local debido a los elementos esbeltos influye en la resistencia a compresión de los perfiles, esto se ve reflejado en el factor Q que influye en la resistencia a flexión, torsión y/o flexo-torsión. Esto se verá más adelante.

A continuación, se presenta la tabla dada por la NSR-10 para clasificar los elementos de miembros a compresión axial y ver si las secciones tienen elementos esbeltos o no.

Figura 28

Valores Límite de la Relación Ancho a Espesor para Elementos de Miembros a Compresión Axial

	Caso	Descripción del Elemento	Relación Ancho a Espesor	Valores límite de la relación ancho/espesor	Ejemplos
				λ_r (no esbelto/esbelto)	
Elementos No Atiesados	1	Aletas de perfiles laminados en I, platinas salientes en perfiles laminados en I, aletas salientes de pares de ángulos en contacto continuo, aletas de canales y aletas de secciones en T	b/t	$0.56\sqrt{E/F_y}$	
	2	Aletas de perfiles armados en I, y platinas o aletas de ángulos salientes en perfiles armados en I	b/t	$0.64\sqrt{k_c E/F_y}$ (a)	
	3	Aletas de ángulos sencillos, aletas de ángulos dobles con separadores, y otros elementos no atiesados no incluidos en los casos 1, 2 y 4	b/t	$0.45\sqrt{E/F_y}$	
	4	Almas de secciones en T	d/t	$0.75\sqrt{E/F_y}$	
Elementos Atiesados	5	Almas de perfiles en I de simetría doble y almas de canales	h/t_w	$1.49\sqrt{E/F_y}$	
	6	Paredes de perfiles tubulares estructurales (PTE) y perfiles en cajón, de sección rectangular y espesor uniforme	b/t	$1.40\sqrt{E/F_y}$	
	7	Cubreplacas de aleta y platinas de diafragma entre líneas de conectores o soldaduras.	b/t	$1.40\sqrt{E/F_y}$	
Elementos Atiesados	Caso	Descripción del Elemento	Relación Ancho a Espesor	Valores límite de la relación ancho/espesor	Ejemplos
				λ_r (no esbelto/esbelto)	
	8	Todos los demás elementos atiesados	b/t	$1.49\sqrt{E/F_y}$	
9	Perfiles tubulares estructurales (PTE) de sección circular	D/t	$0.11E/F_y$		

Nota. Adaptado Valores Límite de la Relación Ancho a Espesor para Elementos de Miembros a Compresión Axial (para aplicar en el numeral F.2.5), NSR-10, 2010. Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica.

4.4.6. Columnas largas, cortas e intermedias

El efecto inicial que produce una carga axial en una columna (siempre y cuando esta carga no sea mayor a la carga crítica de pandeo) es un acortamiento en la dirección de la carga. Si se incrementa la carga hasta el pandeo, la columna ya no sigue acortándose, sino que se patea. En este sentido, la resistencia y el modo de falla depende en gran parte de la longitud efectiva. Por lo tanto, si se tiene una columna corta y robusta, esta podrá cargarse hasta la fluencia del acero y tal vez entre en la zona de endurecimiento por deformación, en consecuencia, puede resistir lo mismo a tensión que a compresión.

Por otro lado, si la longitud efectiva de la columna aumenta, se disminuye su esfuerzo de pandeo y si **KL** supera cierto límite, el esfuerzo de pandeo será menor que el límite de proporcionalidad del acero y las columnas de este intervalo fallarán elásticamente (McCormac & Csernak, 2013).

Con respecto a lo anterior, es válido resumir que, si se tiene una columna larga, estas fallan bajo cargas que son proporcionales a la rigidez por flexión (**EI**) y son independientes de la resistencia del acero. Es decir, una columna larga con acero $F_y = 350 \text{ Mpa}$ y una columna con $F_y = 250 \text{ Mpa}$ sometidas a compresión en condiciones iguales, fallarán aproximadamente bajo la misma carga, puesto que la rigidez por flexión es la misma (McCormac & Csernak, 2013). Además, en este tipo de columnas se debe tener en cuenta que el límite de pandeo elástico si depende de F_y , pero la resistencia no.

4.4.6.1. Columnas largas.

Anteriormente se expresó que la fórmula de Euler tuvo un gran auge en el pandeo de columnas, además, en columnas largas sometidas a compresiones que generen esfuerzos axiales que permanezcan bajo el límite proporción, es aplicable y predice bien su resistencia (McCormac

& Csernak, 2013). Estas columnas se pandean elásticamente (McCormac & Csernak, 2013; Cházaro, 2019).

4.4.6.2. Columnas intermedias.

Las columnas intermedias se comportan diferente a comparación de las columnas largas, en este sentido:

En columnas intermedias, algunas fibras alcanzarán el esfuerzo de fluencia y otras no. Los miembros fallarán tanto por fluencia como por pandeo y su comportamiento se denomina inelástico. La mayoría de las columnas caen en este rango. (Para que la fórmula de Euler sea aplicable a estas columnas, ésta deberá modificarse de acuerdo con el concepto de módulo reducido o al de módulo tangente para tomar en cuenta la presencia de esfuerzos residuales. (McCormac & Csernak, 2013, p 148).

4.4.6.3. Columnas cortas.

Su falla ocurrirá con el esfuerzo de fluencia y será por aplastamiento y no habrá pandeo. Estos elementos no se analizan puesto que en la gráfica esfuerzo crítico vs relación de esbeltez no se conoce ningún valor para delimitar este comportamiento (Cházaro, 2019).

4.5. Diseño de elementos sometidos a compresión

Los elementos que se pueden construir pueden ser de concreto, acero o mixtas, el software trabajará con secciones netamente de acero conformadas en caliente o perfiles compuestos (libre dimensión), que resistan la compresión. En este sentido, considerando la teoría anterior, también se debe tener en cuenta lo siguiente:

4.5.1. Diseño con factores de carga y resistencia (LRFD)

Se conocen 2 métodos para el diseño estructural, éstos son el Diseño con Factores de Carga y Resistencia (LRFD: Load and Resistance Factor Design) y el Diseño por Esfuerzos

Permisibles (ASD: Allowable Strength Design). Para este caso se utilizará el método LRFD, el cual utiliza factores de mayoración de carga (Combinaciones) y un factor ϕ que reduce la capacidad nominal (con el fin de considerar las variaciones de resistencia, incertidumbre constructiva, etc., este valor es menor a 1) (McCormac & Csernak, 2013).

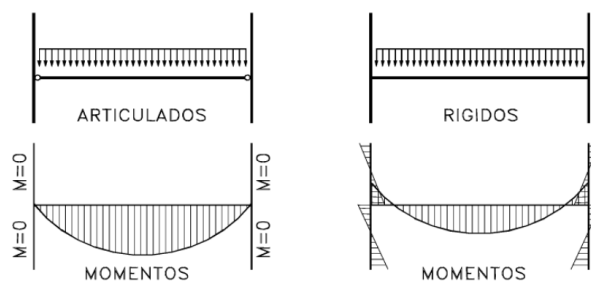
4.5.2. Nudos

La importancia del nudo radica en como el elemento va a trabajar, por lo que es un concepto fundamental en el estudio de estructuras metálicas, su clasificación influye en la transmisión de momentos. Los nudos son articulados si permite el giro entre elementos sin originar momentos apreciables, a su vez, si un nudo es rígido, la diferencia entre el ángulo inicial del giro y el final es cero, es decir, transmite las fuerzas y momentos. Generalmente se consigue este tipo de nudos con riostras; aunque desde un punto de vista estricto todas las uniones se deben considerar semirrígidas, ya que la rigidez nula o infinita de los elementos no es posible; sin embargo, se considera como se mencionó inicialmente para facilidad los cálculos (Monfort, 2006).

Tener en cuenta las conexiones de las columnas sometidas a compresión determinara en gran medida la resistencia, puesto que de esto depende el factor k de longitud efectiva.

Figura 29

Transferencia de momentos en nudos articulados y rígidos.



Nota. Adaptado de Figura 3.2, J. M. Lleonart 2006. Universitat Politècnica de València

4.5.3. Cargas

Es una fuerza o acción externa ya sea por peso propio de los elementos o cualquier carga muerta, viva, alteraciones externas como lo es el viento o sismo, provocando una reacción en la estructura, deformándola, estas cargas pueden ser de servicio o mayoradas para una carga de diseño (NSR-10, 2010). Se debe tener en cuenta que, el software realiza el análisis con la carga última de cada elemento (demanda), lo que hace que previamente el diseñador deba obtener esta carga para el funcionamiento adecuado del programa.

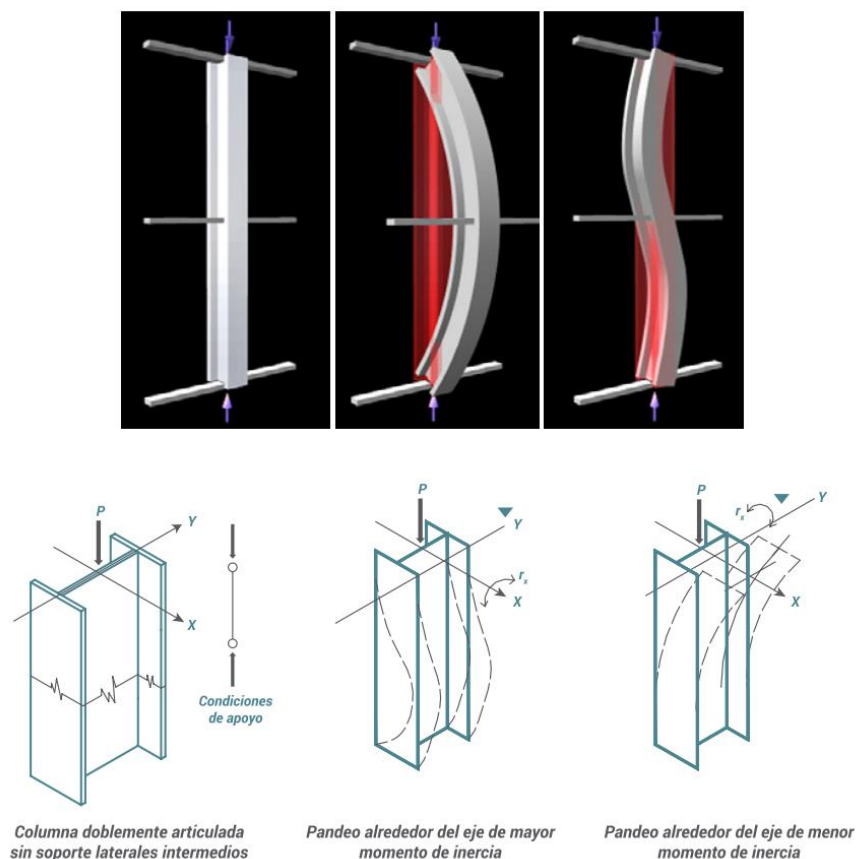
Teniendo en cuenta lo anterior, el software tendrá en cuenta los 3 modos de pandeo mencionados anteriormente, cabe resaltar que algunos autores nombran que en realidad son 4, siendo estos: pandeos por flexión; pandeo local; pandeo por torsión y pandeo por flexo-torsión. En este sentido, la NSR-10 presenta las ecuaciones para determinar la resistencia tanto para flexión, y para torsión o flexo-torsión, siendo el pandeo local un factor Q que se agrega a las ecuaciones dependiendo de su relación ancho espesor (siendo $Q = 1$ si no hay elementos esbeltos y $Q < 1$ si tiene elementos esbeltos). Claramente Q tiene su formulación y se presentará más adelante.

4.5.4. Pandeo general o pandeo por flexión

Cuando una columna está sometida a compresión, los elementos metálicos al ser delgados, pueden deformarse lateralmente alrededor de los ejes principales y centroides de la columna y suele ser más crítico en el eje débil. Sin embargo, la longitud efectiva juega un papel fundamental y no siempre el eje y es el de menor resistencia, esto dependerá de las condiciones nombradas anteriormente (Cházaro,2019).

Figura 30

Modo de pandeo general de una columna con dos ejes de simetría



Nota. Adaptado de Modo de pandeo general de una columna con dos ejes de simetría, C.

Cházaro, 2019. Valeria Giselle Uribe Pérez.

4.5.5. Pandeo local

Anteriormente ya se ha mencionado acerca del pandeo local y se expresó que esta deformación ocurre cuando una sección transversal tiene elementos demasiado delgados que se pandean localmente a compresión antes de que ocurra otro modo de falla. Este modo de pandeo se mide con la relación de esbeltez, ancho espesor del elemento (Cházaro, 2019). Cabe resaltar que la sección puede tener uno, dos o ningún elemento esbelto. En este sentido, cuando un miembro tenga elementos esbeltos las ecuaciones para obtener el esfuerzo crítico se deben modificar, siendo **Q** el factor de reducción (Troglia, 2013)

Figura 31*Pandeo local de patines y de alma*

Nota. Adaptado de Pandeo local de patines y Pandeo local del alma, C. Cházaro, 2019. Valeria Giselle Uribe Pérez.

4.5.6. Pandeo por flexotorsión

Cuando se tiene columnas con baja rigidez a la torsión, como las de secciones transversales abiertas de paredes delgadas, es necesario tener en cuenta la torsión. Por lo tanto, el pandeo por torsión o flexo-torsión, es un modo de falla de las columnas con secciones asimétricas o con un eje de simetría, con baja resistencia a torsional (Trogia, 2013)

En este sentido se presentan las fórmulas para determinar la resistencia de columnas sometidas a compresión (inicialmente sin elementos esbeltos).

4.5.7. Fórmulas para determinar la resistencia de miembros sometidos a compresión

La NSR-10 presenta las siguientes fórmulas para determinar la resistencia de miembros sometidos a compresión.

4.5.7.1. Provisiones generales.









La NSR-10 (2010) en el capítulo F.2 presenta las siguientes fórmulas que se aplica a miembros solicitados por compresión axial a través del eje centroidal.

La resistencia de diseño a compresión se tomará igual a $\phi_c P_n$, donde: $\phi_c = 0.90$ y P_n , la resistencia nominal a compresión y será el menor entre los valores obtenidos para los estados límites de pandeo por flexión, pandeo por torsión y pandeo por flexo-torsión.

Además, presenta una tabla donde resume donde aplica cada modo de pandeo, siendo esta la siguiente:

Figura 32

Numerales aplicables para el diseño a compresión según la NSR-10

Sección Transversal	Sin Elementos Esbeltos		Con Elementos Esbeltos	
	Numeral Aplicable	Estados límites	Numeral Aplicable	Estados límites
	F.2.5.3 F.2.5.4	PF PT	F.2.5.7	PL PF PT
	F.2.5.3 F.2.5.4	PF PFT	F.2.5.7	PL PF PFT
	F.2.5.3	PF	F.2.5.7	PL PF
	F.2.5.3	PF	F.2.5.7	PL PF
	F.2.5.3 F.2.5.4	PF PFT	F.2.5.7	PL PF PFT
	F.2.5.6 F.2.5.3 F.2.5.4	PF PFT	F.2.5.6 F.2.5.7	PL PF PFT
	F.2.5.5		F.2.5.5	
	F.2.5.3	PF	N.A.	N.A.
Formas no simétricas distintas de ángulos sencillos	F.2.5.4	PFT	F.2.5.7	PL PFT

Nomenclatura:
 PF = Pandeo por Flexión
 PT = Pandeo por Torsión
 PFT = Pandeo por Flexo-Torsión
 PL = Pandeo local

Nota. Adaptado de Selección de los numerales aplicables para el diseño a Compresión, NSR-10, 2010. Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica.

4.5.7.2. Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos

Según la NSR-10 (2010) solo se aplican estas ecuaciones a elementos a compresión que no tengan elementos esbeltos (definidos anteriormente en la tabla *Valores Límite de la Relación Ancho a Espesor para Elementos de Miembros a Compresión Axial*)

Donde:

$$P_n = F_{cr} A_g$$

F_{cr} se calcula, según su relación de esbeltez.

a) Cuando $\frac{KL}{r} \leq 4.71 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ ó $(F_e \geq 0.44F_y)$

$$F_{cr} = [0.658^{(F_y/F_e)}] * F_y$$

b) Cuando $\frac{KL}{r} > 4.71 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ ó $(F_e < 0.44F_y)$

$$F_{cr} = 0.877 * F_e$$

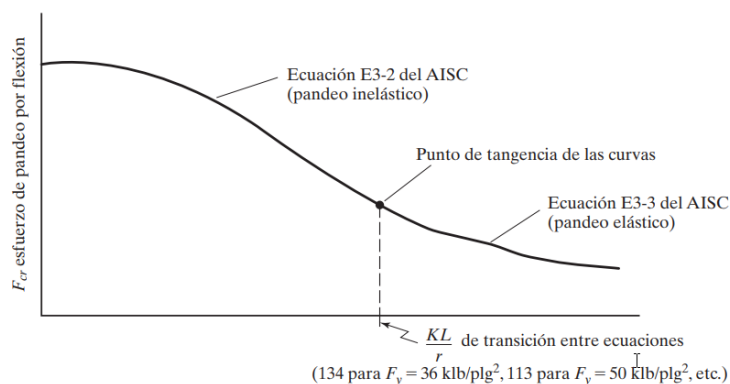
Donde:

F_e = esfuerzo crítico de pandeo elástico calculado según la fórmula:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

Figura 33

Curva de esfuerzo crítico F_{cr} Vs relación de esbeltez (KL/r)



Nota. Adaptado de Curva para columna según el AISC, J.C McCormac & S, F Csernak, 2013.
Alfaomega Grupo Editor.

4.5.7.3. Pandeo por torsión y pandeo por flexo-torsión de miembros sin elementos esbeltos.

Según la NSR-10 (2010) solo se aplica a miembros de simetría simple y miembros no simétricos, y a algunos miembros de simetría doble como aquellos en forma de cruz o columnas armadas, sin elementos esbeltos según las definiciones del numeral F.2.2.4.1 para elementos bajo esfuerzos uniformes de compresión. En el caso de ángulos sencillos, deberán aplicarse estos requisitos cuando $b/t > 20$.

La resistencia nominal a compresión, P_n , para los estados límites de pandeo por flexo-torsión y pandeo por torsión, se determinará se muestra:

con el esfuerzo crítico, F_{cr} , calculado como sigue:

- a) Para miembros a compresión en ángulos dobles dispuestos en **T** con una separación tal que la constante de alabeo C_w es despreciable, y secciones en **T**:

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cry}F_{crz}H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right]$$

donde F_{cry} se toma como el F_{cr} de las fórmulas del numeral 4.5.7.2 para pandeo por flexión alrededor de eje de simetría “y”, con $\frac{KL}{r} = \frac{KL}{r_y}$ para secciones en **T**, y según el numeral y con la relación de esbeltez modificada para ángulos dobles dispuestos en **T** (La relación de esbeltes modificada se expresará más adelante)

Siendo:

$$F_{crz} = \frac{G * J}{A_g * \bar{r}_o^2}$$

b) Para todos los siguientes casos, F_{cr} se determinará según las fórmulas del numeral 4.5.7.2 para pandeo por flexión usando el esfuerzo de pandeo elástico por torsión o por flexo-torsión, F_e , calculado como sigue:

(i) para miembros con simetría doble:

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y}$$

(ii) Para miembros de simetría simple donde "y" es el eje de simetría, incluidos ángulos dobles distanciados de manera que la constante de alabeo C_w no es despreciable:

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right]$$

(iii) Para miembros no simétricos, F_e , es la menor de las raíces de la siguiente ecuación cúbica:

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2(F_e - F_{ey}) \left(\frac{X_o}{\bar{r}_o} \right)^2 - F_e^2(F_e - F_{ex}) \left(\frac{Y_o}{\bar{r}_o} \right)^2 = 0$$

Donde:

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r_x)^2}$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r_y)^2}$$

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(KL)_z^2} + GJ \right] \frac{1}{A_g \bar{r}_o^2}$$

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

$$\bar{r}_o^2 = X_o^2 + Y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g}$$

$$H = 1 - \frac{X_o^2 + Y_o^2}{\bar{r}_o}$$

A_g = area bruta del miembro ($mm^2, in^2 \dots$).

C_w = constante de alabeo, ($mm^6, in^6 \dots$).

G = módulo de elasticidad a cortante del acero.

ν = relación de Poisson.

I_x, I_y = momentos de inercia alrededor de los ejes principales, ($mm^4, in^4 \dots$).

J = constante torsional, ($mm^4, in^4 \dots$).

K_x = factor de longitud efectiva para pandeo por flexión sobre el eje X.

K_y = factor de longitud efectiva para pandeo por flexión sobre el eje Y.

K_z = factor de longitud efectiva para pandeo por torsión.

X_o, Y_o = coordenadas del centro de cortantes medidas desde el centroide, ($mm^4, in^4 \dots$).

\bar{r}_o = radio polar de giro alrededor del centro de corte, ($mm^4, in^4 \dots$).

r_x = radio de giro alrededor del eje "x", ($mm^4, in^4 \dots$).

r_y = radio de giro alrededor del eje "y", ($mm^4, in^4 \dots$).

Teniendo en cuenta las fórmulas anteriores, en el caso **b) (iii)** Para miembros no simétricos, F_e se puede calcular por medio de un proceso iterativo o resolviendo la ecuación cúbica como sigue:

$$a = 1 - \left(\frac{X_o}{r_o}\right)^2 - \left(\frac{Y_o}{r_o}\right)^2$$

$$b = F_{ey} \left(\frac{X_o}{r_o}\right)^2 - F_{ex} \left(\frac{Y_o}{r_o}\right)^2 - F_{ez} - F_{ey} - F_{ex}$$

$$c = F_{ey}F_{ez} + F_{ex}F_{ez} + F_{ex}F_{ey}$$

$$d = -F_{ex}F_{ey}F_{ez}$$

Resultando:

$$a * F_e^3 + b * F_e^2 + c * F_e + d = 0$$

Para resolver la ecuación cúbica anterior, se utiliza la fórmula trigonométrica planteada por **François Viète**. En el caso que **a=0**, la formula no aplica, por lo tanto, se resolverá con una ecuación cuadrática y si **a** y **b** son cero, será una solución lineal. Pero es poco probable que esto ocurra.

4.5.7.4. Secciones armadas (miembros armados).

4.5.7.4.1. Resistencia de diseño a compresión de miembros armados con componentes en contacto entre sí.

Este apartado hace referencia a los perfiles armados que tienen algún componente en contacto entre sí, como los perfiles 2L espalda con espalda (2LBB) o 2C espalda con espalda (2CBB), entre otros.

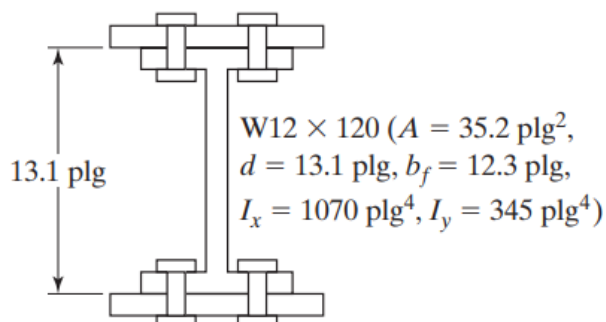
Según la NSR-10 (2010)

La resistencia nominal a compresión de miembros armados compuestos por dos o más perfiles conectados entre sí mediante pernos o soldaduras, se calculará de acuerdo con los numerales **F.2.5.3, F.2.5.4 o F.2.5.7**(en el documento sería los numerales **4.5.7.2 y 4.5.7.3**), aplicando la siguiente modificación. Si el modo de pandeo genera en los perfiles individuales deformaciones que producen fuerzas cortantes en los elementos que los conectan, $\frac{KL}{r}$ se modifica $\left(\frac{KL}{r}\right)_m$ y se determinara como sigue.

Para ilustrar un ejemplo de cuando se debe corregir la relación de esbeltez de miembro armados que cumplen lo anteriormente mencionado, se presenta la siguiente figura.

Figura 34

Ejemplo de perfil en I con cubre placas



Nota. En la anterior sección se deberá corregir la relación de esbeltez en “x” que es donde hay cortante en los tornillos. Adaptado de Sección W más usada como columna con cubre placas, J.C McCormac & S, F Csernak, 2013. Alfaomega Grupo Editor.

En este sentido, cuando haya cortante en los tornillos se deberá corregir la relación de esbeltez en el respectivo eje, teniendo en cuenta lo siguiente.

(a) Para conectores intermedios con pernos en condición de apriete ajustado:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_o^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2}$$

(b) Para conectores intermedios soldados o con pernos pretensionados, sin incluir ángulos dobles distanciados:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_o^2 + 0.82 \frac{\alpha^2}{(1 + \alpha^2)} \left(\frac{a}{r_{ib}}\right)^2}$$

(c) Para ángulos dobles distanciados con conectores soldados:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_o^2 + \frac{\alpha^2}{(1 + \alpha^2)} \left[0.82 \left(\frac{a}{r_{ib}}\right)^2 + 1.65 \frac{A_i a L_b}{I_b} + 51.32 \frac{a n A_i}{L_b A_b} \right]}$$

donde:

$\left(\frac{KL}{r}\right)_m$ = esbeltez modificada para el miembro armado.

$\left(\frac{KL}{r}\right)_o^2$ = esbeltez del miembro armado, tratado como una unidad en la dirección de pandeo

considerada.

a = distancia entre conectores, mm.

r_i = radio mínimo de giro de un componente individual, mm.

r_{ib} = radio de giro de un componente individual relativo a su eje centroidal paralelo al eje de pandeo del miembro, mm.

α = relación de separación = **h/r_{ib}**.

h = distancia entre los centroides de los componentes individuales, medida perpendicularmente al eje de pandeo del miembro, mm.

A_i = área de un ángulo, mm^2 .

L_b = longitud del conector medida entre los centroides de los ángulos, mm.

I_b = inercia del conector asociada a la flexión en el plano de los dos ángulos conectados, mm^4 .

n = factor de forma para deformaciones por cortante.

n = 3.33 para conectores en perfil angular.

n = 1.2 para conectores de sección rectangular.

n = 1.11 para conectores circulares.

A_b = área del conector, mm^2 .

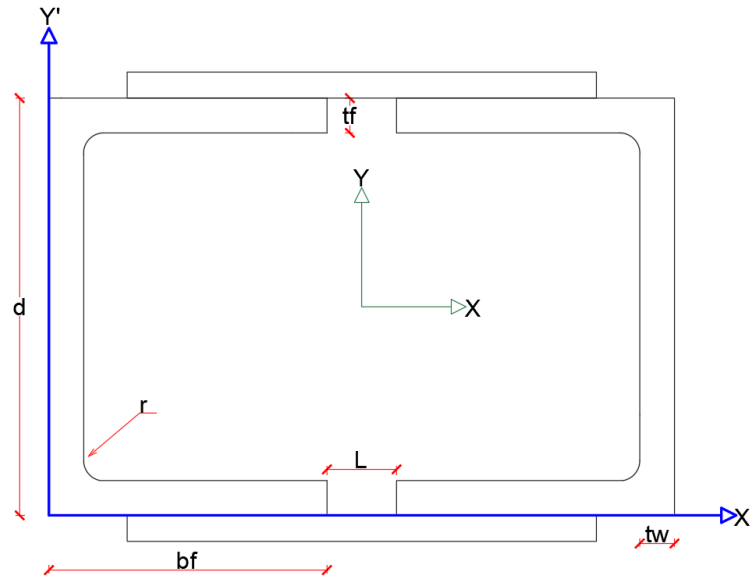
4.5.7.4.2. Resistencia de diseño a compresión de miembros armados con componentes sin contacto entre sí.

Este apartado hace referencia a los miembros armados donde las partes no están en contacto entre sí; pero, los elementos se deben conectar entre sí o instalarse cubre placas perforadas o por diagonales y presillas. El propósito de estos elementos es mantener las diversas

partes paralelas, su distancia constante y su distribución de esfuerzos, de esta manera se garantiza que trabaja el elemento en conjunto (McCormac & Csernak, 2013).

Figura 35

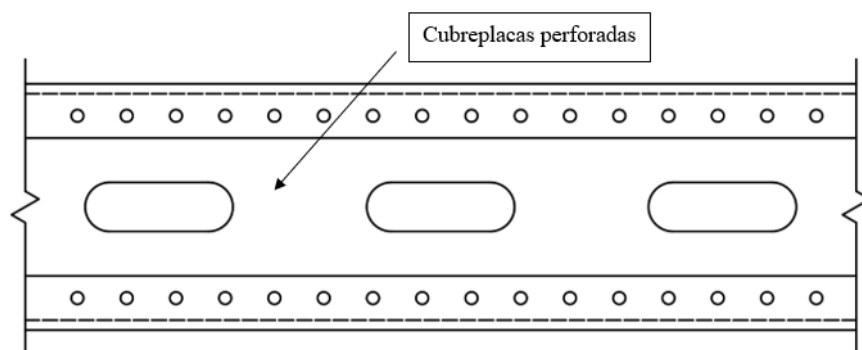
Ejemplo de miembros armados con componentes sin contacto entre sí



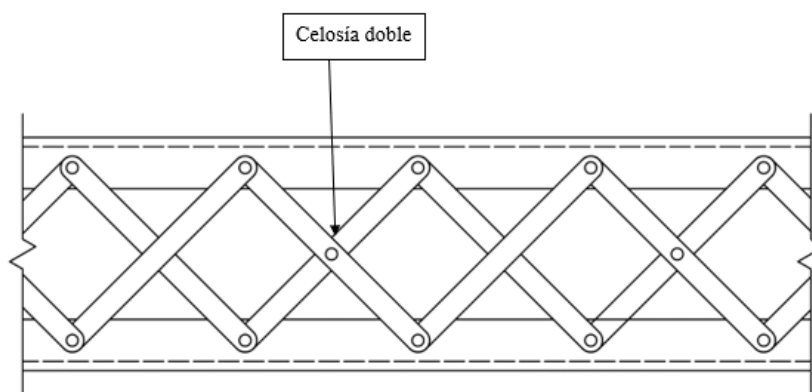
En este sentido, se dibujan los esquemas de unión en base a los de McCormac & Csernak, 2013. También, estas uniones garantizan que los elementos trabajen como una sección armada y **no es necesario modificar la relación de esbeltez.**

Figura 36

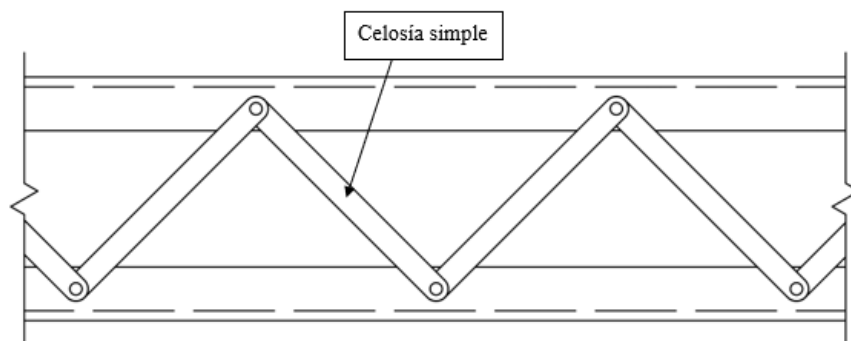
Vista lateral de una columna de miembros armados interconectados con cubre placas perforadas

**Figura 37**

Vista lateral de una columna de miembros armados interconectados con celosía doble

**Figura 38**

Vista lateral de una columna de miembros armados interconectados con celosía simple



4.5.7.5. Miembros sometidos a compresión con elementos esbeltos.

Anteriormente se hablo acerca de los elementos esbeltos, donde la resistencia a compresión se ve afectada por un factor Q , que reduce la resistencia (debido al pandeo local). En este sentido, la NSR-10 (2010) tiene una sección para determinar el esfuerzo crítico en estos casos, y expresa que se aplica a miembros a compresión cuya sección incluye elementos esbeltos, según las definiciones del numeral **F.2.2.4.1** para elementos bajo esfuerzos uniformes de compresión. (El numeral **F.2.2.4.1 de la NSR10**, simplemente explica la clasificación de los elementos esbeltos Elementos atiesados y no atiesados).

Donde la resistencia nominal a compresión, P_n , se determinará con base en los estados límites de pandeo por flexión, pandeo por torsión y pandeo por flexo-torsión, como el producto:

$$P_n = F_{cr}A_g$$

F_{cr} se calcula:

a) Cuando $\frac{Kl}{r} \leq 4.71 * \sqrt{\frac{E}{QF_y}}$ ó ($F_e \geq 0.44QF_y$)

$$F_{cr} = Q[0.658^{(QF_y/F_e)}] * F_y$$

b) Cuando $\frac{Kl}{r} > 4.71 * \sqrt{\frac{E}{QF_y}}$ ó ($F_e < 0.44QF_y$)

$$F_{cr} = 0.877 * F_e$$

Donde:

F_e = esfuerzo crítico de pandeo elástico que se determinan de acuerdo al numeral **4.5.7.3**

Teniendo en cuenta lo anterior, la norma expresa que el numeral 4.5.7.3 solo aplica en ángulos simples si $\frac{b}{t} \leq 20$. Sin embargo, para el software Koutetsu, se determinará y se calculará la resistencia como la menor de las obtenidas.

$Q = 1,0$ para miembros con secciones no esbeltas, según las definiciones del numeral **F.2.2.4.1** para elementos bajo esfuerzos de compresión uniforme.

$Q = Q_s * Q_a$ para miembros con secciones esbeltas, según las definiciones de **F.2.2.4.1** para elementos bajo esfuerzos de compresión uniforme.

Además, la NSR-10 (2010) Expresa que:

Para secciones transversales donde la condición de “esbeltos” ocurre solamente en elementos no atiesados, $Q = Q_s * (Q_a = 1)$. Para secciones transversales donde la condición de “esbeltos” ocurre solamente en elementos atiesados, $Q = (Q_s = 1) * Q_a$. Para secciones transversales donde la condición de “esbeltos” ocurre tanto en elementos no atiesados como en elementos atiesados, $Q = Q_s * Q_a$. Para secciones transversales que contienen varios elementos no atiesados esbeltos, es conservador tomar para Q_s el menor valor, correspondiente al elemento más esbelto. (NSR-10, 2010, p. F-54)

4.5.7.6. Elementos no atiesados esbeltos, Q_s .

El factor Q_s según la NSR-10 se define como:

(a) Para aletas, ángulos o platinas que sobresalen de columnas u otros miembros en perfiles laminados a compresión:

(i) Cuando $\frac{b}{t} \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$.

$$Q_s = 1.0$$

(ii) Cuando $0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b}{t} < 1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$.

$$Q_s = 1.415 - 0.74 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

(iii) Cuando $\frac{b}{t} \geq 1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$.

$$Q_s = \frac{0.69E}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}$$

(b) Para aletas, ángulos o platinas que sobresalen de columnas u otros miembros armados sometidos a compresión:

(i) Cuando $\frac{b}{t} \leq 0.64 \sqrt{\frac{EK_c}{F_y}}$.

$$Q_s = 1.0$$

(ii) Cuando $0.64 \sqrt{\frac{EK_c}{F_y}} < \frac{b}{t} \leq 1.17 \sqrt{\frac{EK_c}{F_y}}$.

$$Q_s = 1.415 - 0.65 \left(\frac{b}{t}\right) \sqrt{\frac{F_y}{EK_c}}$$

(iii) Cuando $\frac{b}{t} > 1.17 \sqrt{\frac{EK_c}{F_y}}$.

$$Q_s = \frac{0.9EK_c}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}$$

Donde $K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{tw}}}$ pero se debe cumplir $0.35 \leq K_c \leq 0.76$.

(c) Para ángulos sencillos.

(i) Cuando $\frac{b}{t} \leq 0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$.

$$Q_s = 1.0$$

(ii) Cuando $0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b}{t} \leq 0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$.

$$Q_s = 1.34 - 0.76 \left(\frac{b}{t} \sqrt{\frac{F_y}{E}}\right)$$

(iii) Cuando $\frac{b}{t} > 0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$.

$$Q_s = \frac{0.53E}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}$$

Donde:

b = ancho total de la mayor aleta del ángulo, (mm).

(d) Para almas de secciones en **T**:

(i) Cuando $\frac{d}{t} \leq 0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$.

$$Q_s = 1.0$$

(ii) Cuando $0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{d}{t} \leq 1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$.

$$Q_s = 1.908 - 1.22 \left(\frac{d}{t}\right) \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

(iii) Cuando $\frac{d}{t} > 1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$.

$$Q_s = \frac{0.69E}{F_y \left(\frac{d}{t}\right)^2}$$

Donde:

b = ancho del elemento a compresión no atiesado, mm.

d = peralte nominal de la **T**, mm.

t = espesor del elemento, mm.

4.5.7.7. Elementos atiesados esbeltos Q_a .

El factor de reducción para una sección con elementos atiesados esbeltos, Q_a , se define como sigue:

$$Q_a = \frac{A_e}{A_g}$$

Donde:

A_g = área total de la sección transversal del miembro, mm^2

A_e = sumatoria de las áreas efectivas de los elementos de la sección transversal, calculadas con base en los anchos efectivos reducidos, b_e , mm^2

El ancho efectivo reducido para un elemento, b_e , se calcula como sigue:

- (a) Para elementos esbeltos bajo esfuerzo de compresión uniforme, con $\frac{b}{t} > 1.49 \sqrt{\frac{E}{f}}$ excepto aletas de secciones cuadradas o rectangulares de espesor uniforme:

$$b_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0.34}{\left(\frac{b}{t}\right)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b$$

donde:

$f = F_{cr}$ calculado con base en $Q = 1.0$

- (b) Para paredes de secciones cuadradas o rectangulares con elementos de espesor uniforme

donde $\frac{b}{t} > 1.4 \sqrt{\frac{E}{f}}$

$$b_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0.38}{\left(\frac{b}{t}\right)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b$$

Donde:

$f = \frac{P_n}{A_e}$, lo cual requiere un proceso iterativo, se puede de manera conservadora tomar f igual

que F_y .

- (c) Para secciones circulares cargadas axialmente, cuando $0.11 \frac{E}{F_y} < \frac{D}{t} < 0.45 \frac{E}{F_y}$.

$$Q = Q_a = \frac{0.038E}{F_y \left(\frac{D}{t}\right)} + \frac{2}{3}$$

Donde:

D = diámetro exterior, mm.

t = espesor de pared, mm.

4.6. Lenguaje de programación, POO, IDE, Bases de datos y SGBD

4.6.1. Lenguaje de programación

Los lenguajes programación aparecieron alrededor de los años 50 y se basaron en paradigmas imperativos, orientado a objetos y funcional, buscando crear una aproximación entre el hombre y la máquina, siguiendo una lógica que ejecute los requerimientos para el desarrollo de un software de manera rápida y segura. Reduciendo costo computacional, ahorro de tiempo y facilitando que puedan ser resueltas rápidamente tareas extensas (Inca, 2012). En este sentido, actualmente existen innumerables lenguajes de programación, 700 aproximadamente según el blog centro de e-Learning.

Con respecto a lo anterior, los lenguajes se pueden clasificar atendiendo a su complejidad; por ejemplo: Lenguajes de máquina, las instrucciones del lenguaje están dadas en codificación binaria; el lenguaje ensamblador, es una programación simbólica que recibe instrucciones lógicas y luego se traducen a lenguaje máquina; y por último está el lenguaje de alto nivel, que permiten expresar estructuras de datos y de control de forma más sencilla, el primero conocido fue FORTRAN, seguidamente de más lenguajes de alto nivel como COBOL(Common Bussines Oriented Language), PL-I, Pascal, C, C++, Ada, Java, Visual, Basic (Durán et al.,2007).

4.6.2. Programación orientada a objetos

El avance tecnológico de los hardware facilita tareas multidisciplinarias; sin embargo, el hardware no funciona si no se tiene un software, puesto que este último es quien da instrucciones. Por lo tanto, para suplir diversas necesidades se tienen que ir actualizando tanto hardware como software. En este sentido, diariamente se actualizan y se crean nuevas aplicaciones que son cada vez más potentes, y que requieren mayor complejidad. Esta complejidad puede caracterizarse como: adaptabilidad o transportabilidad, facilidad para transportarse de un sistema a otros; reusabilidad, usar componentes totales o parciales del software; mantenibilidad, que se resume en que el software sea fácil de entender para que pueda mejorarse por el equipo de trabajo respectivo (Durán et al.,2007).

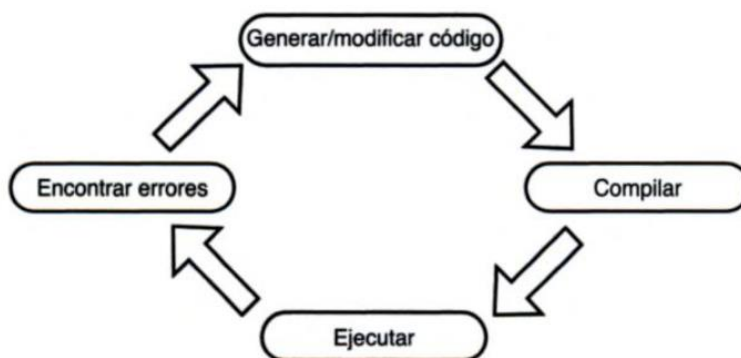
Para suplir los objetivos se usan técnicas de diseño orientada a objetos, conociéndose como programación orientada a objetos (POO) (Durán et al.,2007; Ceballos,2007). El cual pueden entenderse como un conjunto de objetos que contienen datos y métodos que dialogan o interactúan entre sí y se debe determinar cuáles son los objetos del sistema las clases en que pueden agrupar y las relaciones entre ellos, con el fin de realizar la tarea o resolver el problema para el que fue escrito (Durán et al.,2007; Ceballos,2007; Barnes et al,2007).

4.6.3. Compiladores de códigos fuente

Anteriormente, los programadores creaban o programaban su software con un editor de texto, posteriormente se compilaba y se generaba un ejecutable donde estaba el resultado del código, este proceso se hacía en repetidas ocasiones con el fin de probar el ejecutable y ver posibles errores, luego se modificaba y se repetía el ciclo (Mackenzie & Sharkey, 2003). A continuación, se muestra una imagen del ciclo que se realizaba anteriormente por todos los programadores.

Figura 39

Ciclo para desarrollar un software.



Nota. Adaptado de Los compiladores convierten el código fuente de los lenguajes de alto nivel en instrucciones que la computadora pueden comprender, D. Mackenzie & K. Sharkey, 2003. Pearson Educación.

Así como los lenguajes han avanzado, los compiladores también, surgiendo lo que hoy se conoce como entornos de desarrollo integrado (IDE). Los cuales permiten editar, depurar y compilar en una sola interfaz. Es importante diferenciar que un IDE no es un lenguaje de programación, sino que tiene agregado la funcionalidad de la edición, la ejecución y la compilación, además de ofrecer ayudas para el programador, además de reconocer distintos lenguajes de programación (Mackenzie & Sharkey, 2003)

4.6.4. Visual basic a Visual Basic.Net

Los lenguajes de programación se han creado a lo largo de la historia y también se han actualizado, es por eso que desde hace varios años se tienen lenguajes “visuales” los cuales permiten programar con interfaces gráficas, uno de estos es visual Basic. BASIC (código de instrucciones simbólicas multipropósito para principiantes), fue creado en 1964 y es un lenguaje fácil de aprender que tuvo éxito, más tarde, en 1975, surgió Microsoft Basic como una versión de Microsoft, seguida de Quick Basic, Visual Basic 1.0 hasta el Visual Basic 6.0. Desde el Visual

Basic 5.0 era posible crear componentes “Bibliotecas” que se pueden utilizar de forma independiente y no se necesitaba repetir código, sino que se usaba desde la biblioteca y son modificables (Mackenzie & Sharkey, 2003). Visual Basic. 6.0 permitía capacidades de acceso a la red, sin embargo, tenía algunos problemas como la falta de herencia: la creación y manipulación de multihebra; poca interacción con otros lenguajes y pobre gestión de errores (Blanco, 2002).

Con respecto a la problemática o falencias en Visual Basic 6.0, surgió Visual Basic.Net. (O Visual Basic 7.0), el cual las corrige y mejora significativamente estas falencias. Porque permite (Full-OOP), incluyendo herencia, Windows forms, XML, gestión de errores estructurada, creación de aplicaciones de consola, web forms, etc. (Blanco, 2002).

Anteriormente se expresó que el lenguaje de programación utilizado para la creación del software sería VB.Net debido a que se utilizará programación orientada a objetos y además una interfaz gráfica, es el correcto. Además de que Microsoft tiene un IDE que contempla el lenguaje VB.Net y lo concerniente para edición, ejecución, depurador de errores, compilación, componentes, trabajo con bases de datos, etc. Por este motivo se utilizará Visual Estudio 2022 como IDE. Por otro lado, se utilizará se usará SQLite para el manejo de información básica, y para que el usuario pueda crear sus propios perfiles de manera local, el cual además tiene motores o gestores para la gestión de base de datos.

4.6.5. Bases de Datos y Sistemas de Gestión de Bases de datos

El manejo de la información es una tarea que se ha necesitado desde hace varias décadas, puesto que empresas y otros usuarios necesitaban tener su información organizada y administrada para revisar, analizar y tomar decisiones. Anteriormente el manejo de la información se realizaba manualmente; sin embargo, con el auge de los sistemas informáticos

alrededor de los años 1950 y 1960, el tratamiento de los archivos de datos se realizaba secuencialmente con ayuda de cintas magnéticas, este procedimiento leía una información de entrada y escribía los datos de salida en otra cinta magnética de manera secuencial (Pisco et al., 2017).

Una década más tarde, con la implementación de los discos fijos, que permitieron el acceso directo a los datos, se empezaba a solucionar el problema de la secuencialidad, resultando bases de red y jerárquicas, que permitieron las listas y árboles. Sin embargo, con el alto flujo de información que ya se contaba en la época, surgieron las bases de datos relacionales. Pero, con la necesidad de manipular y administrar tanta información, surgieron los sistemas de gestión de bases de datos en redes. En consecuencia, las bases de datos relacionales no pudieron competir con las bases de datos en red y jerárquicas por falta de eficiencia en gestión de la información.

En consecuencia, surgió System R, proyecto de International Business Machines (IBM), donde hicieron un sistema de bases de datos relacionales eficiente. Finalmente, en 1990 se implementó el lenguaje SQL, un lenguaje de consultas estructurado que permitió la toma de decisiones y consultas (Pisco et al., 2017).

Con lo anterior, la implementación de las bases de red jerárquicas se le llamó la primera generación de Sistema de Gestión de Base de Datos (SGBD); las bases de datos relacionales fueron la segunda generación de SGBD; seguidas de las bases de datos orientada a objetos, siendo esta última la tercera generación de los SGBD que actualmente permiten almacenamiento de imágenes, voz, archivos multimedia y pueden estar conectadas a la Web. Dicho lo anterior, actualmente existen los sistemas de múltiples bases de datos donde se realiza operaciones con varios sistemas de bases de datos (Marqués, 2011).

En este sentido, una base de datos “es un conjunto de datos almacenados en memoria externa que están organizados mediante una estructura de datos. Cada base de datos ha sido diseñada para satisfacer los requisitos de información de una empresa u otro tipo de organización” (Marqués, 2011, p.10), así mismo, pueden ser utilizadas y compartidas por usuarios y aplicaciones diferentes, también pueden considerarse como una colección de datos que pueden ser ordenados, seleccionados, actualizados, insertados y borrados, es decir que pueden ser variables en el tiempo, lo que facilita el diseño de aplicaciones y que los tratamientos de datos sean más eficientes (Pisco et al., 2017).

4.6.6. Sistema gestor de bases de datos SQLite

“Sistema de gestión de bases de datos relacional, famoso por su pequeño tamaño. A diferencia de otros sistemas cliente-servidor el motor de SQLite no es un proceso independiente, lo que hace que la latencia sea menor y el acceso más eficiente. Debido a su facilidad de uso, su pequeño tamaño y su versatilidad SQLite es utilizado en una gran variedad de aplicaciones. Su uso ha sido muy popular en las aplicaciones para Smartphone con sistema operativo Android o iOS” (González, 2019, p.11).

En este sentido, es claro resaltar que es un procesador independiente del programa, y que permite la creación, modificación y actualización de una base de datos relacionales y además es el intermediario entre el programador y la base de datos. SQLite tiene varios SGBD como SQLiteStudio; SQLite Administrator; DB Browser for SQLite; SQLite Manager; Navicat for SQLite, etc. (González, 2019,).

Cuando se crea la base de datos relacional, permite manejar la información en tablas y establece relaciones entre ellas, lo que posibilita utilizar como subrutinas en el momento de la programación, para agregar, crear, modificar, borrar y obtener información de la base de datos.

Las variables de información que se puede guardar son bastantes y permite el uso de variables de tipo texto, enteros, reales, entre otras, que sirve para una mayor organización en los datos y la extracción de las misma, también, permite almacenar información hasta 281 TB (SQLite, 2023).

Aunque originalmente la base de datos se creó para el tipo de lenguaje C, actualmente se puede usar en diferentes tipos de lenguaje de programación como Python, Java, Delphi, C++, pascal, Visual Basic 6 claro está en Visual Basic.NET, entre otros (Muradas, 2018; Owens 2006).

Por lo tanto, para el desarrollo del software se usará el SGBD DB Browser for SQLite

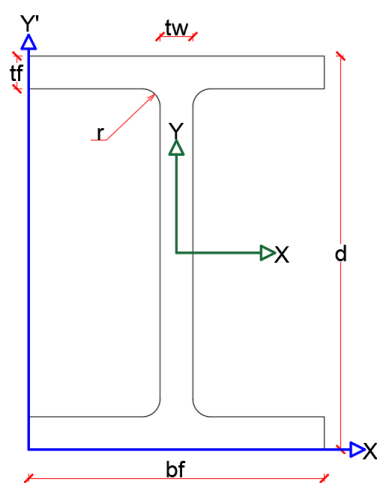
4.7. Fórmulas para determinar las propiedades geométricas de perfiles

4.7.1. Perfiles laminados en caliente

4.7.1.1. Perfiles en I sin pendiente y con radios.

Figura 40

Perfil tipo I sin pendiente



4.7.1.1.1. Área.

La figura consta con 3 rectángulos y tiene 4 figuras que son la resta de un cuadrado de lado r menos el cuarto de círculo de radio r , de aquí en adelante conocido como sobrante.

$$A_I = 2 * bf * tf + (d - 2 * tf) * tw + 4 * r^2 - \pi * r^2$$

4.7.1.1.2. Centroides geométricos.

$$X_{cg} = \frac{bf}{2} \qquad Y_{cg} = \frac{d}{2}$$

4.7.1.1.3. Inercias.

Para el cálculo de la inercia de la sección en I, se tiene en cuenta la inercia de los rectángulos sobre el centro de área de la figura, que al ser simétrica está en la mitad de sus dimensiones, se utilizará el teorema de ejes paralelos, previamente mencionado.

$$I_{x_{rectangulos}} = \left(\frac{bf * tf^3}{12} + \left(Y_{cg} - \frac{tf}{2} \right)^2 * tf * bf \right) * 2 + \frac{tw * (d - 2 * tf)^3}{12}$$

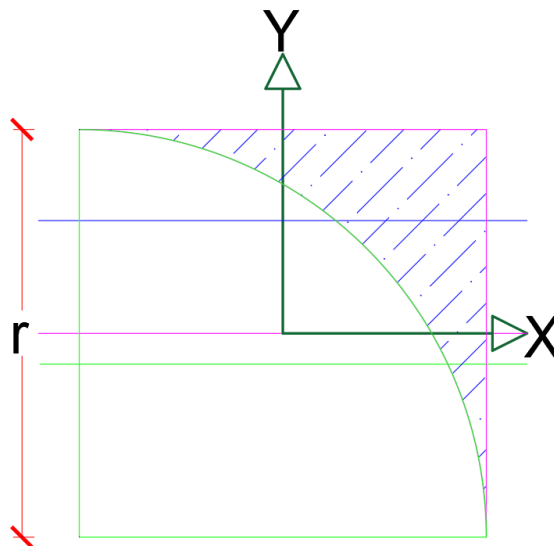
Para la inercia del sobrante es:

$$C_{sobrante} = \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}$$

Donde $C_{sobrante}$ es el centroide del sobrante.

Figura 41

Representación gráfica del sobrante



Por lo que la inercia de los sobrantes es:

$$I_{xSobrante} = \frac{r^4}{3} - \pi * \frac{r^4}{16} - \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right)^2$$

Con esto ya se puede calcular la inercia de toda la sección tanto en el sentido del eje X y en sentido del eje Y.

$$I_{xTotal} = I_{xrectangulos} + \left(I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(Y_{cg} - tf - r + \frac{2 * r}{3(4 - \pi)} \right)^2 \right) * 4$$

Se procede de manera similar para el momento de inercia alrededor del eje Y.

$$I_{yrectangulos} = \left(\frac{tf * tb}{12} \right) * 2 + \frac{(d - 2 * tf) * tw^3}{12}$$

Como la inercia del sobrante con respecto al eje Y es la misma que la inercia con respecto a X, el momento de inercia total es igual a:

$$I_{yTotal} = I_{yrectangulos} + \left(I_{ySobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{tw}{2} + r - \frac{2 * r}{3(4 - \pi)} \right)^2 \right) * 4$$

4.7.1.1.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{cg}} \qquad S_y = \frac{I_y}{X_{cg}}$$

4.7.1.1.5. Módulos plásticos.

Como es una sección de doble simetría, el centro plástico coincide con el centro geométrico.

Por facilidad el módulo plástico en el eje X, se discretizó la sección I y los sobrantes del círculo, por lo que queda de la siguiente manera.

$$Z_{xI} = \left(bf * tf * \frac{d - tf}{2} + tw * \frac{(Y_{cg} - tf)^2}{2} \right) * 2$$

$$Z_{xS} = \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(Y_{cg} - tf - r + \frac{r * 2}{3 * (4 - \pi)} \right) * 4$$

Sumando estos resultados se obtiene el módulo plástico total de toda la sección.

$$Z_x = Z_{xI} + Z_{xS}$$

Se procede de manera similar para el cálculo del módulo plástico en dirección Y.

$$Z_{yI} = \left(\frac{bf^2}{8} * tf + \frac{tw^2}{8} * \left(\frac{d}{2} - tf \right) \right) * 4$$

$$Z_{yS} = \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{tw}{2} + r + \frac{r * 2}{3 * (4 - \pi)} \right)$$

$$Z_y = Z_{yI} + Z_{yS}$$

4.7.1.1.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

4.7.1.1.7. Constante torsional de Saint Venant.

Según Steel Construction Institute (SCI) (2015) la constante torsional se obtiene de la siguiente manera.

Para el cálculo de J se necesita α_1 y D_1

$$\alpha_1 = -0.042 + 0.2204 * \frac{tw}{tf} + 0.1355 * \frac{r}{tf} - 0.0865 * tw * \frac{r}{tf^2} - 0.0725 * \frac{tw^2}{tf^2}$$

$$D_1 = \frac{((tf + r)^2 + tw * (r + tw/4))}{2 * r + tf}$$

$$J = \frac{2 * bf * tf^3 + (d - 2 * tf) * tw^3}{3} + 2 * \alpha_1 * D_1^4 - 4 * 0.105 * tf^4$$

4.7.1.1.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

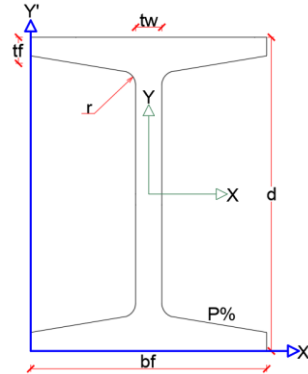
Según SCI (2015) la constante de alabeo se obtiene de la siguiente manera.

$$C_w = (d - tf)^2 * \frac{I_y}{4}$$

4.7.1.2. Perfiles en I con pendiente y con radios.

Figura 42

Perfil tipo IS con pendiente

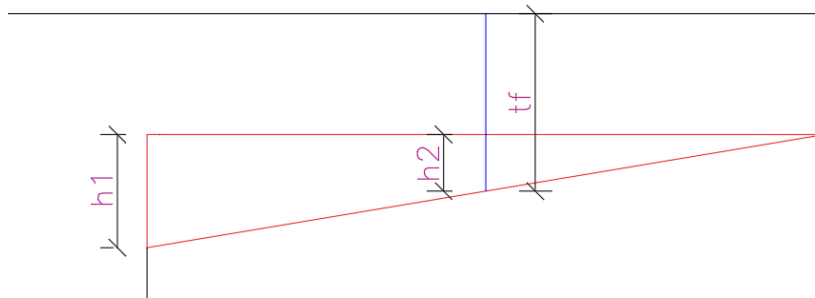


El radio solo se utilizará para el cálculo de C_w y J , no para las otras propiedades.

Para el cálculo de propiedades se separó la figura en alma y aletas.

Figura 43

Aleta de los perfiles con pendiente



En la imagen se representa las dimensiones que se consideraran de la aleta, teniendo en cuenta que la ubicación t_f está en la mitad de $(bf - tw)$.

$$h1 = \frac{bf - tw}{2} * \frac{P}{100}$$

$$h2 = \frac{h1}{2}$$

4.7.1.2.1. Área de una aleta.

$$A_{aleta} = \frac{bf - tw}{2} * (tf - h2) + \frac{(bf - tw) * h1}{4}$$

4.7.1.2.2. Centroide geométrico de una aleta.

$$X_{aleta} = \frac{\frac{(bf - tw)^2}{8} * (tf - h2) + \frac{(bf - tw)^2 * h1}{24}}{A_{aleta}}$$

$$Y_{aleta} = \frac{\frac{(bf - tw) * (tf - h2)^2}{4} + \frac{(bf - tw) * h1}{4} * \left(tf - h2 + \frac{h1}{3}\right)}{A_{aleta}}$$

4.7.1.2.3. Inercias de una aleta.

$$I_{xAleta} = \frac{(bf - tw) * (tf - h2)^3}{24} + \frac{(bf - tw) * (tf - h2)}{2} * \left(Y_{aleta} - \frac{tf - h2}{2}\right)^2$$

$$+ \frac{(bf - tw) * h1^3}{72} + \frac{(bf - tw) * h1}{4} * \left(tf - h2 + \frac{h1}{3} - y_{aleta}\right)^2$$

$$I_{yAleta} = \frac{(bf - tw)^3 * (tf - h2)}{96} + \frac{(bf - tw) * (tf - h2)}{2} * \left(X_{aleta} - \frac{bf - tw}{4}\right)^2$$

$$+ \frac{(bf - tw)^3 * h1}{288} + \frac{(bf - tw) * h1}{4} * \left(X_{aleta} - \frac{bf - tw}{6}\right)^2$$

4.7.1.2.4. Área.

$$A = A_{aleta} * 4 + d * tw$$

4.7.1.2.5. Centroide geométrico.

$$X_{cg} = \frac{bf}{2}$$

$$Y_{cg} = \frac{d}{2}$$

4.7.1.2.6. Inercias.

$$I_x = \left(I_{xAleta} + A_{aleta} * (Y_{cg} - Y_{aleta})^2\right) * 4 + tw * \frac{d^3}{12}$$

$$I_y = \left(I_{y_{Aleta}} + A_{aleta} * \left(X_{aleta} + \frac{tw}{2} \right)^2 \right) * 4 + tw^3 * \frac{d}{12}$$

4.7.1.2.7. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{cg}} \qquad S_y = \frac{I_y}{X_{cg}}$$

4.7.1.2.8. Módulos plásticos.

$$Z_x = \left(A_{aleta} * \left(\frac{d}{2} - Y_{aleta} \right) * 2 + \frac{d^2}{8} * tw \right) * 2$$

$$Z_y = \left(\frac{tw^2 * d}{8} + \left(A_{aleta} * \left(X_{aleta} + \frac{tw}{2} \right) \right) * 2 \right) * 2$$

4.7.1.2.9. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

4.7.1.2.10. Constante torsional de Saint Venant.

Según Eng-Tips Forum (2019) la constante torsional se obtiene de la siguiente manera.

$$J = 2 * (bf - 0.63 * tf) \frac{tf^3}{3} + (d - 2 * tf) * \frac{tw^3}{3} + 2 * \frac{tw}{tf} * \left(0.145 + 0.1 * \frac{r}{tf} \right) * \left(\frac{\left(r + \frac{tw}{2} \right)^2 + (r + tf)^2 - r^2}{2 * r + tf} \right)^4$$

4.7.1.2.11. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

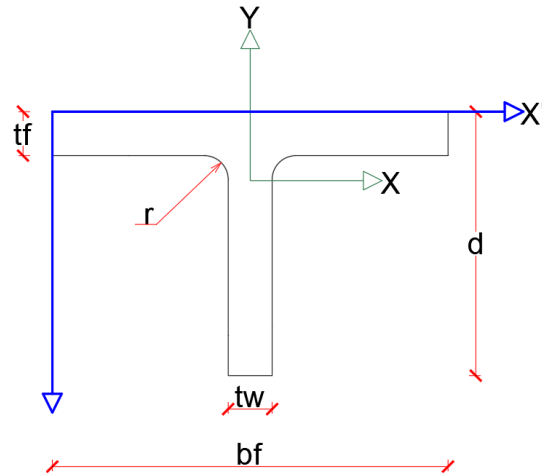
Según SCI (2015) la constante de alabeo se obtiene de la siguiente manera.

$$C_w = (d - tf)^2 * \frac{I_y}{4}$$

4.7.1.3. Perfiles en T con radios y sin pendiente.

Figura 44

Perfil tipo T sin pendiente



4.7.1.3.1. Área.

$$A = tf * bf + (d - tf) * tw + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * 2$$

4.7.1.3.2. Centro geométrico.

Y_{cg}

$$= \frac{bf * \frac{tf^2}{2} + (d - tf) * tw * \left(\frac{d - tf}{2} + tf \right) + \left(\left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(tf + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) \right) * 2}{A}$$

$$X_{cg} = \frac{bf}{2}$$

4.7.1.3.3. Inercias.

Recordando el valor de I_x del sobrante.

$$I_{xSobrante} = \frac{r^4}{3} - \pi * \frac{r^4}{16} - \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right)^2$$

$$I_{x_T} = \frac{bf * tf^3}{12} + bf * tf * \left(Y_{cg} - \frac{tf}{2}\right)^2 + \frac{(d - tf)^3 * tw}{12} + (d - tf) * tw$$

$$* \left(d - Y_{cg} - \frac{d - tf}{2}\right)^2$$

$$I_x = I_{x_T} + 2 * \left(I_{x_{Sobrante}} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(Y_{cg} - tf - r + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)^2\right)$$

$$I_{y_T} = \frac{tf * bf^3}{12} + (d - tf) * \frac{tw^3}{12}$$

$$I_y = I_{y_T} + 2 * \left(I_{x_{Sobrante}} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(\frac{tw}{2} + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)\right)$$

4.7.1.3.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{d - Y_{cg}} \qquad S_y = \frac{I_y}{X_{cg}}$$

4.7.1.3.5. Módulos plásticos.

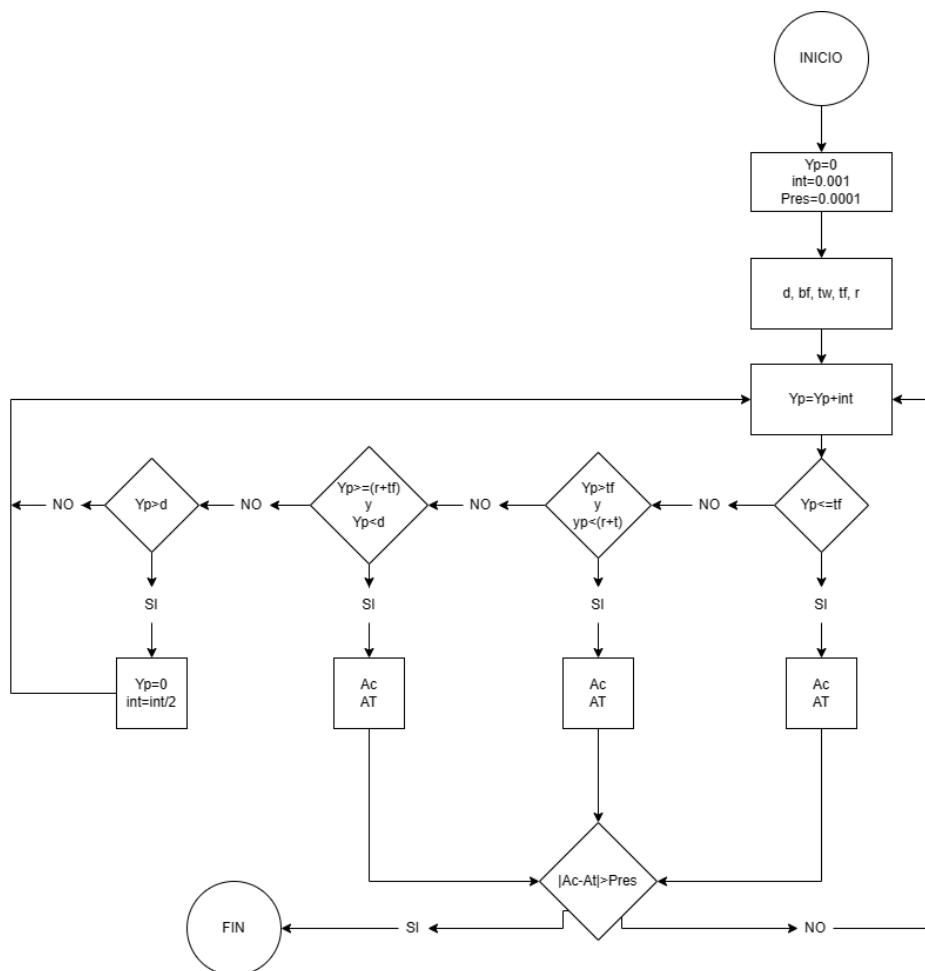
Para el módulo plástico alrededor del eje Y no hay inconveniente ya que esta coordenada coincide con el centro geométrico, por lo que el valor es:

$$Z_y = \left(\frac{bf^2}{8} * tf + (d - tf) * \frac{tw^2}{8} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(\frac{tw}{2} + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)\right) * 2$$

En el eje X, el centro plástico dependerá de la posición que este Y_p , ya que las formulaciones dependerán de su localización; sin embargo, para facilidad se hace un ciclo en Visual Basic.Net, siguiendo el siguiente diagrama de flujo.

Figura 45

Diagrama de flujo para el cálculo de Y_p para perfiles T sin pendiente



Donde las variables de entrada son d , bf , tw , tf , r y en cada ciclo se va incrementando el valor de Y_p , cambiando así sistemáticamente los valores de área a compresión (AC) y área a tensión (AT) y hasta que no encuentre un valor donde la resta de áreas sea menor que la precisión no saldrá del ciclo, siempre entrando en el rango correspondiente.

4.7.1.3.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

4.7.1.3.7. Constante torsional de Saint Venant.

Según SCI (2015) la constante torsional se obtiene de la siguiente manera.

$$\alpha = -0.042 + 0.2204 * \frac{tw}{tf} + 0.1355 * \frac{r}{tf} - 0.0865 * tw * \frac{r}{tf^2} - 0.0725 * \frac{tw^2}{tf^2}$$

$$D = \frac{\left((tf + r)^2 + tw * \left(r + \frac{tw}{4} \right) \right)}{2 * r + tf}$$

$$J = \frac{bf * tf^3 + (d - tf) * tw^3}{3} + \alpha * D^4 - 2 * 0.105 * tf^4 - 0.105 * tw^4$$

4.7.1.3.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

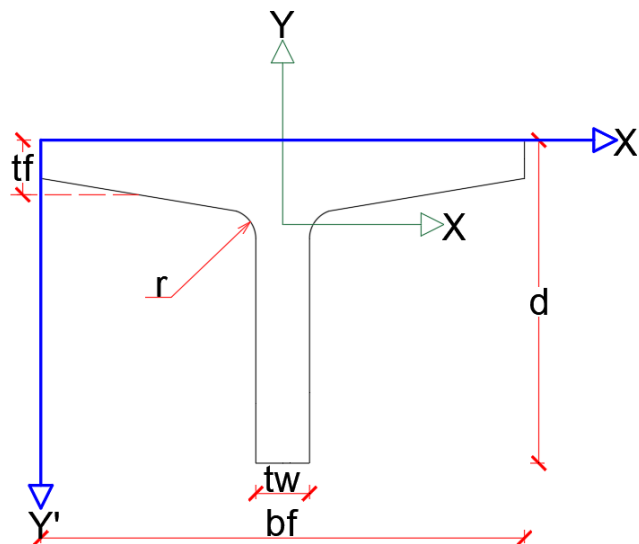
Según SCI (2015) la constante de alabeo se obtiene de la siguiente manera.

$$C_w = \frac{tf^3 * bf^3}{144} + \frac{1}{36} * \left(d - \frac{tf}{2} \right)^3 * tw^3$$

4.7.1.4. Perfiles en T con radios y pendiente.

Figura 46

Perfil tipo TS con pendiente



Recordando los cálculos de la aleta.

4.7.1.4.1. Área aleta.

$$A_{aleta} = \frac{bf - tw}{2} * (tf - h2) + \frac{(bf - tw) * h1}{4}$$

4.7.1.4.2. Centroide de una aleta

$$X_{aleta} = \frac{\frac{(bf - tw)^2}{8} * (tf - h2) + \frac{(bf - tw)^2 * h1}{24}}{A_{aleta}}$$

$$Y_{aleta} = \frac{\frac{(bf - tw) * (tf - h2)^2}{4} + \frac{(bf - tw) * h1}{4} * \left(tf - h2 + \frac{h1}{3}\right)}{A_{aleta}}$$

4.7.1.4.3. Inercias de una aleta

$$I_{X_{Aleta}} = \frac{(bf - tw) * (tf - h2)^3}{24} + \frac{(bf - tw) * (tf - h2)}{2} * \left(Y_{aleta} - \frac{tf - h2}{2}\right)^2$$

$$+ \frac{(bf - tw) * h1^3}{72} + \frac{(bf - tw) * h1}{4} * \left(tf - h2 + \frac{h1}{3} - y_{aleta}\right)^2$$

$$I_{Y_{Aleta}} = \frac{(bf - tw)^3 * (tf - h2)}{96} + \frac{(bf - tw) * (tf - h2)}{2} * \left(X_{aleta} - \frac{bf - tw}{4}\right)^2$$

$$+ \frac{(bf - tw)^3 * h1}{288} + \frac{(bf - tw) * h1}{4} * \left(X_{aleta} - \frac{bf - tw}{6}\right)^2$$

4.7.1.4.4. Área

$$A = A_{aleta} * 2 + d * tw$$

4.7.1.4.5. Centroide geométrico.

$$X_{cg} = \frac{bf}{2}$$

$$Y_{cg} = \frac{Y_{Aleta} * A_{Aleta} * 2 + \frac{d^2 * tw}{2}}{A}$$

4.7.1.4.6. Inercias.

$$I_x = \left(I_{x_{Aleta}} + A_{Aleta} * (Y_{cg} - Y_{Aleta})^2 \right) * 2 + tw * \frac{d^3}{12} + tw * d * \left(\frac{d}{2} - Y_{cg} \right)^2$$

$$I_y = \left(I_{y_{Aleta}} + A_{Aleta} * \left(X_{Aleta} + \frac{tw}{2} \right)^2 \right) * 2 + \frac{tw^3 * d}{12}$$

4.7.1.4.7. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{d - Y_{cg}} \qquad S_y = \frac{I_y}{X_{cg}}$$

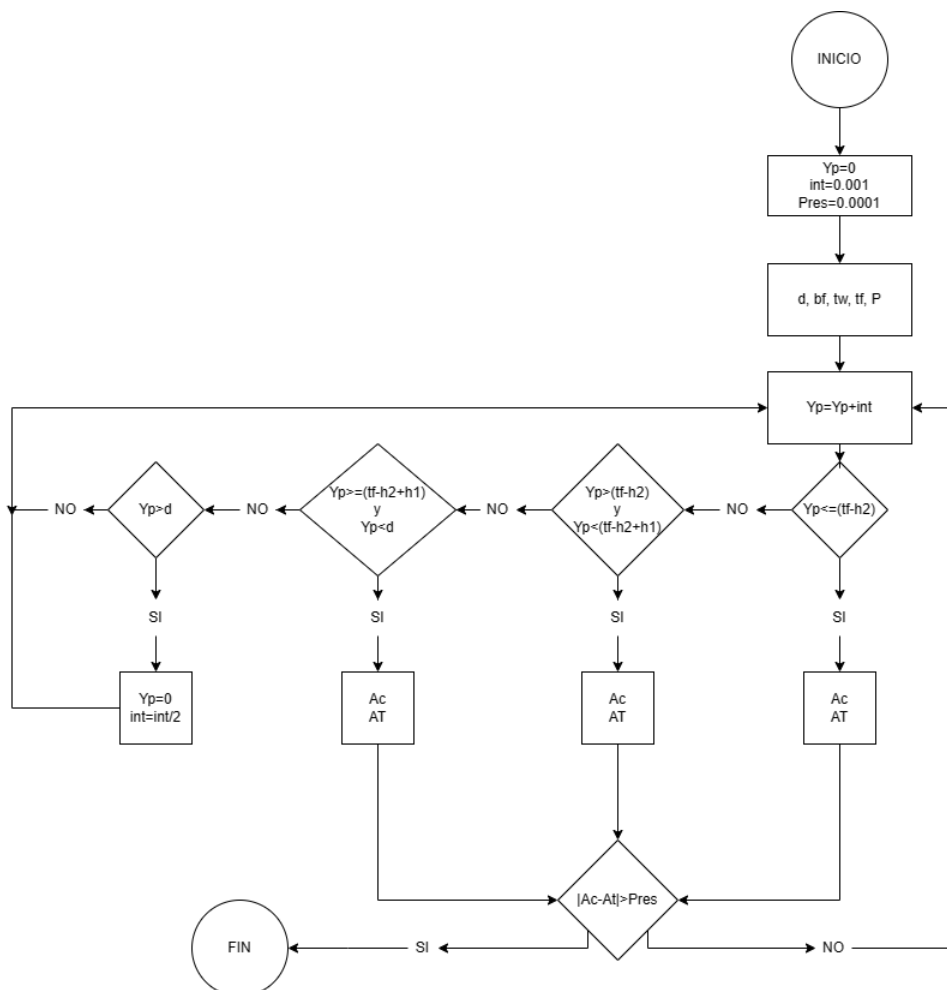
4.7.1.4.8. Módulos plásticos.

$$Z_y = \left(\frac{bf^2}{8} * (tf - h2) + h1 * \frac{bf - tw}{4} * \left(\frac{bf - tw}{6} + \frac{tw}{2} \right) + (d - (tf - h2)) * \frac{tw^2}{8} \right) * 2$$

En el eje X, el centro plástico dependerá de la posición que este Yp ya que las formulaciones dependerán de su localización; sin embargo, para facilidad se hace un ciclo en Visual Basic.Net, siguiendo el siguiente diagrama de flujo.

Figura 47

Diagrama de flujo para el cálculo de Y_p para perfiles TS con pendiente



Donde las variables de entrada son d , bf , tw , tf , p donde en cada ciclo se va incrementando el valor de Y_p , cambiando así sistemáticamente los valores de área a compresión (AC) y área a tensión (AT) y hasta que no encuentre un valor donde la resta de áreas sea menor que la precisión no saldrá del ciclo, siempre entrando en el rango correspondiente.

4.7.1.4.9. Radios de giro.

$$rx = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \qquad ry = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

4.7.1.4.10. Constante torsional de Saint Venant.

Según SCI (2015) la constante torsional se obtiene de la siguiente manera.

$$\alpha = -0.042 + 0.2204 * \frac{tw}{tf} + 0.1355 * \frac{r}{tf} - 0.0865 * tw * \frac{r}{tf^2} - 0.0725 * \frac{tw^2}{tf^2}$$

$$D = \frac{\left((tf + r)^2 + tw * \left(r + \frac{tw}{4} \right) \right)}{2 * r + tf}$$

$$J = \frac{(bf * tf^3 + (d - tf) * tw^3)}{3} + \alpha * D^4 - 2 * 0.105 * tf^4 - 0.105 * tw^4$$

4.7.1.4.11. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

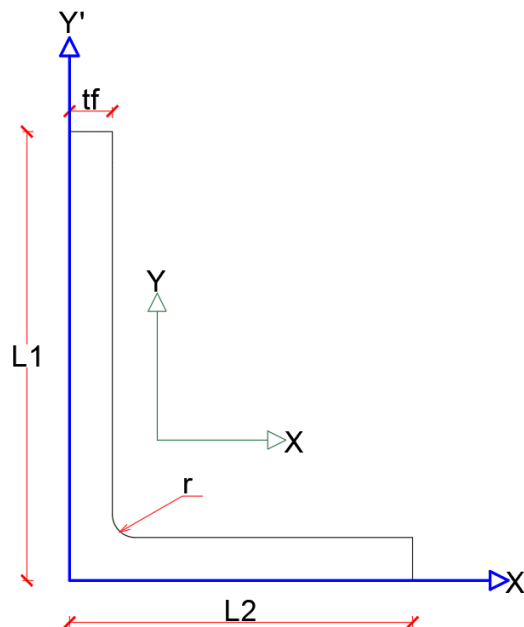
Según SCI (2015) la constante de alabeo se obtiene de la siguiente manera.

$$C_w = \frac{tf^3 * bf^3}{144} + \frac{1}{36} * \left(d - \frac{tf}{2} \right)^3 * tw^3$$

4.7.1.5. Perfiles en L con radios.

Figura 48

Perfil tipo L



4.7.1.5.1. Área.

$$A = L1 * tf + (L2 - tf) * tf + r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}$$

4.7.1.5.2. Centroide geométrico.

$$X_{cg} = \frac{\frac{L1 * tf^2}{2} + (L2 - tf) * tf * \left(\frac{L2 - tf}{2} + tf\right) * \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(tf + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)}{A}$$

$$Y_{cg} = \frac{L1^2 * \frac{tf}{2} + (L2 - tf) * \frac{tf^2}{2} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(tf + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)}{A}$$

4.7.1.5.3. Inercias.

$$I_{xSobrante} = \frac{r^4}{3} - \pi * \frac{r^4}{16} - \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(\frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)^2$$

$$I_x = L2 * \frac{tf^3}{12} + L2 * tf * \left(Y_{cg} - \frac{tf}{2}\right)^2 + tf * \frac{(L1 - tf)^3}{12} + (L1 - tf) * tf * \left(\frac{L1 + tf}{2} - Y_{cg}\right)^2$$

$$+ I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(Y_{cg} - r - tf + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)^2$$

$$I_y = L2^3 * \frac{tf}{12} + L2 * tf * \left(-X_{cg} + \frac{L2}{2}\right)^2 + tf^3 * \frac{L1 - tf}{12} + (L1 - tf) * tf * \left(X_{cg} - \frac{tf}{2}\right)^2$$

$$+ I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(X_{cg} - r - tf + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)^2$$

Sin embargo, estas no son las inercias máximas y mínimas, para esto es necesario el producto de inercias, para esto se hace el producto de inercia del cuarto de círculo sobrante, de sí mismo.

$$I_{xyProp} = (9 * \pi - 32) * \frac{r^4}{72 * \pi}$$

Por lo tanto, I_{xy} del sobrante referenciado a los ejes

$$I_{XYsob} = \left(\frac{-2 * r}{3 * (4 - \pi)} + \frac{r}{2} \right)^2 * r^2 - \left(I_{xyProp} + \left(\frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} + \frac{4 * r}{3 * \pi} \right)^2 * \pi * \frac{r^2}{4} \right)$$

$$I_{XY} = \left(-X_{cg} + \frac{L2}{2} \right) * \left(-Y_{cg} + \frac{tf}{2} \right) * L2 * tf + \left(-X_{cg} + \frac{tf}{2} \right) * \left(\frac{L1 + tf}{2} - Y_{cg} \right) * (L1 - tf)$$

$$* tf + I_{XYsob} + \left(-Y_{cg} + tf + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right)$$

$$* \left(-X_{cg} + tf + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) * \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right)$$

Por lo tanto, la inercia mínima y máxima son las siguientes.

$$I_{min} = \frac{Ix + Iy}{2} - \sqrt{\left(\frac{Ix - Iy}{2} \right)^2 + I_{XY}^2}$$

$$I_{max} = \frac{Ix + Iy}{2} + \sqrt{\left(\frac{Ix - Iy}{2} \right)^2 + I_{XY}^2}$$

Y el ángulo de inclinación es el siguiente.

$$\theta = \frac{\tan^{-1} \left(\frac{I_{XY}}{(Ix - Iy)/2} \right)}{2}$$

4.7.1.5.4. Módulos elásticos.

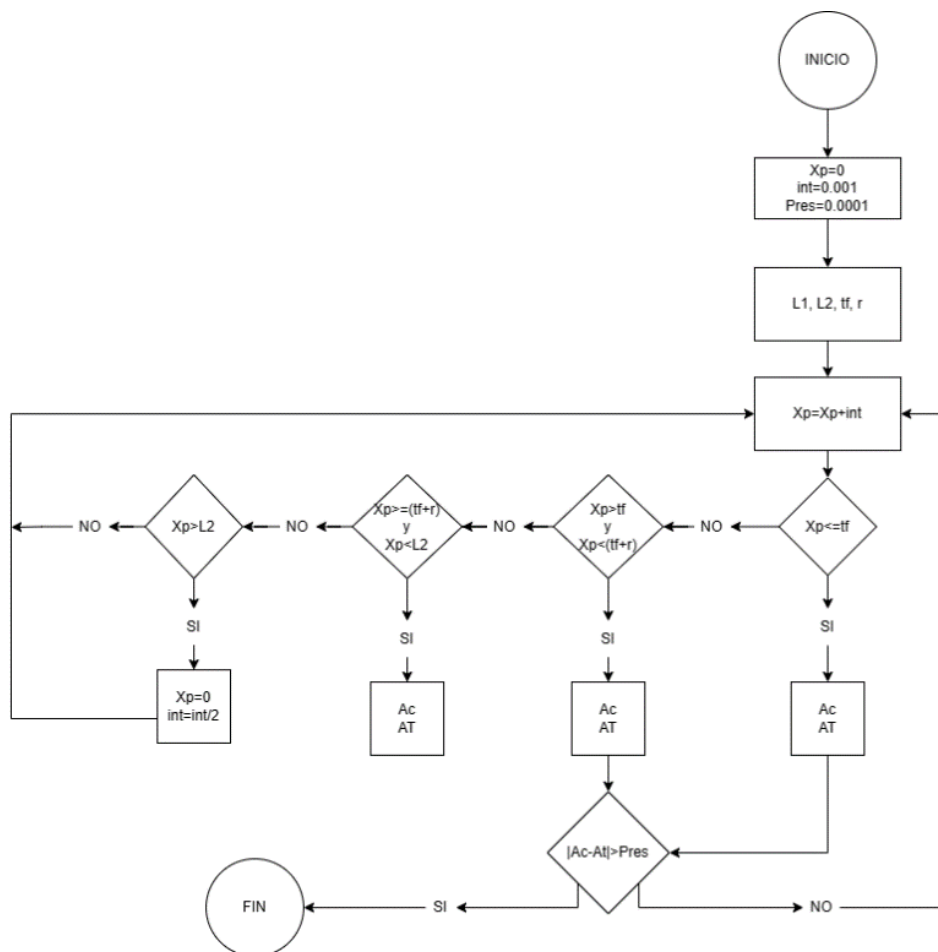
$$S_x = \frac{I_x}{L1 - Y_{cg}} \qquad S_y = \frac{I_y}{L2 - X_{cg}}$$

4.7.1.5.5. Módulos plásticos.

Para el módulo plástico alrededor del eje Y y eje X, el centro plástico no coincide en el centro geométrico, así que dependerá de en que posición del centro plástico (Y_p y X_p), ya que las formulaciones dependerán de su localización; sin embargo, de igual manera, se realizan los respectivos ciclos para el cálculo.

Figura 49

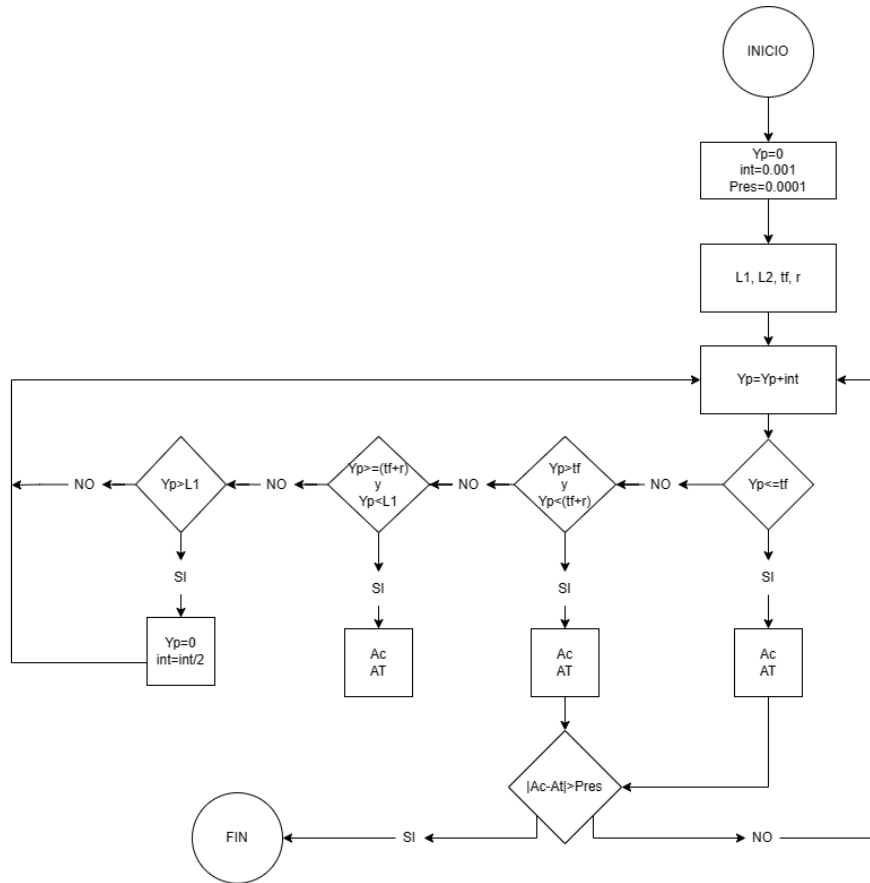
Diagrama de flujo para el cálculo de X_p para perfiles L



Donde las variables de entrada son $L1$, $L2$, tf , r y en cada ciclo se va incrementando el valor de X_p , cambiando así sistemáticamente los valores de área a compresión (AC) y área a tensión (AT) y hasta que no encuentre un valor donde la resta de áreas sea menor que la precisión no saldrá del ciclo, siempre entrando en el rango correspondiente.

Figura 50

Diagrama de flujo para el cálculo de Y_p para perfiles L



Donde las variables de entrada son $L1$, $L2$, tf , r y en cada ciclo se va incrementando el valor de Y_p , cambiando así sistemáticamente los valores de área a compresión (AC) y área a tensión (AT) y hasta que no encuentre un valor donde la resta de áreas sea menor que la precisión no saldrá del ciclo, siempre entrando en el rango correspondiente.

4.7.1.5.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

4.7.1.5.7. Constante torsional de Saint Venant.

Según Kraus, M., & Kindmann, R. (2009), el cálculo de la constante torsional se obtiene así:

$$c = tf + 0.4 * r$$

$$J = (L1 + L2 - 2 * c) * \frac{tf^3}{3} + 0.237 * c^4$$

4.7.1.5.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

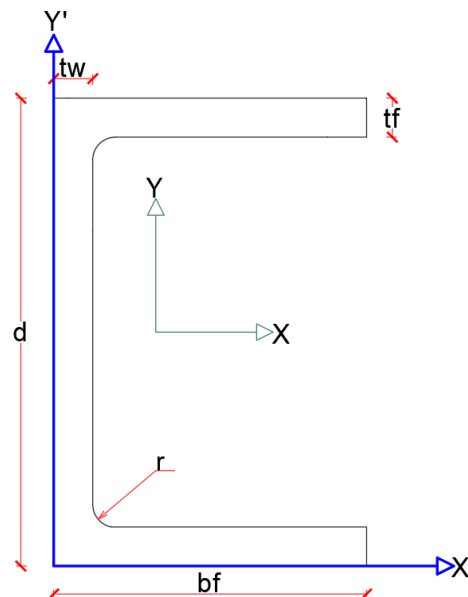
Según Canadian Institute of Steel Construction (2002) el cálculo de la constante de alabeo es:

$$C_w = \frac{tf^3}{36} * \left(\left(L1 - \frac{tf}{2} \right)^3 + \left(L2 - \frac{tf}{2} \right)^3 \right)$$

4.7.1.6. Perfil en CS con radios y sin pendiente.

Figura 51

Perfil tipo CS sin pendiente



4.7.1.6.1. Área.

$$A = 2 * bf * tf + (d - 2 * tf) * tw + \frac{(4 * r^2 - \pi * r^2)}{2}$$

4.7.1.6.2. Centroide geométrico.

$$X_{cg} = \frac{d * \frac{tw^2}{2} + \left((bf - tw) * tf * \frac{tw + bf}{2} \right) * 2 + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(tw + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) * 2}{A}$$

$$Y_{cg} = \frac{d}{2}$$

4.7.1.6.3. Inercias.

$$I_{xSobrante} = \frac{r^4}{3} - \pi * \frac{r^4}{16} - \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right)^2$$

$$I_x = \left(bf * \frac{tf^3}{12} + \left(\frac{d - tf}{2} \right)^2 * bf * tf \right) * 2 + \frac{tw * (d - 2 * tf)^3}{12}$$

$$+ \left(I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(Y_{cg} - tf - r + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right)^2 \right) * 2$$

$$I_y = d * \frac{tw^3}{12} + (d * tw) * \left(X_{cg} - \frac{tw}{2} \right)^2 + \left(\frac{tf * (bf - tw)^3}{12} + tf * (bf - tw) * \left(X_{cg} - \frac{bf + tw}{2} \right)^2 \right)$$

$$* 2 + \left(I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(X_{cg} - tw - r + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right)^2 \right) * 2$$

4.7.1.6.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{cg}}$$

$$S_y = \frac{I_y}{bf - X_{cg}}$$

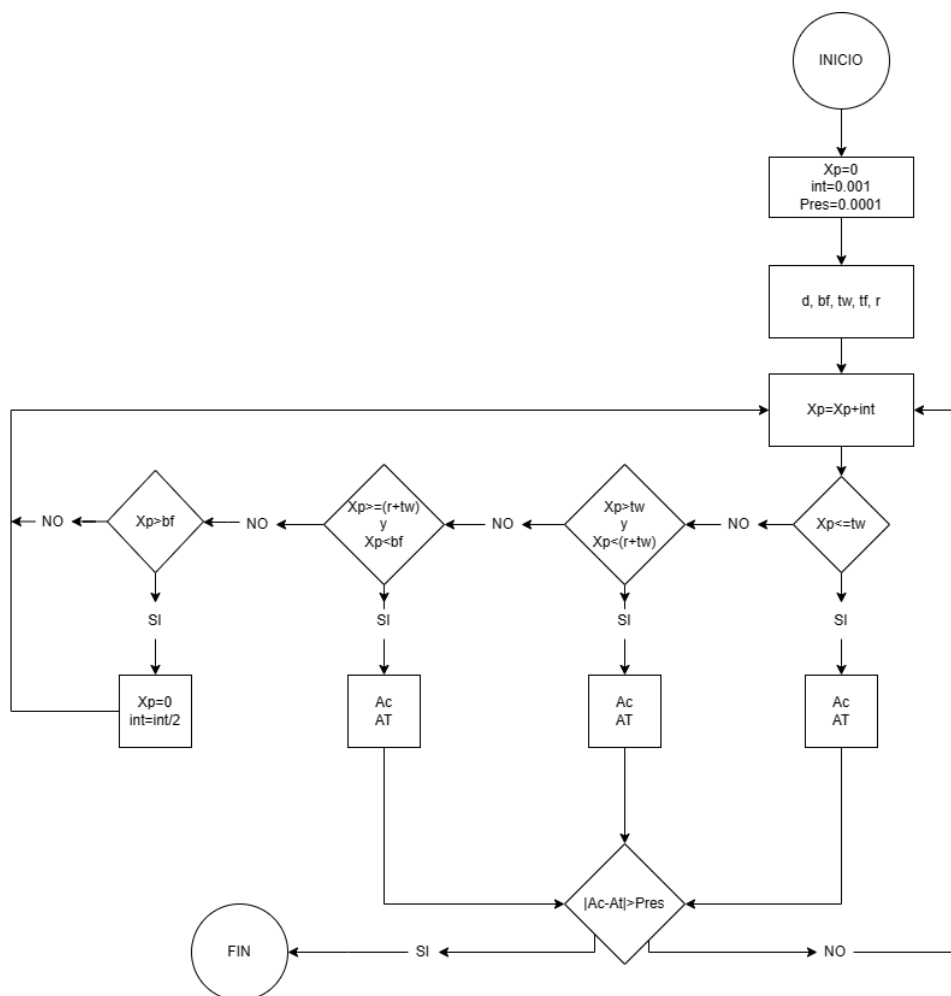
4.7.1.6.5. Módulos plásticos.

$$Z_x = \left(\frac{d^2}{8} * tw + (bf - tw) * tf * \frac{d - tf}{2} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{d}{2} - tf - t + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) \right) * 2$$

En el eje Y, el centro plástico dependerá de la posición que este X_p ya que las formulaciones dependerán de su localización; sin embargo, para facilidad se hace un ciclo en Visual Basic.Net, siguiendo el siguiente diagrama de flujo.

Figura 52

Diagrama de flujo para el cálculo de X_p para perfiles CS sin pendiente



Donde las variables de entrada son d , bf , tw , tf , r y en cada ciclo se va incrementando el valor de X_p , cambiando así sistemáticamente los valores de área a compresión (AC) y área a tensión (AT) y hasta que no encuentre un valor donde la resta de áreas sea menor que la precisión no saldrá del ciclo, siempre entrando en el rango correspondiente.

4.7.1.6.6. Radios de giro

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

4.7.1.6.7. Constante torsional de Saint Venant.

Según Canadian Institute of Steel Construction (2002) el cálculo de la constante torsional es:

$$J = \frac{1}{3} * (2 * bf * tf^3 + (d - 2 * tf) * tw^3)$$

4.7.1.6.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

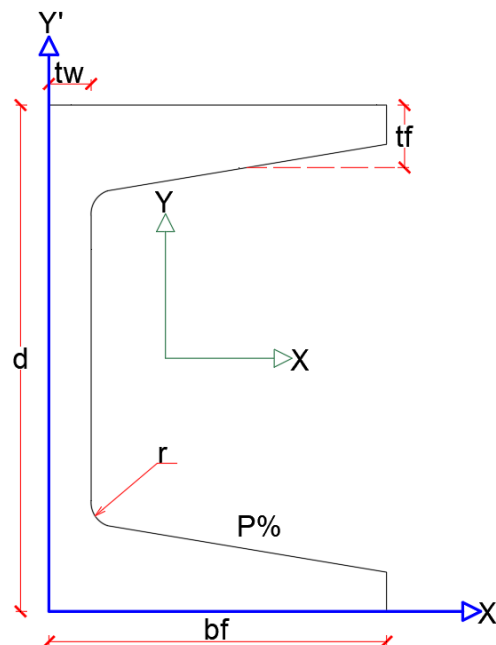
Según el centro de investigación de los reglamentos nacionales de seguridad de obras civiles (2005), el cálculo de la constante de alabeo es:

$$C_w = \frac{tf * bf^3 * (d - tf)^2}{12} * \frac{3 * bf * tf + 2 * (d - tf) * tw}{6 * bf * tf + (d - tf) * tw}$$

4.7.1.7. Perfil en C con radios y con pendiente.

Figura 53

Perfil tipo C con pendiente



Recordando los cálculos de la aleta.

4.7.1.7.1. Área aleta.

$$A_{aleta} = (bf - tw) * (tf - h2) + \frac{(bf - tw) * h1}{2}$$

4.7.1.7.2. Centroide aleta.

$$X_{aleta} = \frac{\frac{(bf - tw)^2}{2} * (tf - h2) + \frac{(bf - tw)^2 * h1}{6}}{A_{aleta}}$$

$$Y_{aleta} = \frac{\frac{(bf - tw) * (tf - h2)^2}{2} + \frac{(bf - tw) * h1}{2} * \left(tf - h2 + \frac{h1}{3}\right)}{A_{aleta}}$$

4.7.1.7.3. Inercias de una aleta.

$$I_{xAleta} = \frac{(bf - tw) * (tf - h2)^3}{12} + (bf - tw) * (tf - h2) * \left(Y_{aleta} - \frac{tf - h2}{2}\right)^2$$

$$+ \frac{(bf - tw) * h1^3}{36} + \frac{(bf - tw) * h1}{2} * \left(tf - h2 + \frac{h1}{3} - y_{aleta}\right)^2$$

$$I_{yAleta} = \frac{(bf - tw)^3 * (tf - h2)}{12} + (bf - tw) * (tf - h2) * \left(X_{aleta} - \frac{bf - tw}{2}\right)^2$$

$$+ \frac{(bf - tw)^3 * h1}{36} + \frac{(bf - tw) * h1}{2} * \left(X_{aleta} - \frac{bf - tw}{3}\right)^2$$

4.7.1.7.4. Área.

$$A = A_{aleta} * 2 + d * tw$$

4.7.1.7.5. Centroide geométrico.

$$X_{cg} = \frac{(X_{aleta} + tw) * A_{Aleta} * 2 + d * \frac{tw^2}{2}}{A}$$

$$Y_{cg} = \frac{d}{2}$$

4.7.1.7.6. Inercias.

$$I_x = \left(I_{x_{Aleta}} + A_{Aleta} * \left(\frac{d}{2} - Y_{aleta} \right)^2 \right) * 2 + \frac{tw * d^3}{12}$$

$$I_y = \left(I_{y_{Aleta}} + A_{Aleta} * \left(X_{aleta} + tw - X_{cg} \right)^2 \right) * 2 + \frac{tw^3 * d}{12} * d * tw * \left(X_{cg} - \frac{tw}{2} \right)^2$$

4.7.1.7.7. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{cg}} \qquad S_y = \frac{I_y}{bf - X_{cg}}$$

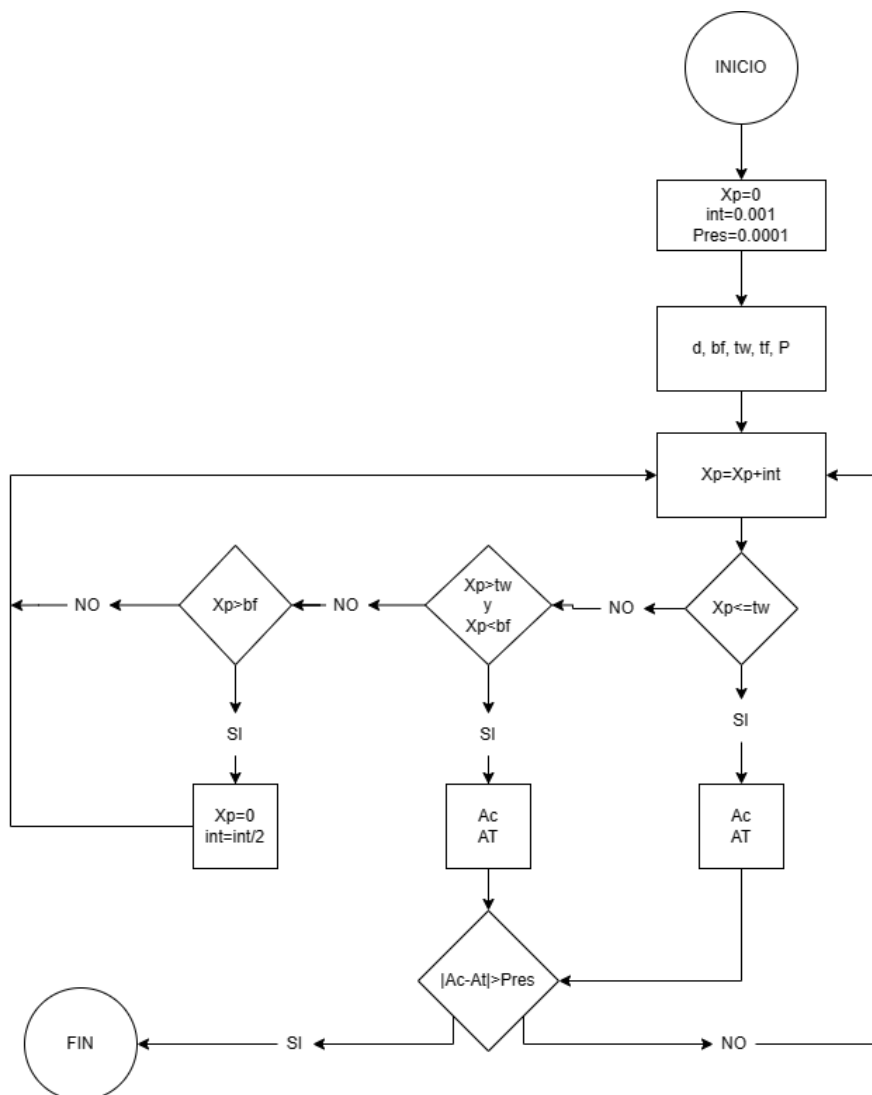
4.7.1.7.8. Módulos plásticos.

$$Z_x = \left(A_{Aleta} * \left(\frac{d}{2} - Y_{aleta} \right) + \frac{d^2}{8} * tw \right) * 2$$

En el eje Y, el centro plástico dependerá de la posición que este Xp ya que las formulaciones dependerán de su localización; sin embargo, para facilidad se hace un ciclo en Visual Basic.Net, siguiendo el siguiente diagrama de flujo.

Figura 54

Diagrama de flujo para el cálculo de X_p para perfiles C con pendiente



Donde las variables de entrada son d , bf , tw , tf , p y en cada ciclo se va incrementando el valor de X_p , cambiando así sistemáticamente los valores de área a compresión (AC) y área a tensión (AT) y hasta que no encuentre un valor donde la resta de áreas sea menor que la precisión no saldrá del ciclo, siempre entrando en el rango correspondiente.

4.7.1.7.9. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

4.7.1.7.10. Constante torsional de Saint Venant.

Según SCI (2015) la constante de alabeo se obtiene de la siguiente manera.

$$\alpha_3 = -0.0908 + 0.2621 * \frac{tw}{tf} + 0.1231 * \frac{r}{tf} - 0.0752 * tw * \frac{r}{tf} - 0.0945 * \frac{tw^2}{tf^2}$$

$$D_3 = 2 * (3 * r + tw + tf) - \sqrt{2 * (2 * r + tw) * (2 * r + tf)}$$

$$J = \frac{2 * bf * tf^3 + (d - 2 * tf) * tw^3}{3} + 2 * \alpha_3 * D_3^4 - 2 * 0.105 * tf^4$$

4.7.1.7.11. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

Según Canadian Institute of Steel Construction (2002) el cálculo de la constante de alabeo es:

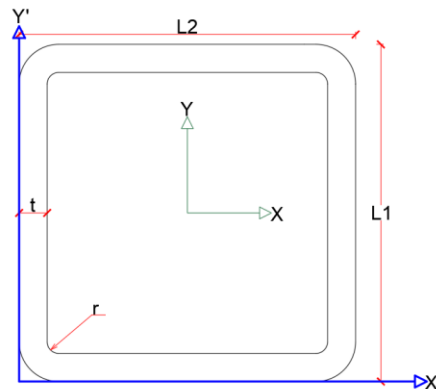
$$d' = d - tf \quad b' = bf - \frac{tw}{2} \quad \alpha_1 = \frac{1}{2 + d' * \frac{tw}{3 * b' * tf}}$$

$$C_w = d'^2 * b'^3 * tf * \left(\frac{1 - 3 * \alpha_1}{6} + \frac{\alpha_1^2}{2} * \left(1 + \frac{d' * tw}{6 * b' * tf} \right) \right)$$

4.7.1.8. Perfil rectangular tubular.

Figura 55

Perfil tipo tubular rectangular



Para el cálculo de las propiedades geométricas de estos tipos de perfiles se utilizará el 93% del espesor nominal dependiendo de la norma de fabricación; sine embargo, para Cw y J si se utiliza el valor del espesor nominal.

4.7.1.8.1. Área.

$$A = (b - (t + r) * 2) + (d - (t + r) * 2) * 2 * t + \pi * (r + t)^2 - \pi * r^2$$

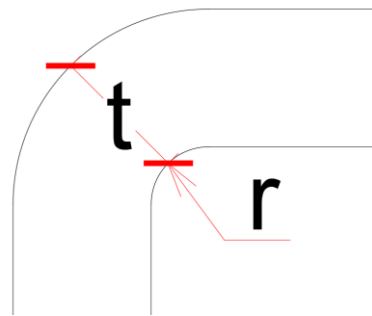
4.7.1.8.2. Centroides geométricos.

$$X_{cg} = \frac{bf}{2} \qquad Y_{cg} = \frac{d}{2}$$

4.7.1.8.3. Inercias

Figura 56

Radio para perfiles conformados en frío



$$I_{ct} = \frac{\pi * (r + t)^4}{16} - \frac{4 * (r + t)^4}{9 * \pi}$$

$$I_{cr} = \frac{\pi * (r)^4}{16} - \frac{4 * (r)^4}{9 * \pi}$$

$$brazo = \frac{4 * ((r + t)^3 - r^3)}{3 * \pi * ((r + t)^2 - r^2)}$$

$$I_{xc} = I_{ct} + \frac{\pi * (r + t)^2}{4} * \left(brazo - \frac{4 * (r + t)}{3 * \pi} \right)^2 - \left(I_{cr} + \frac{\pi * r^2}{4} * \left(brazo - \frac{4 * r}{3 * \pi} \right)^2 \right)$$

$$I_{recx} = \left((b - (t + r) * 2) * \frac{t^3}{12} + (b - (t + r) * 2) * t * \left(\frac{d - t}{2} \right)^2 + \frac{t * (d - (t + r) * 2)^3}{12} \right)$$

* 2

$$I_x = I_{recx} + \left(I_{xc} + \left(\pi * \frac{(r + t)^2}{4} - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{d}{2} - r - t + brazo \right)^2 \right) * 4$$

$$I_{recy} = \left(\frac{t * (b - (t + r) * 2)^3}{12} + \frac{(d - (t + r) * 2) * t^3}{12} + (d - (t + r) * 2) * t * \left(\frac{b - t}{2} \right)^2 \right) * 2$$

$$I_y = I_{recy} + \left(I_{yc} + \left(\pi * \frac{(r + t)^2}{4} - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{b}{2} - r - t + brazo \right)^2 \right) * 4$$

4.7.1.8.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{cg}}$$

$$S_y = \frac{I_y}{X_{cg}}$$

4.7.1.8.5. Módulos plásticos.

$$Z_x = \left((b - (t + r) * 2) * t * \frac{d - t}{2} + \left(\frac{d}{2} - t - r \right)^2 * t + \left(\frac{\pi * ((r + t)^2 - r^2)}{2} \right) * \left(\frac{d}{2} - t - r + brazo \right) \right) * 2$$

$$Z_y = \left((d - (t + r) * 2) * t * \frac{b - t}{2} + \left(\frac{b}{2} - t - r \right)^2 * t + \left(\frac{\pi * ((r + t)^2 - r^2)}{2} \right) * \left(\frac{b}{2} - t - r + brazo \right) \right) * 2$$

4.7.1.8.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

4.7.1.8.7. Constante torsional de Saint Venant.

Según Canadian Institute of Steel Construction (2002) el cálculo de la constante torsional es:

$$Rc = 1.5 * t \qquad Ap = (d - t) * (b - t) - Rc^2 * (4 - \pi)$$

$$P = 2 * ((d - t) + (b + t)) - 2 * Rc * (4 - \pi)$$

$$J = 4 * Ap^2 * \frac{t}{P}$$

4.7.1.8.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

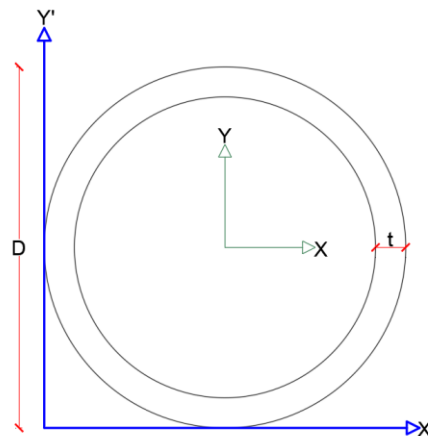
Según Björk, T., Ahola, A. & Skriko, T el cálculo de la constante de alabeo se obtiene.

$$C_w = (b - t)^2 * (d - t)^2 * \frac{t}{24} * \frac{((d - t) - (b - t))^2}{(d - t) - (b - t)} + \frac{2 * ((d - t)^3 + (b - t)^3) * t^3}{144}$$

4.7.1.9. Perfil tubular circular.

Figura 57

Perfil tipo tubular circular



Para el cálculo de las propiedades geométricas de estos tipos de perfiles se utilizará el 93% del espesor nominal dependiendo de la norma de fabricación; sine embargo, para C_w y J si se utiliza el valor del espesor nominal.

4.7.1.9.1. Área.

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

4.7.1.9.2. Inercias.

$$I_x = \frac{\pi}{64} * (D^4 - (D - 2 * t)^4)$$

$$I_y = \frac{\pi}{64} * (D^4 - (D - 2 * t)^4)$$

4.7.1.9.3. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{D/2}$$

$$S_y = \frac{I_y}{D/2}$$

4.7.1.9.4. Módulos plásticos.

$$\text{Semibrazo} = \frac{2 * (D^3 - (D - 2 * t)^3)}{\pi * 3 * (D^2 - (D - 2 * t)^2)}$$

$$Z_x = \text{Semibrazo} * A$$

$$Z_y = \text{Semibrazo} * A$$

4.7.1.9.5. Radios de giro

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

4.7.1.9.1. Constante torsional de Saint Venant.

Según Canadian Institute of Steel Construction (2002) el cálculo de la constante torsional es:

$$J = I_x + I_y$$

4.7.1.9.2. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

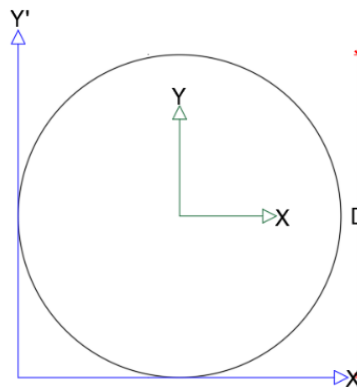
Según Canadian Institute of Steel Construction (2002) el valor de la constante de alabeo puede asumir como 0.

$$C_w = 0$$

4.7.1.10. Perfiles tipo Barra.

Figura 58

Perfil tipo barra solidida



4.7.1.10.1. Área.

$$A = \pi * \frac{D^2}{4}$$

4.7.1.10.2. Centroide geométrico.

$$X_{cg} = \frac{D}{2}$$

$$Y_{cg} = \frac{D}{2}$$

4.7.1.10.3. Inercias.

$$I_x = \pi * \frac{D^4}{64}$$

$$I_y = \pi * \frac{D^4}{64}$$

4.7.1.10.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{X_{cg}}$$

$$S_y = \frac{I_y}{Y_{cg}}$$

4.7.1.10.5. Módulos plásticos.

$$Z_x = \frac{A * D * 2}{3 * \pi} \qquad Z_y = \frac{A * D * 2}{3 * \pi}$$

4.7.1.10.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

4.7.1.10.7. Constante torsional de Saint Venant.

Según Canadian Institute of Steel Construction (2002) el cálculo de la constante torsional es:

$$J = I_x + I_y$$

4.7.1.10.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

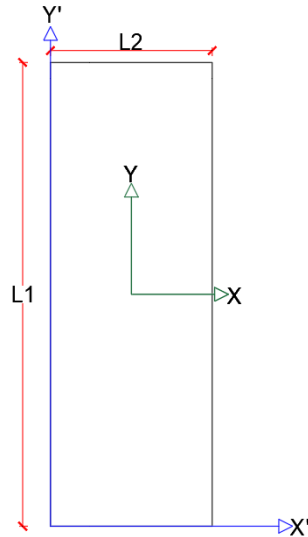
Según Canadian Institute of Steel Construction (2002) el cálculo de la constante de alabeo puede asumirse como 0.

$$C_w = 0$$

4.7.1.11. Perfiles tipo placa.

Figura 59

Perfil tipo Placa



4.7.1.11.1. Área.

$$A = L1 * L2$$

4.7.1.11.2. Centroide geométrico.

$$X_{cg} = \frac{L2}{2}$$

$$Y_{cg} = \frac{L1}{2}$$

4.7.1.11.3. Inercias.

$$I_x = \frac{L2 * L1^3}{12}$$

$$I_y = \frac{L1 * L2^3}{12}$$

4.7.1.11.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{cg}}$$

$$S_y = \frac{I_y}{X_{cg}}$$

4.7.1.11.5. Módulos plásticos.

$$Z_x = \frac{L_2 * L_1^2}{4} \qquad Z_y = \frac{L_1 * L_2^2}{4}$$

4.7.1.11.6. Radios de giro

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

4.7.1.11.7. Constante torsional de Saint Venant.

Según SCI (2011) la constante torsional se obtiene de la siguiente manera.

Para el cálculo de esta propiedad dependerá de las siguientes condiciones

Si $L_1 < 10 * L_2$ se calcula como una placa

$$J = L_1 * \frac{L_2^3}{3} * \left(1 - 0.21 * \frac{L_2}{L_1} * \left(1 - \frac{L_2^4}{12 * L_1^4} \right) \right)$$

Si $L_1 \geq 10 * L_2$ se calcula como una sección rectangular

$$J = L_1 * \frac{L_2^3}{3} - 0.21 * L_2^4$$

4.7.1.11.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

Según la NSR-10 se puede asumir el C_w como cero.

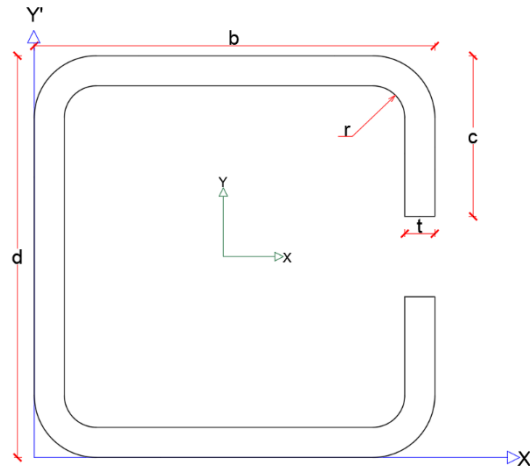
$$C_w = 0$$

4.7.2. Perfiles conformados en frío

4.7.2.1. Perfiles tipo G.

Figura 60

Perfil tipo G con aletas



4.7.2.1.1. Área

$$A_{\text{Circulo}} = \frac{(r+t)^2}{4} * \pi - \frac{r^2}{4} * \pi$$

$$A = (d - 2 * (r + t)) * t + (b - 2 * (r + t)) * t * 2 + (c - (r + t)) * t * 2 + A_{\text{Circulo}} * 4$$

4.7.2.1.2. Centroide geométrico.

$$B_{\text{Circulo}} = \frac{4 * ((r * t)^3 - r^3)}{3 * \pi * ((r + t)^2 - r^2)}$$

$$X_{cg} = \frac{(r + t - B_{\text{Circulo}}) * A_{\text{Circulo}} * 2 + \left(\frac{t}{2}\right) * (d - 2 * (r + t)) * t + (b - 2 * (r + t)) * t * \frac{b}{2} * 2 + (c - (r + t)) * t * \left(b - \frac{t}{2}\right) * 2 + (B_{\text{Circulo}} + b - (r + t)) * A_{\text{Circulo}} * 2}{A}$$

$$Y_{cg} = \frac{d}{2}$$

4.7.2.1.3. Inercias.

$$I_{cct} = \frac{\pi * (r + t)^4}{16} - \frac{4 * (r + t)^4}{9 * \pi}$$

$$I_{CCR} = \frac{\pi * (r)^4}{16} - \frac{4 * (r)^4}{9 * \pi}$$

$$I_{Circulo} = I_{CCT} + \frac{\pi * (r + t)^2}{4} * \left(B_{Circulo} - \frac{4 * (r + t)}{3 * \pi} \right)^2$$

$$- \left(I_{CCR} + \frac{\pi * (r)^2}{4} * \left(B_{Circulo} - \frac{4 * r}{3 * \pi} \right)^2 \right)$$

$$I_X = \left(I_{Circulo} + A_{Circulo} * (Y_{cg} - (r + t) + B_{Circulo})^2 \right) * 4 + t * \frac{(d - 2 * (r + t))^3}{12}$$

$$+ \left((b - 2 * (r + t)) * \frac{t^3}{12} + (b - 2 * (r + t)) * t * \left(Y_{cg} - \frac{t}{2} \right)^2 \right) * 2$$

$$+ \left((c(r + t))^3 * \frac{t}{12} + (c - (r + t)) * t * \left(Y_{cg} - (r + t) - \frac{(c - (r + t))}{2} \right)^2 \right)$$

$$* 2$$

$$I_Y = \left(I_{Circulo} + A_{Circulo} * (X_{cg} - (r + t) + B_{Circulo})^2 \right) + I_{Circulo} + A_{Circulo}$$

$$* (b - X_{cg} - (r + t) + B_{Circulo})^2 * 2 + (d - 2 * (r + t)) * \frac{t^3}{12} + (d - 2 * (r$$

$$+ t)) * t * \left(X_{cg} - \frac{t}{2} \right)^2$$

$$+ \left(\frac{t * (b - 2 * (r + t))^3}{12} + b - 2 * (r + t)) * t * \left(X_{cg} - \frac{b}{2} \right)^2 \right) * 2$$

$$+ \left(\frac{(c - (r + t)) * t^3}{12} + (c - (r + t)) * t * \left(b - X_{cg} - \frac{t}{2} \right)^2 \right) * 2$$

4.7.2.1.4. Módulos elásticos.

$$S_X = \frac{I_x}{Y_{cg}} \quad S_y = \frac{I_y}{b - X_{cg}}$$

4.7.2.1.5. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

4.7.2.1.6. Constante torsional de Saint Venant.

Según american Iron and Steel Institute (AISI) (2008) la constante torsional se calcula así:

$$a' = d - (2 * r + 2 * t)$$

$$ar = d - t \quad \alpha = 1$$

$$b' = b - (r + t + \alpha * (r + t)) \quad br = b - \left(\frac{t}{2} + \alpha * \frac{t}{2}\right)$$

$$c' = \alpha * (c - (r + t)) \quad cr = \alpha * \left(c - \frac{t}{2}\right)$$

$$u = \pi * \frac{r + t/2}{2}$$

$$J = \frac{t^3}{3} * (a' + 2 * (b' + u) + 2 * \alpha * (c' + u))$$

4.7.2.1.7. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

Según american Iron and Steel Institute (AISI) (2008) la constante de alabeo se calcula así:

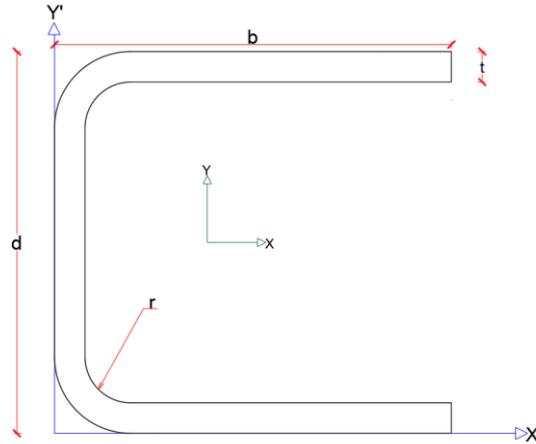
$$\xi = 48 * cr^4 + 112 * br * cr^3 + 8 * ar * cr^3 + 48 * ar * br * cr^2 + 12 * ar^2 * cr^2 + 12 * ar^2 * br * cr + 6 * ar^3 * cr$$

$$C_w = \frac{ar^2 * br^2 * t}{12} * \left(\frac{2 * ar^3 * br + 3 * ar^2 * br^2 + \alpha * \xi}{6 * ar^2 * br + (ar + 2 * cr * \alpha)^3 - 24 * ar * cr^2 * \alpha} \right)$$

4.7.2.2. Perfiles tipo C.

Figura 61

Perfil tipo C sin aletas



4.7.2.2.1. Área.

$$A_{\text{Circulo}} = \frac{(r+t)^2}{4} * \pi - \frac{r^2}{4} * \pi$$

$$A = (d - 2 * (r+t)) * t + (b - (r+t)) * t * 2 + A_{\text{Circulo}} * 2$$

4.7.2.2.2. Centroide geométrico.

$$B_{\text{Circulo}} = \frac{4 * ((r+t)^3 - r^3)}{3 * \pi((r+t)^2 - r^2)}$$

$$X_{cg} = \frac{(r+t - B_{\text{Circulo}}) * A_{\text{Circulo}} * 2 + \left(\frac{t}{2}\right) * (d - 2 * (r+t)) * t + (b - (r+t)) * t * \left(\frac{b - (r+t)}{2} + (r+t)\right) * 2}{A}$$

$$Y_{cg} = \frac{d}{2}$$

4.7.2.2.3. Inercias.

$$I_{cct} = \frac{\pi * (r+t)^4}{16} - \frac{4 * (r+t)^4}{9 * \pi}$$

$$I_{ccr} = \frac{\pi * (r)^4}{16} - \frac{4 * (r)^4}{9 * \pi}$$

$$I_{Circulo} = I_{cct} + \frac{\pi * (r + t)^2}{4} * \left(B_{Circulo} \frac{4 * (r + t)}{3 * \pi} \right)^2$$

$$- \left(I_{ccr} + \frac{\pi * (r)^2}{4} * \left(B_{Circulo} - \frac{(4 * r)}{3 * \pi} \right)^2 \right)$$

$$I_X = (I_{Circulo} + A_{Circulo} * (Y_{cg} - (r + t) + B_{Circulo})^2) * 2 + t * \frac{(d - 2 * (r + t))^3}{12}$$

$$+ \left((b - (r + t)) * \frac{t^3}{12} + (b - (r + t)) * t * \left(Y_{cg} - \frac{t}{2} \right)^2 \right) * 2$$

$$I_Y = \left(I_{Circulo} + A_{Circulo} * (X_{cg} - (r + t) + B_{Circulo})^2 \right) * 2 + (d - 2 * (r + t)) * \frac{t^3}{12}$$

$$+ (d - 2 * (r + t)) * t * \left(X_{cg} - \frac{t}{2} \right)^2$$

$$+ \left(\frac{t * (b - (r + t))^3}{12} + (b - (r + t)) * t * \left(X_{cg} - \left(\frac{b - (r + t)}{2} + (r + t) \right) \right)^2 \right)$$

$$* 2$$

4.7.2.2.4. Módulos elásticos del perfil

$$S_X = \frac{I_X}{Y_{cg}} \qquad S_Y = \frac{I_Y}{b - X_{cg}}$$

4.7.2.2.5. Radio de giro

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

4.7.2.2.6. Constante torsional de Saint Venant.

Según AISI (2008) la constante torsional se calcula así:

$$a' = d - (2 * r + 2 * t)$$

$$ar = d - t \quad \alpha = 1$$

$$b' = b - (r + t + \alpha * (r + t)) \quad br = b - \left(\frac{t}{2} + \alpha * \frac{t}{2}\right)$$

$$c' = \alpha * (c - (r + t)) \quad cr = \alpha * \left(c - \frac{t}{2}\right)$$

$$u = \pi * \frac{r + t/2}{2}$$

$$J = \frac{t^3}{3} * (a' + 2 * (b' + u) + 2 * \alpha * (c' + u))$$

4.7.2.2.7. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

Según AISI (2008) la constante de alabeo se calcula así:

$$\xi = 48 * cr^4 + 112 * br * cr^3 + 8 * ar * cr^3 + 48 * ar * br * cr^2 + 12 * ar^2 * cr^2 + 12 * ar^2 * br * cr + 6 ar^3 * cr$$

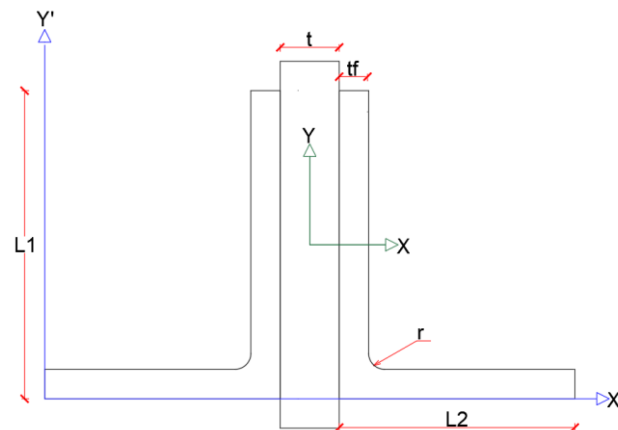
$$C_w = \frac{ar^2 * br^2 * t}{12} * \left(\frac{2 * ar^3 * br + 3 * ar^2 * br^2 + \alpha * \xi}{6 * ar^2 * br + (ar + 2 * cr * \alpha)^3 - 24 * ar * cr^2 * \alpha} \right)$$

4.7.3. Perfiles armados con perfiles laminados en caliente

4.7.3.1. Perfiles tipo 2L espalda con espalda.

Figura 62

Perfil tipo 2L espalda con espalda



4.7.3.1.1. Área.

$$A = L1 * tf + (L2 - tf) * tf + r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}$$

$$A2L = 2 * A$$

4.7.3.1.2. Centroides geométricos.

$$X_{cg} = \frac{\frac{L1 * tf^2}{2} + (L2 - tf) * tf * \left(\frac{L2 - tf}{2} + tf\right) * \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(tf + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)}{A}$$

$$Y_{cg} = \frac{L1^2 * \frac{tf}{2} + (L2 - tf) * \frac{tf^2}{2} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(tf + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)}{A}$$

$$X2L_{cg} = L2 + \frac{t}{2} \quad Y2L_{cg} = Y_{cg}$$

4.7.3.1.3. Inercias.

$$I_{xSobrante} = \frac{r^4}{3} - \pi * \frac{r^4}{16} - \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(\frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)^2$$

$$I_x = L2 * \frac{tf^3}{12} + L2 * tf * \left(Y_{cg} - \frac{tf}{2}\right)^2 + tf * \frac{(L1 - tf)^3}{12} + (L1 - tf) * tf * \left(\frac{L1 + tf}{2} - Y_{cg}\right)^2$$

$$+ I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(Y_{cg} - r - tf + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)^2$$

$$I_y = L2^3 * \frac{tf}{12} + L2 * tf * \left(-X_{cg} + \frac{L2}{2}\right)^2 + tf^3 * \frac{L1 - tf}{12} + (L1 - tf) * tf * \left(X_{cg} - \frac{tf}{2}\right)^2$$

$$+ I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(X_{cg} - r - tf + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)^2$$

$$Ix2L = I_x * 2$$

$$Iy2L = \left(I_y + A * \left(X_{cg} + \frac{t}{2}\right)^2\right) * 2$$

4.7.3.1.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x 2L}{L1 - Y2L_{cg}} \qquad S_y = \frac{I_y 2L}{X2L_{cg}}$$

4.7.3.1.5. Módulos plásticos.

Para el cálculo de un perfil L, se hace con el ciclo anteriormente mencionado y este valor se multiplica por 2.

$$Z_x 2L = Z_x * 2 \qquad Z_y 2L = AL * \left(X2L_{cg} + \frac{t}{2} \right) * 2$$

4.7.3.1.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x 2L}{A2L}} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y 2L}{A2L}}$$

4.7.3.1.7. Constante torsional de Saint Venant.

En el cálculo de la constante torsional, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$c = tf + 0.4 * r$$

$$J = \left((L1 + L2 - 2 * c) * \frac{tf^3}{3} + 0.237 * c^4 \right) * 2$$

4.7.3.1.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

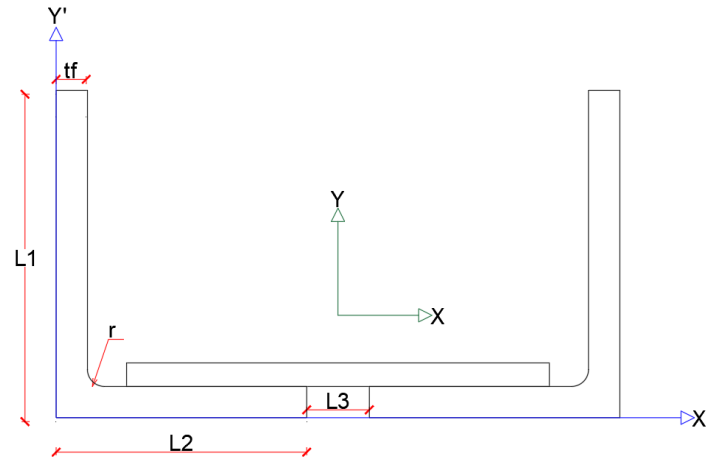
En el cálculo de la constante de alabeo, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$C_w = \left(\frac{tf^3}{36} * \left(\left(L1 - \frac{tf}{2} \right)^3 + \left(L2 - \frac{tf}{2} \right)^3 \right) \right) * 2$$

4.7.3.2. Perfiles tipo 2L enfrentados.

Figura 63

Perfil tipo 2L enfrentados



4.7.3.2.1. Área.

$$A = L1 * tf + (L2 - tf) * tf + r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}$$

$$A2L = 2 * A$$

4.7.3.2.2. Centroides geométricos.

$$X_{cg} = \frac{\frac{L1 * tf^2}{2} + (L2 - tf) * tf * \left(\frac{L2 - tf}{2} + tf\right) + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(tf + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)}{A}$$

$$Y_{cg} = \frac{L1^2 * \frac{tf}{2} + (L2 - tf) * \frac{tf^2}{2} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(tf + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)}{A}$$

$$X2L_{cg} = L2 + \frac{L3}{2} \quad Y2L_{cg} = Y_{cg}$$

4.7.3.2.3. Inercias.

$$I_{xSobrante} = \frac{r^4}{3} - \pi * \frac{r^4}{16} - \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(\frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)^2$$

$$I_x = L2 * \frac{tf^3}{12} + L2 * tf * \left(Y_{cg} - \frac{tf}{2}\right)^2 + tf * \frac{(L1 - tf)^3}{12} + (L1 - tf) * tf * \left(\frac{L1 + tf}{2} - Y_{cg}\right)^2$$

$$+ I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(Y_{cg} - r - tf + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)^2$$

$$I_y = L2^3 * \frac{tf}{12} + L2 * tf * \left(-X_{cg} + \frac{L2}{2}\right)^2 + tf^3 * \frac{L1 - tf}{12} + (L1 - tf) * tf * \left(X_{cg} - \frac{tf}{2}\right)^2$$

$$+ I_{ySobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(X_{cg} - r - tf + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)^2$$

$$Ix2L = I_x * 2$$

$$Iy2L = \left(IyL + AL * (X2L_{cg} - X_{cg})^2\right) * 2$$

4.7.3.2.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{Ix2L}{L1 - Y2L_{cg}} \quad S_y = \frac{Iy2L}{X2L_{cg}}$$

4.7.3.2.5. Módulos plásticos.

Para el cálculo 1 perfil L, se hace con el ciclo anteriormente mencionado y este valor se multiplica por 2.

$$Zx2L = Zx * 2 \quad Zy2L = A * (X2L_{cg} - X_{cg}) * 2$$

4.7.3.2.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{Ix2L}{A2L}} \quad r_y = \sqrt{\frac{Iy2L}{A2L}}$$

4.7.3.2.7. Constante torsional de Saint Venant.

En el cálculo de la constante torsional, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$c = tf + 0.4 * r$$

$$J = \left((L1 + L2 - 2 * c) * \frac{tf^3}{3} + 0.237 * c^4 \right) * 2$$

4.7.3.2.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

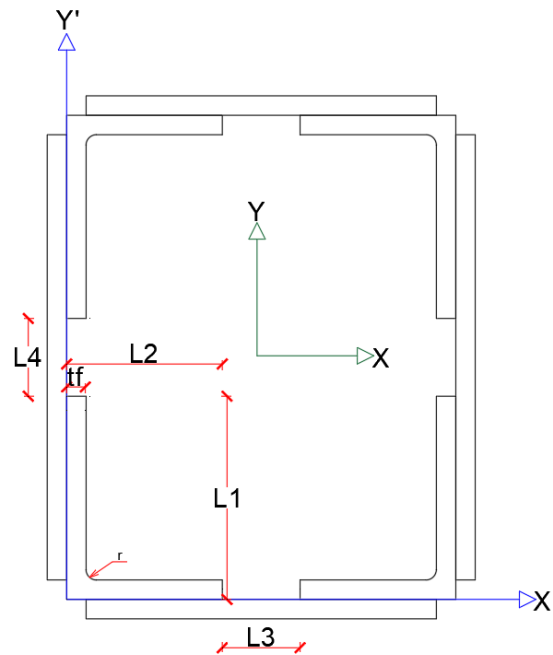
En el cálculo de las constante de alabeo, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$Cw = \left(\frac{tf^3}{36} * \left(\left(L1 - \frac{tf}{2} \right)^3 + \left(L2 - \frac{tf}{2} \right)^3 \right) \right) * 2$$

4.7.3.3. Perfiles en cajón 4L

Figura 64

Perfil tipo 4L en cajón



4.7.3.3.1. Área.

$$A = L1 * tf + (L2 - tf) * tf + r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}$$

$$A4L = 4 * A$$

4.7.3.3.2. Centroides geométricos.

$$X_{cg} = \frac{\frac{L1 * tf^2}{2} + (L2 - tf) * tf * \left(\frac{L2 - tf}{2} + tf\right) + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(tf + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)}{A}$$

$$Y_{cg} = \frac{L1^2 * \frac{tf}{2} + (L2 - tf) * \frac{tf^2}{2} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(tf + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)}{A}$$

$$X4L_{cg} = L2 + \frac{L3}{2}$$

$$Y4L_{cg} = L1 + \frac{L4}{2}$$

4.7.3.3.3. Inercias.

$$I_{xSobrante} = \frac{r^4}{3} - \pi * \frac{r^4}{16} - \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(\frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)^2$$

$$I_x = L2 * \frac{tf^3}{12} + L2 * tf * \left(Y_{cg} - \frac{tf}{2}\right)^2 + tf * \frac{(L1 - tf)^3}{12} + (L1 - tf) * tf * \left(\frac{L1 + tf}{2} - Y_{cg}\right)^2$$

$$+ I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(Y_{cg} - r - tf + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)^2$$

$$I_y = L2^3 * \frac{tf}{12} + L2 * tf * \left(-X_{cg} + \frac{L2}{2}\right)^2 + tf^3 * \frac{L1 - tf}{12} + (L1 - tf) * tf * \left(X_{cg} - \frac{tf}{2}\right)^2$$

$$+ I_{ySobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(X_{cg} - r - tf + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)^2$$

$$Ix4L = \left(I_x + A * (Y4L_{cg} - Y_{cg})^2\right) * 4$$

$$Iy4L = \left(I_y + A * (X4L_{cg} - X_{cg})^2\right) * 4$$

4.7.3.3.4. Módulos elásticos.

$$Sx4L = \frac{Ix4L}{Y4L_{cg}} \quad Sy4L = \frac{Iy4L}{X4L_{cg}}$$

4.7.3.3.5. Módulos Plásticos.

$$Zx4L = A * (Y4L_{cg} - Y_{cg}) * 4$$

$$Zy4L = A * (X4L_{cg} - X_{cg}) * 4$$

4.7.3.3.6. Radios de giro.

$$rx4L = \sqrt{\frac{Ix4L}{A4L}} \quad ry4L = \sqrt{\frac{Iy4L}{A4L}}$$

4.7.3.3.7. Constante torsional de Saint Venant.

En el cálculo de las constante torsional, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 4.

$$c = tf + 0.4 * r$$

$$J = \left((L1 + L2 - 2 * c) * \frac{tf^3}{3} + 0.237 * c^4 \right) * 4$$

4.7.3.3.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

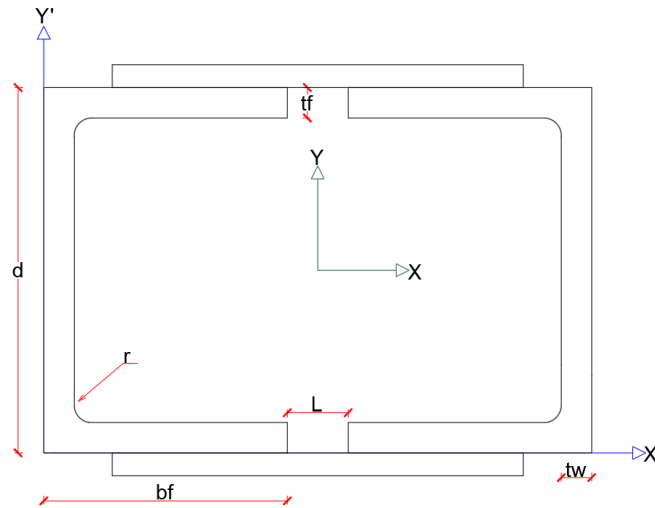
En el cálculo de las constante de alabeo, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 4.

$$Cw = \left(\frac{tf^3}{36} * \left(\left(L1 - \frac{tf}{2} \right)^3 + \left(L2 - \frac{tf}{2} \right)^3 \right) \right) * 4$$

4.7.3.4. perfiles 2CS sin pendiente enfrentados.

Figura 65

Perfil tipo 2CS enfrentados sin pendiente



4.7.3.4.1. Área.

$$A = 2 * bf * tf + (d - 2 * tf) * tw + \frac{(4 * r^2 - \pi * r^2)}{2}$$

$$A2C = 2 * A$$

4.7.3.4.2. Centroides geométricos.

X_{cg}

$$= \frac{d * \frac{tw^2}{2} + \left((bf - tw) * tf * \frac{tw + bf}{2} \right) * 2 + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(tw + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) * 2}{A}$$

$$Y_{cg} = \frac{d}{2}$$

$$X2C_{cg} = bf + \frac{L}{2} \quad Y2C_{cg} = Y_{cg}$$

4.7.3.4.3. Inercias.

$$I_{xSobrante} = \frac{r^4}{3} - \pi * \frac{r^4}{16} - \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right)^2$$

$$I_x = \left(bf * \frac{tf^3}{12} + \left(\frac{d - tf}{2} \right)^2 * bf * tf \right) * 2 + \frac{tw * (d - 2 * tf)^3}{12}$$

$$+ \left(I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{d}{2} - tf - r + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right)^2 \right) * 2$$

$$I_y = d * \frac{tw^3}{12} + (d * tw) * \left(X_{cg} - \frac{tw}{2} \right)^2$$

$$+ \left(\frac{tf * (bf - tw)^3}{12} + tf * (bf - tw) * \left(X_{cg} - \frac{bf + tw}{2} \right)^2 \right) * 2$$

$$+ \left(I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(X_{cg} - tw - r + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) \right) * 2$$

$$I_{x2C} = I_x * 2$$

$$I_{y2C} = \left(I_y + A * (X_{2C_{cg}} - X_{cg})^2 \right) * 2$$

4.7.3.4.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_{x2C}}{Y_{2C_{cg}}} \qquad S_y = \frac{I_{y2C}}{X_{2C_{cg}}}$$

4.7.3.4.5. Módulos plásticos.

$$Z_x = \left(\frac{d^2}{8} * tw + (bf - tw) * tf * \frac{d - tf}{2} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{d}{2} - tf - t + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) \right) * 2$$

$$Z_y = A * (X_{2C_{cg}} - X_{cg}) * 2$$

4.7.3.4.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_{x2C}}{A_{2C}}} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_{y2C}}{A_{2C}}}$$

4.7.3.4.7. Constante torsional de Saint Venant.

En el cálculo de las constante torsional, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$J = \frac{1}{3} * (2 * bf * tf^3 + (d - 2 * tf) * tw^3) * 2$$

4.7.3.4.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

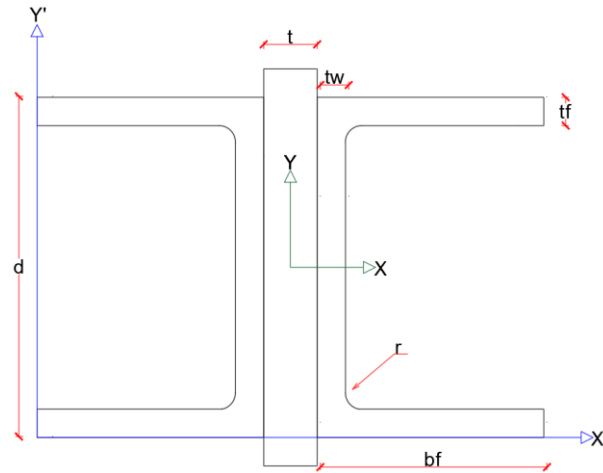
En el cálculo de las constante de alabeo, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$C_w = \frac{tf * bf^3 * (d - tf)^2}{12} * \frac{3 * bf * tf + 2 * (d - tf) * tw}{6 * bf * tf + (d - tf) * tw} * 2$$

4.7.3.5. Perfiles 2CS sin pendiente espalda con espalda.

Figura 66

Perfil tipo 2CS espalda con espalda sin pendiente



4.7.3.5.1. Área.

$$A = 2 * bf * tf + (d - 2 * tf) * tw + \frac{(4 * r^2 - \pi * r^2)}{2}$$

$$A_{2C} = 2 * A$$

4.7.3.5.2. Centroides geométricos.

X_{cg}

$$= \frac{d * \frac{tw^2}{2} + \left((bf - tw) * tf * \frac{tw + bf}{2} \right) * 2 + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(tw + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) * 2}{A}$$

$$Y_{cg} = \frac{d}{2}$$

$$X2C_{cg} = bf + \frac{t}{2} \quad Y2C_{cg} = Y_{cg}$$

4.7.3.5.3. Inercias.

$$I_{xSobrante} = \frac{r^4}{3} - \pi * \frac{r^4}{16} - \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right)^2$$

$$I_x = \left(bf * \frac{tf^3}{12} + \left(\frac{d - tf}{2} \right)^2 * bf * tf \right) * 2 + \frac{tw * (d - 2 * tf)^3}{12}$$

$$+ \left(I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{d}{2} - tf - r + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right)^2 \right) * 2$$

$$I_y = d * \frac{tw^3}{12} + (d * tw) * \left(X_{cg} - \frac{tw}{2} \right)^2$$

$$+ \left(\frac{tf * (bf - tw)^3}{12} + tf * (bf - tw) * \left(X_{cg} - \frac{bf + tw}{2} \right)^2 \right) * 2$$

$$+ \left(I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(X_{cg} - tw - r + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right)^2 \right) * 2$$

$$I_x2C = I_x * 2$$

$$I_y2C = \left(I_yC + A * \left(X_{cg} + \frac{t}{2} \right)^2 \right) * 2$$

4.7.3.5.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x2C}{Y2C_{cg}} \quad S_y = \frac{I_y2C}{X2C_{cg}}$$

4.7.3.5.5. Módulos plásticos.

$$Zx = \left(\frac{d^2}{8} * tw + (bf - tw) * tf * \frac{d - tf}{2} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{d}{2} - tf - t + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) \right) * 2$$

$$Zy = A * \left(X_{cg} + \frac{t}{2} \right) * 2$$

4.7.3.5.6. Radios de giro.

$$rx = \sqrt{\frac{I_x 2C}{A 2C}} \qquad ry = \sqrt{\frac{I_y 2C}{A 2C}}$$

4.7.3.5.7. Constante torsional de Saint Venant.

En el cálculo de las constante torsional, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$J = \frac{1}{3} * (2 * bf * tf^3 + (d - 2 * tf) * tw^3) * 2$$

4.7.3.5.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

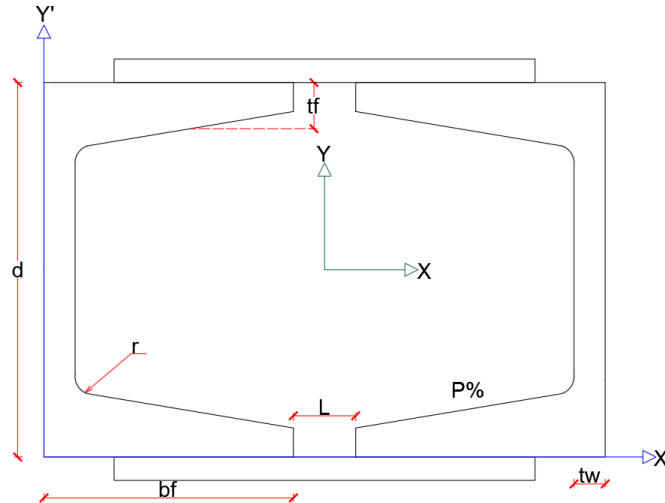
En el cálculo de las constante de alabeo, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$Cw = \frac{tf * bf^3 * (d - tf)^2}{12} * \frac{3 * bf * tf + 2 * (d - tf) * tw}{6 * bf * tf + (d - tf) * tw} * 2$$

4.7.3.6. Perfiles 2C con pendiente enfrentados.

Figura 67

Perfil tipo 2C enfrentados con pendiente



4.7.3.6.1. Área de una aleta.

$$A_{aleta} = (bf - tw) * (tf - h2) + \frac{(bf - tw) * h1}{2}$$

4.7.3.6.2. Centroide de una aleta.

$$X_{aleta} = \frac{\frac{(bf - tw)^2}{2} * (tf - h2) + \frac{(bf - tw)^2 * h1}{6}}{A_{aleta}}$$

$$Y_{aleta} = \frac{\frac{(bf - tw) * (tf - h2)^2}{2} + \frac{(bf - tw) * h1}{2} * \left(tf - h2 + \frac{h1}{3} \right)}{A_{aleta}}$$

4.7.3.6.3. Inercias de una aleta.

$$I_{X_{aleta}} = \frac{(bf - tw) * (tf - h2)^3}{24} + (bf - tw) * (tf - h2) * \left(Y_{aleta} - \frac{tf - h2}{2} \right)^2$$

$$+ \frac{(bf - tw) * h1^3}{36} + \frac{(bf - tw) * h1}{2} * \left(tf - h2 + \frac{h1}{3} - y_{aleta} \right)^2$$

$$I_{y_{Aleta}} = \frac{(bf - tw)^3 * (tf - h2)}{12} + (bf - tw) * (tf - h2) * \left(X_{aleta} - \frac{bf - tw}{2}\right)^2$$

$$+ \frac{(bf - tw)^3 * h1}{36} + \frac{(bf - tw) * h1}{2} * \left(X_{aleta} - \frac{bf - tw}{3}\right)^2$$

4.7.3.6.4. Área.

$$A = A_{aleta} * 2 + d * tw$$

$$A2C = A * 2$$

4.7.3.6.5. Centroide geométrico.

$$X_{cg} = \frac{(X_{aleta}) * A_{Aleta} * 2 + d * tw^2 / 2}{A}$$

$$Y_{cg} = \frac{d}{2}$$

$$X2C_{cg} = bf + \frac{L}{2} \quad Y2C_{cg} = Y_{cg}$$

4.7.3.6.6. Inercias.

$$I_x = \left(I_{x_{Aleta}} + A_{Aleta} * \left(\frac{d}{2} - Y_{aleta} \right)^2 \right) * 2 + \frac{tw * d^3}{12}$$

$$I_y = \left(I_{y_{Aleta}} + A_{Aleta} * (X_{aleta} + tw - X_{cg})^2 \right) * 2 + \frac{tw^3 * d}{12} + d * tw * \left(X_{cg} - \frac{tw}{2} \right)^2$$

$$I_x2C = I_x * 2$$

$$I_y2C = \left(I_y + A * (X2C_{cg} - X_{cg})^2 \right) * 2$$

4.7.3.6.7. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x2C}{Y2C_{cg}}$$

$$S_y = \frac{I_y2C}{X2C_{cg}}$$

4.7.3.6.8. Módulos plásticos.

$$Zx = \left(A_{Aleta} * \left(\frac{d}{2} - Y_{aleta} \right) + \frac{d^2}{8} * tw \right) * 4$$

$$Zy = A * (X2C_{cg} - X_{cg}) * 2$$

4.7.3.6.9. Radios de giro.

$$rx = \sqrt{\frac{Ix2C}{A2C}} \quad ry = \sqrt{\frac{Iy2C}{A2C}}$$

4.7.3.6.10. Constante torsional de Saint Venant.

En el cálculo de las constante torsional, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$\alpha_3 = -0.0908 + 0.2621 * \frac{tw}{tf} + 0.1231 * \frac{r}{tf} - 0.0752 * tw * \frac{r}{tf} - 0.0945 * \frac{tw^2}{tf^2}$$

$$D_3 = 2 * (3 * r + tw + tf) - \sqrt{2 * (2 * r + tw) * (2 * r + tf)}$$

$$J = \left(\frac{2 * bf * tf^3 + (d - 2 * tf) * tw^3}{3} + 2 * \alpha_3 * D_3^4 - 2 * 0.105 * tf^4 \right) * 2$$

4.7.3.6.11. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

En el cálculo de las constante de alabeo, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

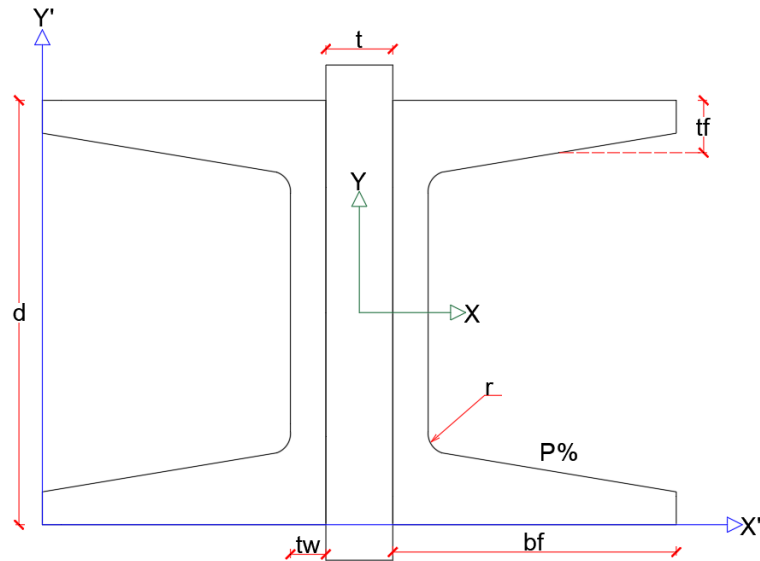
$$d' = d - tf \quad b' = bf - \frac{tw}{2} \quad \alpha_1 = \frac{1}{2 + d' * \frac{tw}{3 * b' * tf}}$$

$$Cw = d'^2 * b'^3 * tf * \left(\frac{1 - 3 * \alpha_1}{6} + \frac{\alpha_1^2}{2} * \left(1 + \frac{d' * tw}{6 * b' * tf} \right) \right) * 2$$

4.7.3.7. Perfiles 2C con pendiente espalda con espalda.

Figura 68

Perfil tipo 2C espalda con espalda con pendiente



Recordando.

4.7.3.7.1. Área de una aleta.

$$A_{aleta} = (bf - tw) * (tf - h2) + \frac{(bf - tw) * h1}{2}$$

4.7.3.7.2. Centroide geométrico de una aleta.

$$X_{aleta} = \frac{\frac{(bf - tw)^2}{2} * (tf - h2) + \frac{(bf - tw)^2 * h1}{6}}{A_{aleta}}$$

$$Y_{aleta} = \frac{\frac{(bf - tw) * (tf - h2)^2}{2} + \frac{(bf - tw) * h1}{2} * \left(tf - h2 + \frac{h1}{3} \right)}{A_{aleta}}$$

4.7.3.7.3. Inercias de una aleta.

$$I_{X_{aleta}} = \frac{(bf - tw) * (tf - h2)^3}{12} + (bf - tw) * (tf - h2) * \left(Y_{aleta} - \frac{tf - h2}{2} \right)^2$$

$$+ \frac{(bf - tw) * h1^3}{36} + \frac{(bf - tw) * h1}{2} * \left(tf - h2 + \frac{h1}{3} - y_{aleta} \right)^2$$

$$I_{y_{Aleta}} = \frac{(bf - tw)^3 * (tf - h2)}{12} + (bf - tw) * (tf - h2) * \left(X_{aleta} - \frac{bf - tw}{4}\right)^2$$

$$+ \frac{(bf - tw)^3 * h1}{36} + \frac{(bf - tw) * h1}{2} * \left(X_{aleta} - \frac{bf - tw}{6}\right)^2$$

4.7.3.7.4. Área.

$$A = A_{aleta} * 2 + d * tw$$

$$A2C = A * 2$$

4.7.3.7.5. Centroides geométricos.

$$X_{cg} = \frac{(X_{aleta}) * A_{Aleta} * 2 + d * tw^2 / 2}{A}$$

$$Y_{cg} = \frac{d}{2}$$

$$X2C_{cg} = bf + \frac{t}{2} \quad Y2C_{cg} = Y_{cg}$$

4.7.3.7.6. Inercias.

$$I_x = \left(I_{x_{Aleta}} + A_{Aleta} * \left(\frac{d}{2} - Y_{aleta} \right)^2 \right) * 2 + \frac{tw * d^3}{12}$$

$$I_y = \left(I_{y_{Aleta}} + A_{Aleta} * (X_{aleta} + tw - X_{cg})^2 \right) * 2 + \frac{tw^3 * d}{12} * d * tw * \left(X_{cg} - \frac{tw}{2} \right)^2$$

$$I_x2C = I_x * 2$$

$$I_y2C = \left(I_y + A * \left(X_{cg} + \frac{t}{2} \right)^2 \right) * 2$$

4.7.3.7.7. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x2C}{Y2C_{cg}}$$

$$S_y = \frac{I_y2C}{X2C_{cg}}$$

4.7.3.7.8. Módulos plásticos.

$$Zx = \left(A_{Aleta} * \left(\frac{d}{2} - Y_{aleta} \right) + \frac{d^2}{8} * tw \right) * 4$$

$$Zy = A * \left(X_{cg} + \frac{t}{2} \right) * 2$$

4.7.3.7.9. Radios de giro.

$$rx = \sqrt{\frac{Ix2C}{A2C}} \quad ry = \sqrt{\frac{Iy2C}{A2C}}$$

4.7.3.7.10. Constante torsional de Saint Venant.

En el cálculo de las constante torsional, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$\alpha_3 = -0.0908 + 0.2621 * \frac{tw}{tf} + 0.1231 * \frac{r}{tf} - 0.0752 * tw * \frac{r}{tf} - 0.0945 * \frac{tw^2}{tf^2}$$

$$D_3 = 2 * (3 * r + tw + tf) - \sqrt{2 * (2 * r + tw) * (2 * r + tf)}$$

$$J = \left(\frac{2 * bf * tf^3 + (d - 2 * tf) * tw^3}{3} + 2 * \alpha_3 * D_3^4 - 2 * 0.105 * tf^4 \right) * 2$$

4.7.3.7.11. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

En el cálculo de las constante de alabeo, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

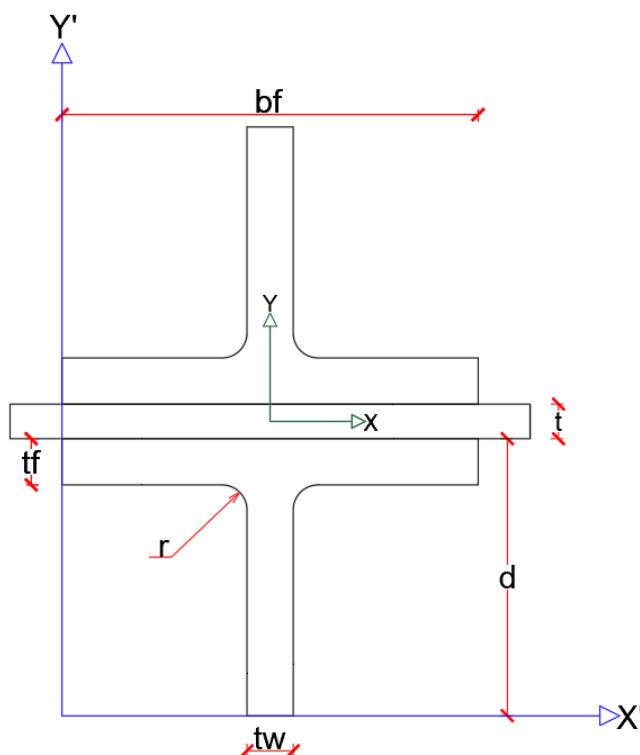
$$d' = d - tf \quad b' = bf - \frac{tw}{2} \quad \alpha_1 = \frac{1}{2 + d' * \frac{tw}{3 * b' * tf}}$$

$$Cw = d'^2 * b'^3 * tf * \left(\frac{1 - 3 * \alpha_1}{6} + \frac{\alpha_1^2}{2} * \left(1 + \frac{d' * tw}{6 * b' * tf} \right) \right) * 2$$

4.7.3.8. Perfiles 2T sin pendiente patín con patín

Figura 69

Perfil tipo 2T patín con patín sin pendiente



4.7.3.8.1. Área.

$$A = tf * bf + (d - tf) * tw + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * 2$$

$$A_{2T} = 2 * A$$

4.7.3.8.2. Centro geométrico.

$$X_{cg} = \frac{bf}{2}$$

Y_{cg}

$$= \frac{bf * \frac{tf^2}{2} + (d - tf) * tw * \left(\frac{d - tf}{2} + tf \right) + \left(\left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(tf + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) \right) * 2}{A}$$

$$X2T_{cg} = X_{cg} \quad Y2T_{cg} = d + \frac{t}{2}$$

4.7.3.8.3. Inercias.

Recordando el valor de I_x sobrante

$$I_{xSobrante} = \frac{r^4}{3} - \pi * \frac{r^4}{16} - \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right)^2$$

$$I_{xT} = \frac{bf * tf^3}{12} + bf * tf * \left(Y_{cg} - \frac{tf}{2} \right)^2 + \frac{(d - tf)^3 * tw}{12} + (d - tf) * tw$$

$$* \left(d - Y_{cg} - \frac{d - tf}{2} \right)^2$$

$$I_x = I_{xT} + 2 * \left(I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(Y_{cg} - tf - r + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right)^2 \right)$$

$$I_{yT} = \frac{tf * bf^3}{12} + (d - tf) * \frac{tw^3}{12}$$

$$I_y = I_{yT} + 2 * \left(I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{tw}{2} + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) \right)$$

$$I_{x2T} = \left(I_x + A * \left(Y_{cg} + \frac{t}{2} \right)^2 \right) * 2$$

$$I_{y2T} = I_y * 2$$

4.7.3.8.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_{x2T}}{Y2T_{cg}}$$

$$S_y = \frac{I_{y2T}}{X2T_{cg}}$$

4.7.3.8.5. Módulos plásticos.

$$Z_y = \left(\frac{bf^2}{8} * tf + (d - tf) * \frac{tw^2}{8} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{tw}{2} + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) \right) * 4$$

$$Z_x = A * \left(Y_{cg} + \frac{t}{2} \right) * 2$$

4.7.3.8.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x 2T}{A 2T}} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y 2T}{A 2T}}$$

4.7.3.8.7. Constante torsional de Saint Venant.

En el cálculo de las constante torsional, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$\alpha = -0.042 + 0.2204 * \frac{tw}{tf} + 0.1355 * \frac{r}{tf} - 0.0865 * tw * \frac{r}{tf^2} - 0.0725 * \frac{tw^2}{tf^2}$$

$$D = \frac{\left((tf + r)^2 + tw * \left(r + \frac{tw}{4} \right) \right)}{2 * r + tf}$$

$$J = \left(\frac{bf * tf^3 + (d - tf) * tw^3}{3} + \alpha * D^4 - 2 * 0.105 * tf^4 - 0.105 * tw^4 \right) * 2$$

4.7.3.8.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

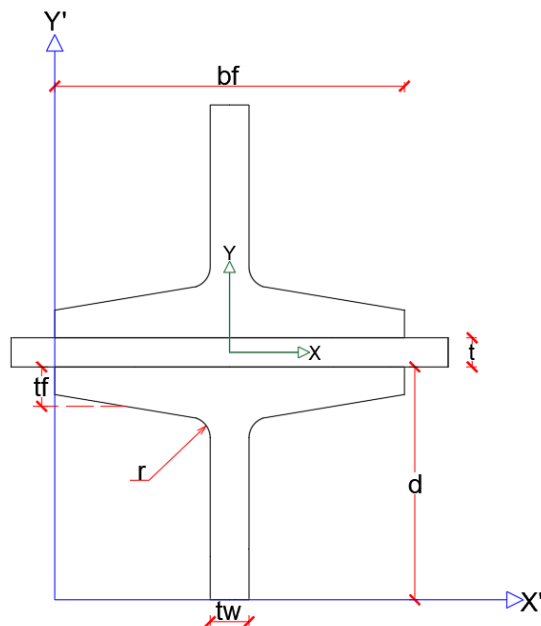
En el cálculo de las constante de alabeo, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$C_w = \left(\frac{tf^3 * bf^3}{144} + \frac{1}{36} * \left(d - \frac{tf}{2} \right)^3 * tw^3 \right) * 2$$

4.7.3.9. Perfiles 2T con pendiente unidos patín con patín.

Figura 70

Perfil tipo 2TS patín con patín con pendiente



Recordando los cálculos de la aleta.

4.7.3.9.1. Área de una aleta.

$$A_{aleta} = \frac{bf - tw}{2} * (tf - h2) + \frac{(bf - tw) * h1}{4}$$

4.7.3.9.2. Cálculo centroide de una aleta.

$$X_{aleta} = \frac{\frac{(bf - tw)^2}{8} * (tf - h2) + \frac{(bf - tw)^2 * h1}{24}}{A_{aleta}}$$

$$Y_{aleta} = \frac{\frac{(bf - tw) * (tf - h2)^2}{4} + \frac{(bf - tw) * h1}{4} * \left(tf - h2 + \frac{h1}{3} \right)}{A_{aleta}}$$

4.7.3.9.3. Inercias de una aleta.

$$I_{x_{aleta}} = \frac{(bf - tw) * (tf - h2)^3}{24} + \frac{(bf - tw) * (tf - h2)}{2} * \left(Y_{aleta} - \frac{tf - h2}{2} \right)^2$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{(bf - tw) * h1^3}{72} + \frac{(bf - tw) * h1}{4} * \left(tf - h2 + \frac{h1}{3} - y_{aleta} \right)^2 \\
I_{y_{Aleta}} & = \frac{(bf - tw)^3 * (tf - h2)}{96} + \frac{(bf - tw) * (tf - h2)}{2} * \left(X_{aleta} - \frac{bf - tw}{4} \right)^2 \\
& + \frac{(bf - tw)^3 * h1}{288} + \frac{(bf - tw) * h1}{4} * \left(X_{aleta} - \frac{bf - tw}{6} \right)^2
\end{aligned}$$

4.7.3.9.4. Área.

$$A = A_{aleta} * 2 + d * tw$$

$$A_{2T} = 2 * A$$

4.7.3.9.5. Centroide geométrico.

$$X_{cg} = \frac{bf}{2}$$

$$Y_{cg} = \frac{Y_{Aleta} * A_{Aleta} * 2 + \frac{d^2 * tw}{2}}{A}$$

$$X_{2T_{cg}} = X_{cg} \quad Y_{2T_{cg}} = d + \frac{t}{2}$$

4.7.3.9.6. Inercias.

$$I_x = \left(I_{x_{Aleta}} + A_{Aleta} * (Y_{cg} - Y_{Aleta})^2 \right) * 2 + tw * \frac{d^3}{12} + tw * d * \left(\frac{d}{2} - Y_{cg} \right)^2$$

$$I_y = \left(I_{y_{Aleta}} + A_{Aleta} * \left(X_{Aleta} + \frac{tw}{2} \right)^2 \right) * 2 + \frac{tw^3 * d}{12}$$

$$I_{x_{2T}} = \left(I_x + A * \left(Y_{cg} + \frac{t}{2} \right)^2 \right) * 2$$

$$I_{y_{2T}} = 2 * I_y$$

4.7.3.9.7. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_{x_{2T}}}{Y_{2T_{cg}}}$$

$$S_y = \frac{I_{y_{2T}}}{X_{2T_{cg}}}$$

4.7.3.9.8. Módulos plásticos.

$$Zy = \left(\frac{bf^2}{8} * (tf - h2) + h1 * \frac{bf - tw}{4} + \left(\frac{bf - tw}{6} + \frac{tw}{2} \right) + (d - (tf - h2)) * \frac{tw^2}{8} \right) * 4$$

$$Zx = A * \left(Y_{cg} + \frac{t}{2} \right) * 2$$

4.7.3.9.9. Radios de giro.

$$rx = \sqrt{\frac{Ix2T}{A2T}} \quad ry = \sqrt{\frac{Iy2T}{A2T}}$$

4.7.3.9.10. Constante torsional de Saint Venant.

En el cálculo de las constante torsional, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$\alpha = -0.042 + 0.2204 * \frac{tw}{tf} + 0.1355 * \frac{r}{tf} - 0.0865 * tw * \frac{r}{tf^2} - 0.0725 * \frac{tw^2}{tf^2}$$

$$D = \frac{\left((tf + r)^2 + tw * \left(r + \frac{tw}{4} \right) \right)}{2 * r + tf}$$

$$J = \left(\frac{(bf * tf^3 + (d - tf) * tw^3)}{3} + \alpha * D^4 - 2 * 0.105 * tf^4 - 0.105 * tw^4 \right) * 2$$

4.7.3.9.11. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

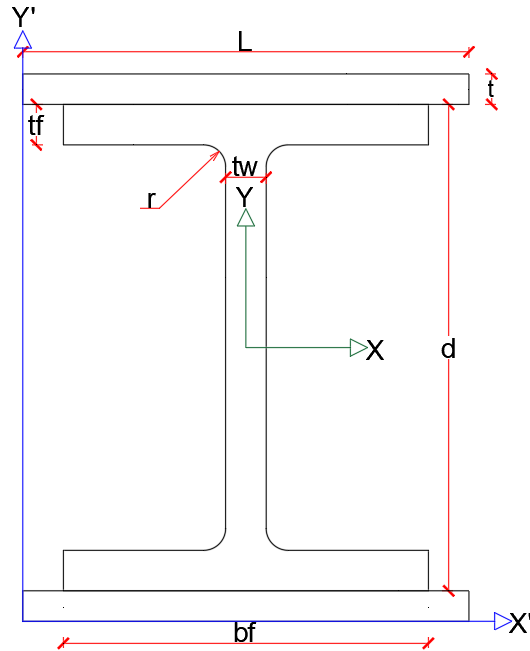
En el cálculo de las constante de alabeo, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$Cw = \left(\frac{tf^3 * bf^3}{144} + \frac{1}{36} * \left(d - \frac{tf}{2} \right)^3 * tw^3 \right) * 2$$

4.7.3.10. Perfiles en I reforzado con placas en las aletas.

Figura 71

Perfil tipo I sin pendiente con placas de refuerzo



4.7.3.10.1. Área.

$$A = 2 * bf * tf + (d - 2 * tf) * tw + 4 * r^2 - \pi * r^2$$

$$A_{IR} = A + L * t * 2$$

4.7.3.10.2. Centroides geométricos.

$$X_{cg} = \frac{bf}{2} \qquad Y_{cg} = \frac{d}{2}$$

$$Y_{IR_{cg}} = \frac{d}{2} + t$$

Para el centroide geométrico en X dependerá de cuál es la longitud que predomina entre la placa y la longitud del patín, si la placa es más grande que b_f , entonces el centroide será referenciado en L, es decir:

$$X_{IR_{cg}} = \frac{L}{2}$$

Si pasa lo contrario, si b_f es más largo que la placa el centroide en dirección X estará referenciado desde b_f .

$$XIR_{cg} = \frac{bf}{2}$$

4.7.3.10.3. Inercias.

$$I_{x_{rectangulos}} = \left(\frac{bf * tf^3}{12} + \left(\frac{d}{2} - \frac{tf}{2} \right)^2 * tf * bf \right) * 2 + \frac{tw * (d - 2 * tf)^3}{12}$$

$$I_{x_{Sobrante}} = \frac{r^4}{3} - \pi * \frac{r^4}{16} - \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right)^2$$

$$I_{x_{Total}} = I_{x_{rectangulos}} + \left(I_{x_{Sobrante}} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{d}{2} - tf - r + \frac{2 * r}{3(4 - \pi)} \right)^2 \right) * 4$$

$$I_{y_{rectangulos}} = \left(\frac{tf * tb}{12} \right) * 2 + \frac{(d - 2 * tf) * tw^3}{12}$$

$$I_{y_{Total}} = I_{y_{rectangulos}} + \left(I_{y_{Sobrante}} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{tw}{2} + r - \frac{2 * r}{3(4 - \pi)} \right)^2 \right) * 4$$

$$I_{x_{IR}} = I_{x_{Total}} + 2 * \left(\frac{L * t^3}{12} + L * t * \left(\frac{d}{2} + \frac{t}{2} \right)^2 \right)$$

$$I_{y_{IR}} = I_{y_{Total}} + 2 * \left(\frac{L^3 * t}{12} \right)$$

4.7.3.10.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{YIR_{cg}} \qquad S_y = \frac{I_y}{XIR_{cg}}$$

4.7.3.10.5. Módulos plásticos.

$$Z_{xI} = \left(bf * tf * \frac{d - tf}{2} + tw * \frac{(d/2 - tf)^2}{2} \right) * 2$$

$$Z_{xS} = \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{d}{2} - tf - r + \frac{r * 2}{3 * (4 - \pi)} \right) * 4$$

$$Zx_{placa} = L * t * \left(\frac{d}{2} + \frac{t}{2} \right) * 2$$

$$Zx = ZxI + ZxS + Zx_{placa}$$

$$ZyI = \left(\frac{bf^2}{8} * tf + \frac{tw^2}{8} * \left(\frac{d}{2} - tf \right) \right) * 4$$

$$ZyS = \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{tw}{2} + r + \frac{r * 2}{3 * (4 - \pi)} \right)$$

$$ZY_{placa} = \frac{L}{2} * t * \left(\frac{L}{4} \right) * 4$$

$$Zy = ZyI + ZyS + Zy_{placa}$$

4.7.3.10.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_{x_{IR}}}{A_{IR}}} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_{y_{IR}}}{A_{IR}}}$$

4.7.3.10.7. Constante torsional de Saint Venant.

En este caso al ser un reforzamiento con una placa de manera continua en toda su longitud, el cálculo se diferencia en 2, cuando la placa de refuerzo es igual o mayor que la longitud del patín y cuando es menor que este.

Así que dependiendo de la situación la interpretación de la ecuación cambiará de la siguiente forma.

$$t_{Total} = tf + t$$

$$H_{Total} = d + 2 * t$$

$$\alpha_1 = -0.042 + 0.2204 * \frac{tw}{t_{Total}} + 0.1355 * \frac{r}{t_{Total}} - 0.0865 * tw * \frac{r}{t_{Total}^2} - 0.0725 * \frac{tw^2}{t_{Total}^2}$$

$$D_1 = \frac{((t_{Total} + r)^2 + tw * (r + tw/4))}{2 * r + t_{Total}}$$

Si $bf \leq L$

$$J = \frac{2 * bf * t_{Total}^3 + (H_{Total} - 2 * t_{Total}) * tw^3}{3} + 2 * \alpha_1 * D_1^4 - 4 * 0.105 * t_{Total}^4$$

$$+ \frac{2 * (l - bf + t^3)}{3}$$

Si $bf > L$

$$J = \frac{2 * bf * t_{Total}^3 + (H_{Total} - 2 * t_{Total}) * tw^3}{3} + 2 * \alpha_1 * D_1^4 - 4 * 0.105 * t_{Total}^4$$

$$+ \frac{2 * (bf - l + tf^3)}{3}$$

4.7.3.10.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

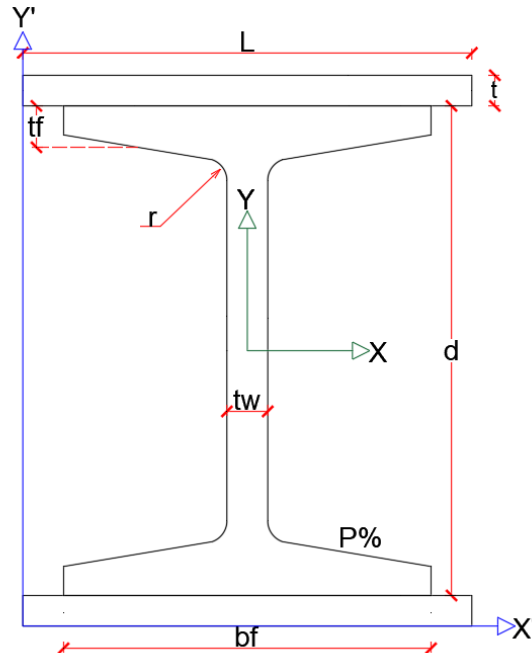
El cálculo se hará con la fórmula de perfiles en I sin refuerzo, pero su cambio radica en que se usa la inercia y el brazo de toda la sección, de esta manera se tiene en cuenta la sección en I con placas.

$$C_w = (d + t)^2 * \frac{I_{yIR}}{4}$$

4.7.3.11. Perfiles en I con pendiente reforzado con placas en las aletas

Figura 72

Perfil tipo IS con pendiente con placas de refuerzo



4.7.3.11.1. Área aleta

$$A_{aleta} = \frac{bf - tw}{2} * (tf - h2) + \frac{(bf - tw) * h1}{4}$$

4.7.3.11.2. Centroide geométrico aleta

$$X_{aleta} = \frac{\frac{(bf - tw)^2}{8} * (tf - h2) + \frac{(bf - tw)^2 * h1}{24}}{A_{aleta}}$$

$$Y_{aleta} = \frac{\frac{(bf - tw) * (tf - h2)^2}{4} + \frac{(bf - tw) * h1}{4} * \left(tf - h2 + \frac{h1}{3} \right)}{A_{aleta}}$$

4.7.3.11.3. Inercias de una aleta

$$I_{x_{Aleta}} = \frac{(bf - tw) * (tf - h2)^3}{24} + \frac{(bf - tw) * (tf - h2)}{2} * \left(Y_{aleta} - \frac{tf - h2}{2} \right)^2$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{(bf - tw) * h1^3}{72} + \frac{(bf - tw) * h1}{4} * \left(tf - h2 + \frac{h1}{3} - y_{aleta} \right)^2 \\
I_{y_{Aleta}} = & \frac{(bf - tw)^3 * (tf - h2)}{96} + \frac{(bf - tw) * (tf - h2)}{2} * \left(X_{aleta} - \frac{bf - tw}{4} \right)^2 \\
& + \frac{(bf - tw)^3 * h1}{288} + \frac{(bf - tw) * h1}{4} * \left(X_{aleta} - \frac{bf - tw}{6} \right)^2
\end{aligned}$$

4.7.3.11.4. Área.

$$A = A_{aleta} * 4 + d * tw$$

$$A_{IR} = A + L * t * 2$$

4.7.3.11.5. Centroide geométrico.

$$X_{cg} = \frac{bf}{2}$$

$$Y_{cg} = \frac{d}{2}$$

$$Y_{IR_{cg}} = \frac{d}{2} + t$$

Para el centroide geométrico en X dependerá de cuál es la longitud que predomina entre la placa y la longitud del patín, si la placa es más grande que b_f , entonces el centroide será referenciado en L, es decir:

$$X_{IR_{cg}} = \frac{L}{2}$$

Si pasa lo contrario, si b_f es más largo que la placa el centroide en dirección X estará referenciado desde b_f .

$$X_{IR_{cg}} = \frac{bf}{2}$$

4.7.3.11.6. Inercias.

$$I_x = \left(I_{x_{Aleta}} + A_{aleta} * \left(\frac{d}{2} - Y_{aleta} \right)^2 \right) * 4 + tw * \frac{d^3}{12}$$

$$I_y = \left(I_{y_{Aleta}} + A_{aleta} * \left(X_{aleta} + \frac{tw}{2} \right)^2 \right) * 4 + tw^3 * \frac{d}{12}$$

$$I_{x_{IR}} = I_x + 2 * \left(\frac{L * t^3}{12} + L * t * \left(\frac{d}{2} + \frac{t}{2} \right)^2 \right)$$

$$I_{y_{IR}} = I_y + 2 * \left(\frac{L^3 * t}{12} \right)$$

4.7.3.11.7. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{IR_{cg}}} \quad S_y = \frac{I_y}{X_{IR_{cg}}}$$

4.7.3.11.8. Módulos plásticos.

$$Z_x = \left(A_{aleta} * \left(\frac{d}{2} - Y_{aleta} \right) * 2 + \frac{d^2}{8} * tw + L * t * \left(\frac{d}{2} + \frac{t}{2} \right) \right) * 2$$

$$Z_y = \left(\frac{tw^2 * d}{8} + \left(A_{aleta} * \left(X_{aleta} + \frac{tw}{2} \right) \right) * 2 + \frac{L^2}{8} * t \right) * 2$$

4.7.3.11.9. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_{x_{IR}}}{A_{IR}}} \quad r_y = \sqrt{\frac{I_{y_{IR}}}{A_{IR}}}$$

4.7.3.11.10. Constante torsional de Saint Venant.

En este caso al ser un reforzamiento con una placa de manera continua en toda su longitud, el cálculo se diferencia en 2, cuando la placa de refuerzo es igual o mayor que la longitud del patín y cuando es menor que este.

Así que dependiendo de la situación la interpretación de la ecuación cambiará de la siguiente forma.

$$t_{Total} = tf + t$$

$$H_{Total} = d + 2 * t$$

Si $bf \leq L$

$$\begin{aligned}
 J = & 2 * (bf - 0.63 * t_{Total}) \frac{t_{Total}^3}{3} + (d - 2 * t_{total}) * \frac{tw^3}{3} + 2 * \frac{tw}{t_{Total}} \\
 & * \left(0.145 + 0.1 * \frac{r}{t_{Total}} \right) * \left(\frac{\left(r + \frac{tw}{2} \right)^2 + (r + t_{Total})^2 - r^2}{2 * r + t_{Total}} \right)^4 + \frac{2}{3} \\
 & * ((L - bf) * t^3)
 \end{aligned}$$

Si $bf > L$

$$\begin{aligned}
 J = & 2 * (L - 0.63 * t_{Total}) \frac{t_{Total}^3}{3} + (d - 2 * t_{total}) * \frac{tw^3}{3} + 2 * \frac{tw}{t_{Total}} \\
 & * \left(0.145 + 0.1 * \frac{r}{t_{Total}} \right) * \left(\frac{\left(r + \frac{tw}{2} \right)^2 + (r + t_{Total})^2 - r^2}{2 * r + t_{Total}} \right)^4 + \frac{2}{3} \\
 & * ((bf - L) * t^3)
 \end{aligned}$$

4.7.3.11.11. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

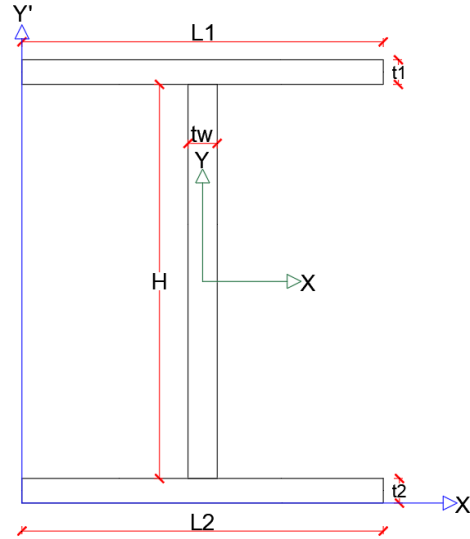
El cálculo se hará con la fórmula de perfiles en I sin refuerzo, pero su cambio radica en que se usa la inercia y el brazo de toda la sección, de esta manera se tiene en cuenta la sección en I con placas.

$$Cw = (d + t)^2 * \frac{Iy_{IR}}{4}$$

4.7.3.12. Perfiles en I armado con placas.

Figura 73

Perfil tipo I hecho con placas



4.7.3.12.1. Área.

$$A = H * tw + L2 * t2 + L1 * t1$$

4.7.3.12.2. Centro geométrico.

Para el centroide en dirección X el punto de referencia cambia, dependiendo de la longitud de las 2 placas, si L1 es mayor que L2, el centroide es:

$$X_{cg} = \frac{L1}{2}$$

Si la longitud L2 es mayor que L1, el centro es:

$$X_{cg} = \frac{L2}{2}$$

$$Y_{cg} = \frac{L2 * t2^2 / 2 + H * tw * (t2 + H / 2) + L1 * t1 * (t2 + H + t1 / 2)}{A}$$

4.7.3.12.3. Inercias.

$$I_x = L1 * \frac{t1^3}{12} + L1 * t1 * \left(H + \frac{t1}{2} + t2 - Y_{cg} \right)^2 + L2 * \frac{t2^3}{12} + L2 * t2 * \left(Y_{cg} - \frac{t2}{2} \right)^2 + tw * \frac{H^3}{12} \\ + H * tw * \left(Y_{cg} - t2 - \frac{H}{2} \right)^2$$

$$I_y = L1^3 * \frac{t1}{12} + L2^3 * \frac{t2}{12} + tw^3 * \frac{H}{12}$$

4.7.3.12.4. Módulo elástico

Para el módulo elástico en dirección X, el brazo dependerá, ya que es el mayor brazo a la fibra que este a compresión, es decir:

Si $Y_{cg} > (H + t1 + t2 - Y_{cg})$

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{cg}}$$

Si $Y_{cg} < (H + t1 + t2 - Y_{cg})$

$$S_x = \frac{I_x}{(H + t1 + t2 - Y_{cg})}$$

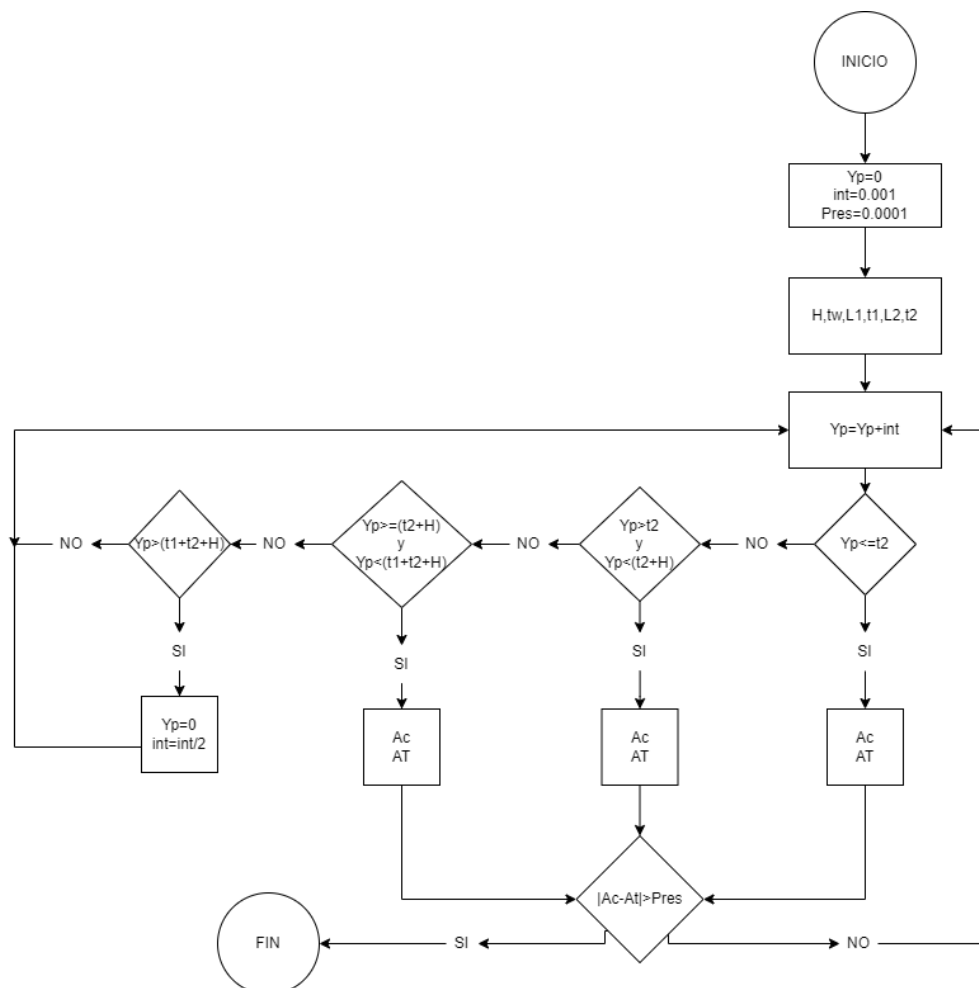
$$S_y = \frac{I_y}{X_{cg}}$$

4.7.3.12.5. Módulos plásticos.

Para el módulo plástico en dirección X, dependerá de la ubicación del centro plástico (X_p), el cual se definirá con el siguiente diagrama de flujo, ya que se calculará mediante un ciclo. Para el módulo plástico en Y, no habría ese inconveniente.

Figura 74

Diagrama de flujo para el cálculo de Y_p para perfiles I armados



Donde las variables de entrada son H , tw , $L1$, $t1$, $L2$, $t2$ y en cada ciclo se va incrementando el valor de Y_p , cambiando así sistemáticamente los valores de área a compresión (AC) y área a tensión (AT) y hasta que no encuentre un valor donde la resta de áreas sea menor que la precisión no saldrá del ciclo, siempre entrando en el rango correspondiente.

$$Z_y = \left(\frac{L1^2}{8} * t1 + \frac{L2^2}{8} * t2 + H * \frac{tw^2}{8} \right) * 2$$

4.7.3.12.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

4.7.3.12.7. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = \frac{1}{3}(L1 * t1^3 + L2 * t2^3 + tw^3 * H)$$

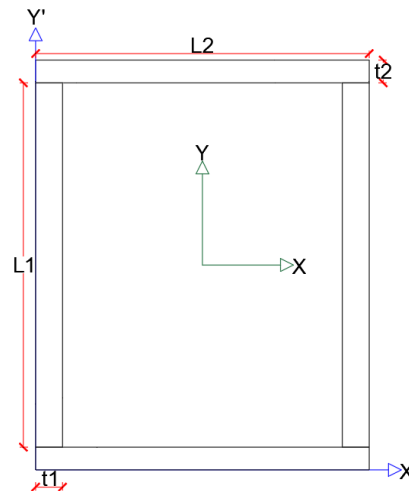
4.7.3.12.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = \left(H + \frac{t1 + t2}{2} \right) * \frac{L1^3 * \frac{t1}{12} * L2^3 * \frac{t2}{12}}{I_y}$$

4.7.3.13. Perfiles tubulares armado con placas.

Figura 75

Perfil tipo TUBULAR hecho con placas



4.7.3.13.1. Área.

$$A = (L1 * t1 + L2 * t2) * 2$$

4.7.3.13.2. Centroide geométrico.

$$X_{cg} = \frac{L2}{2} \qquad Y_{cg} = \frac{L1 + t2 * 2}{2}$$

4.7.3.13.3. Inercias.

$$I_x = \left(L2 * \frac{t2^3}{12} + L2 * t2 * \left(Y_{cg} - \frac{t2}{2} \right)^2 + t1 * \frac{L1^3}{12} \right) * 2$$

$$I_y = \left(t2 * \frac{L2^3}{12} + L1 * \frac{t1^3}{12} + L1 * t1 * \left(X_{cg} - \frac{t1}{2} \right)^2 \right) * 2$$

4.7.3.13.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{cg}} \qquad S_y = \frac{I_y}{X_{cg}}$$

4.7.3.13.5. Módulos plásticos.

$$Z_x = \left(L2 * t2 * \left(Y_{cg} - \frac{t2}{2} \right) + \frac{L1^2}{8} * t1 * 2 \right) * 2$$

$$Z_y = \left(\frac{L2^2}{8} * t2 * 2 + L1 * t1 * \left(X_{cg} - \frac{t1}{2} \right) \right) * 2$$

4.7.3.13.6. Constante torsional de Saint Venant.

$$t_{prom} = \frac{t1 + t2}{2}$$

$$Rc = 1.5 * t_{prom}$$

$$Ap = (L1 + t2) * (L2 - t1) - Rc^2 * (4 - \pi)$$

$$P = 2 * ((L1 + t2) + (L2 - t1)) - 2 * Rc * (4 - \pi)$$

$$J = 4 * Ap^2 * \frac{t_{prom}}{P}$$

4.7.3.13.7. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

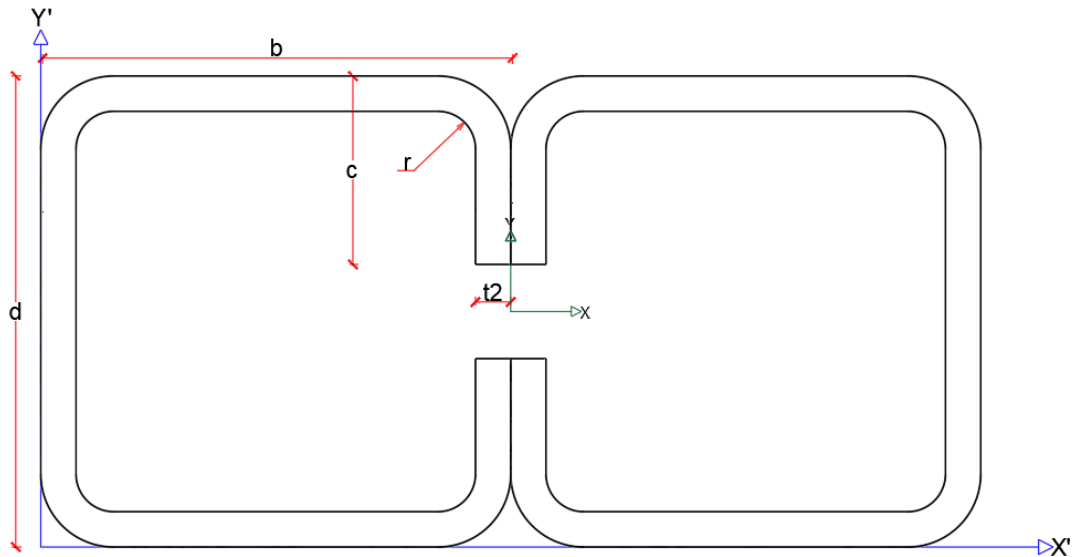
$$C_w = (L1 + t2)^2 * (L2 * t1)^2 * \frac{t_{prom}}{24} * \frac{((L1 + t2) - (L2 - t1))^2}{L1 + t2 + L2 - t1} + \frac{2 * ((L2 - t1)^3 + (L1 + t2)^3) * t_{prom}^3}{144}$$

4.7.4. Perfiles armados con perfiles conformados en frío.

4.7.4.1. Perfiles tipo 2G enfrentados con aletas

Figura 76

Perfil tipo 2G con aletas espalda con espalda



4.7.4.1.1. Área.

$$A_{\text{Circulo}} = \frac{(r+t)^2}{4} * \pi - \frac{r^2}{4} * \pi$$

$$A = (d - 2 * (r+t)) * t + (b - 2 * (r+t)) * t * 2 + (c - (r+t)) * t * 2 + A_{\text{Circulo}} * 4$$

$$A_{2G} = 2 * A$$

4.7.4.1.2. Centroide geométrico.

$$B_{\text{Circulo}} = \frac{4 * ((r+t)^3 - r^3)}{3 * \pi * ((r+t)^2 - r^2)}$$

X_{cg}

$$= \frac{(r+t - B_{\text{Circulo}}) * A_{\text{Circulo}} * 2 + \left(\frac{t}{2}\right) * (d - 2 * (r+t)) * t + (b - 2 * (r+t)) * t * b + (c - (r+t)) * t * \left(b - \frac{t}{2}\right) * 2 + (B_{\text{Circulo}} + b - (r+t)) * A_{\text{Circulo}} * 2}{A}$$

$$Y_{cg} = \frac{d}{2}$$

$$X2G_{cg} = b$$

$$Y2G_{cg} = Y_{cg}$$

4.7.4.1.3. Inercias.

$$I_{cct} = \frac{\pi * (r + t)^4}{16} - \frac{4 * (r + t)^4}{9 * \pi}$$

$$I_{ccr} = \frac{\pi * (r)^4}{16} - \frac{4 * (r)^4}{9 * \pi}$$

$$I_{Circulo} = I_{cct} + \frac{\pi * (r + t)^2}{4} * \left(B_{Circulo} \frac{4 * (r + t)}{3 * \pi} \right)^2$$

$$- \left(I_{ccr} + \frac{\pi * (r)^2}{4} * \left(B_{Circulo} - \frac{4 * r}{3 * \pi} \right)^2 \right)$$

$$I_X = \left(I_{Circulo} + A_{Circulo} * (Y_{cg} - (r + t) + B_{Circulo})^2 \right) * 4 + t * \frac{(d - 2 * (r + t))^3}{12}$$

$$+ \left((b - 2 * (r + t)) * \frac{t^3}{12} + (b - 2 * (r + t)) * t * \left(Y_{cg} - \frac{t}{2} \right)^2 \right) * 2$$

$$+ \left((c(r + t))^3 * \frac{t}{12} + (c - (r + t)) * t * \left(Y_{cg} - (r + t) - \frac{(c - (r + t))}{2} \right)^2 \right)$$

$$* 2$$

$$\begin{aligned}
I_Y = & \left(I_{\text{Circulo}} + A_{\text{Circulo}} * (X_{cg} - (r + t) + B_{\text{Circulo}})^2 + I_{\text{Circulo}} + A_{\text{Circulo}} \right. \\
& * (b - X_{cg} - (r + t) + B_{\text{Circulo}})^2 * 2 + (d - 2 * (r + t)) * \frac{t^3}{12} + (d - 2 * (r \\
& + t)) * t * \left(X_{cg} - \frac{t}{2} \right)^2 \\
& + \left(\frac{t * (b - 2 * (r + t))^3}{12} + b - 2 * (r + t)) * t * \left(X_{cg} - \frac{b}{2} \right)^2 * 2 \\
& + \left(\frac{(c - (r + t)) * t^3}{12} + (c - (r + t)) * t * \left(b - X_{cg} - \frac{t}{2} \right)^2 * 2
\end{aligned}$$

$$I_x 2G = I_x * 2$$

$$I_y 2G = \left(I_y + A * (b - X_{cg})^2 \right) * 2$$

4.7.4.1.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x 2G}{Y 2G_{cg}} \qquad S_y = \frac{I_y 2G}{X 2G_{cg}}$$

4.7.4.1.5. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x 2G}{A 2G}} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y 2G}{A 2G}}$$

4.7.4.1.6. Constante torsional de Saint Venant.

$$a' = d - (2 * r + 2 * t)$$

$$ar = d - t \qquad \alpha = 1$$

$$b' = b - (r + t + \alpha * (r + t)) \qquad br = b - \left(\frac{t}{2} + \alpha * \frac{t}{2} \right)$$

$$c' = \alpha * (c - (r + t)) \qquad cr = \alpha * \left(c - \frac{t}{2} \right)$$

$$u = \pi * \frac{r + t/2}{2}$$

$$J = \frac{t^3}{3} * (a' + 2 * (b' + u) + 2 * \alpha * (c' + u)) * 2$$

4.7.4.1.7. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

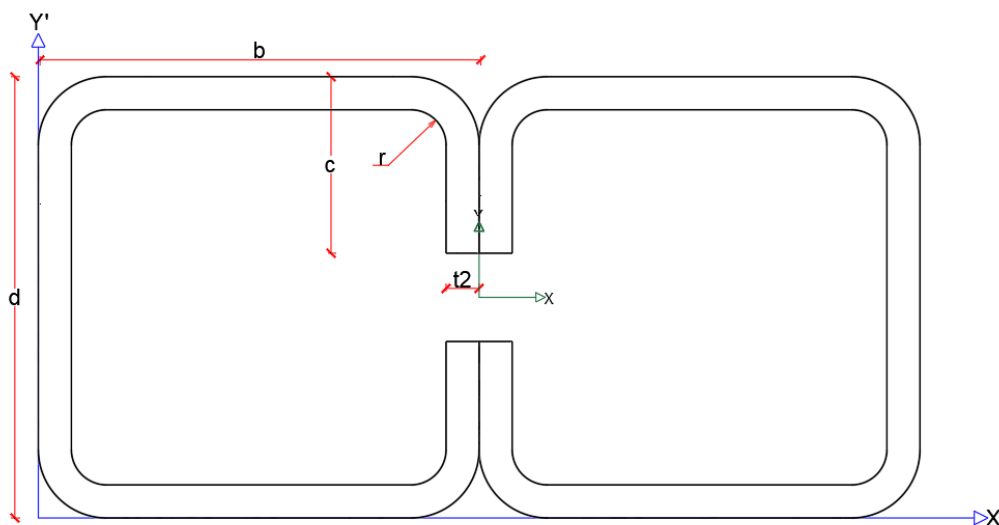
$$\xi = 48 * cr^4 + 112 * br * cr^3 + 8 * ar * cr^3 + 48 * ar * br * cr^2 + 12 * ar^2 * cr^2 + 12 * ar^2 * br * cr + 6 ar^3 * cr$$

$$C_w = \frac{ar^2 * br^2 * t}{12} * \left(\frac{2 * ar^3 * br + 3 * ar^2 * br^2 + \alpha * \xi}{6 * ar^2 * br + (ar + 2 * cr * \alpha)^3 - 24 * ar * cr^2 * \alpha} \right) * 2$$

4.7.4.2. Perfiles tipo 2G espalda con espalda.

Figura 77

Perfil tipo 2G con aletas enfrentados



4.7.4.2.1. Área.

$$A_{Circulo} = \frac{(r + t)^2}{4} * \pi - \frac{r^2}{4} * \pi$$

$$A = (d - 2 * (r + t)) * t + (b - 2 * (r + t)) * t * 2 + (c - (r + t)) * t * 2 + A_{Circulo} * 4$$

$$A_{2G} = 2 * A$$

4.7.4.2.2. Centroide geométrico.

$$B_{Circulo} = \frac{4 * ((r * t)^3 - r^3)}{3 * \pi * ((r + t)^2 - r^2)}$$

X_{cg}

$$\begin{aligned} & (r + t - B_{Circulo}) * A_{Circulo} * 2 + \left(\frac{t}{2}\right) * (d - 2 * (r + t)) * t + (b - 2 * (r + t)) * t * \frac{b}{2} * 2 + \\ & = \frac{(c - (r + t)) * t * \left(b - \frac{t}{2}\right) * 2 + (B_{Circulo} + b - (r + t)) * A_{Circulo} * 2}{A} \end{aligned}$$

$$Y_{cg} = \frac{d}{2}$$

$$X2G_{cg} = b$$

$$Y2G_{cg} = Y_{cg}$$

4.7.4.2.3. Inercias.

$$I_{cct} = \frac{\pi * (r + t)^4}{16} - \frac{4 * (r + t)^4}{9 * \pi}$$

$$I_{ccr} = \frac{\pi * (r)^4}{16} - \frac{4 * (r)^4}{9 * \pi}$$

$$\begin{aligned} I_{Circulo} &= I_{cct} + \frac{\pi * (r + t)^2}{4} * \left(B_{Circulo} \frac{4 * (r + t)}{3 * \pi}\right)^2 \\ &\quad - \left(I_{ccr} + \frac{\pi * (r)^2}{4} * \left(B_{Circulo} - \frac{4 * r}{3 * \pi}\right)^2\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_x &= \left(I_{Circulo} + A_{Circulo} * (Y_{cg} - (r + t) + B_{Circulo})^2\right) * 4 + t * \frac{(d - 2 * (r + t))^3}{12} \\ &\quad + \left((b - 2 * (r + t)) * \frac{t^3}{12} + (b - 2 * (r + t)) * t * \left(Y_{cg} - \frac{t}{2}\right)^2\right) * 2 \\ &\quad + \left((c(r + t))^3 * \frac{t}{12} + (c - (r + t)) * t * \left(Y_{cg} - (r + t) - \frac{(c - (r + t))}{2}\right)^2\right) \\ &\quad * 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_Y = & \left(I_{\text{Circulo}} + A_{\text{Circulo}} * (X_{cg} - (r + t) + B_{\text{Circulo}}) \right)^2 + I_{\text{Circulo}} + A_{\text{Circulo}} \\
& * \left(b - X_{cg} - (r + t) + B_{\text{Circulo}} \right)^2 * 2 + (d - 2 * (r + t)) * \frac{t^3}{12} + (d - 2 * (r \\
& + t)) * t * \left(X_{cg} - \frac{t}{2} \right)^2 \\
& + \left(\frac{t * (b - 2 * (r + t))}{12} + b - 2 * (r + t) \right) * t * \left(X_{cg} - \frac{b}{2} \right)^2 * 2 \\
& + \left(\frac{(c - (r + t)) * t^3}{12} + (c - (r + t)) * t * \left(b - X_{cg} - \frac{t}{2} \right)^2 \right) * 2
\end{aligned}$$

$$I_x 2G = I_x * 2$$

$$I_y 2G = \left(I_y + A * (X_{cg})^2 \right) * 2$$

4.7.4.2.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x 2G}{Y 2G_{cg}} \qquad S_y = \frac{I_y 2G}{X 2G_{cg}}$$

4.7.4.2.5. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x 2G}{A 2G}} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y 2G}{A 2G}}$$

4.7.4.2.6. Constante torsional de Saint Venant.

$$a' = d - (2 * r + 2 * t)$$

$$ar = d - t \qquad \alpha = 1$$

$$b' = b - (r + t + \alpha * (r + t)) \qquad br = b - \left(\frac{t}{2} + \alpha * \frac{t}{2} \right)$$

$$c' = \alpha * (c - (r + t)) \qquad cr = \alpha * \left(c - \frac{t}{2} \right)$$

$$u = \pi * \frac{r + t/2}{2}$$

$$J = \frac{t^3}{3} * (a' + 2 * (b' + u) + 2 * \alpha * (c' + u)) * 2$$

4.7.4.2.7. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$\xi = 48 * cr^4 + 112 * br * cr^3 + 8 * ar * cr^3 + 48 * ar * br * cr^2 + 12 * ar^2 * cr^2 + 12 * ar^2 * br * cr + 6 ar^3 * cr$$

$$C_w = \frac{ar^2 * br^2 * t}{12} * \left(\frac{2 * ar^3 * br + 3 * ar^2 * br^2 + \alpha * \xi}{6 * ar^2 * br + (ar + 2 * cr * \alpha)^3 - 24 * ar * cr^2 * \alpha} \right) * 2$$

5. RESULTADOS

5.1. Comparación de propiedades geométricas con catálogo

Para los siguientes casos se hará un ejemplo con dimensiones de un perfil de catálogo y se comparará cuál es la diferencia que existe entre las fórmulas propuestas y las propiedades geométricas del catálogo.

5.1.1. Perfiles en I sin pendiente (laminado en caliente)

Tabla 4

Dimensiones perfil W30x116

Perfil	W30X116
d (in)	30
bf (in)	10.5
tw (in)	0.565
tf (in)	0.85
r (in)	0.65

5.1.1.1. Área.

$$A_I = 2 * bf * tf + (d - 2 * tf) * tw + 4 * r^2 - \pi * r^2 = 34.202 \text{ in}^2$$

5.1.1.2. Centro geométrico.

$$X_{cg} = \frac{bf}{2} = 5.25 \text{ in} \qquad Y_{cg} = \frac{d}{2} = 15 \text{ in}$$

5.1.1.3. Inercias.

$$I_x = I_{x_{rectangulos}} + \left(I_{x_{Sobrante}} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{d}{2} - tf - r + \frac{2 * r}{3(4 - \pi)} \right)^2 \right) * 4$$

$$= 4931.253 \text{ in}^4$$

$$I_y = I_{y_{rectangulos}} + \left(I_{y_{Sobrante}} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{tw}{2} + r - \frac{2 * r}{3(4 - \pi)} \right)^2 \right) * 4 = 164.494 \text{ in}^4$$

5.1.1.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{cg}} = 328.75 \text{ in}^3$$

$$S_y = \frac{I_y}{X_{cg}} = 31.332 \text{ in}^3$$

5.1.1.5. Módulos plásticos.

$$Z_x = Z_{xI} + Z_{xS} = 378.369 \text{ in}^3$$

$$Z_y = Z_{yI} + Z_{yS} = 49.27 \text{ in}^3$$

5.1.1.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 12.01 \text{ in} \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 2.193 \text{ in}$$

5.1.1.7. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = \frac{2 * bf * tf^3 + (d - 2 * tf) * tw^3}{3} + 2 * \alpha_1 * D_1^4 - 4 * 0.105 * tf^4 = 6.435 \text{ in}^4$$

5.1.1.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = (d - tf)^2 * \frac{I_y}{4} = 34943.554 \text{ in}^6$$

Comparando estos resultados con los resultados de catálogo.

Tabla 5

Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo

Propiedades	Valores Catálogo	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	34.2	34.202	0.006
Xcg (in)	5.25	5.25	0.000
Ycg (in)	15	15	0.000
Ix (in ⁴)	4930	4931.253	0.025
Sx (in ³)	329	328.75	0.076
Zx (in ³)	378	378.369	0.098
rx (in)	12	12.007	0.058
Iy (in ⁴)	164	164.494	0.301
Sy (in ³)	31.3	31.332	0.102
Zy (in ³)	49.2	49.27	0.142
ry (in)	2.19	2.193	0.137
J (in ⁴)	6.43	6.435	0.078
Cw (in ⁶)	34900	34943.554	0.125

Para tener un margen de cuanta diferencia hay entre las fórmulas y el catálogo, se hará con todos los demas perfiles; sin embargo, se mostrará una muestra por la gran cantidad de perfiles y el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 6

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A (in²) Catálogo	A (in²) Fórmulas	% Variación
W	W40X264	77.4	77.448	0.062
W	W8X21	6.16	6.163	0.053
M	M6X4.4	1.29	1.310	1.552
HP	HP12X84	24.60	24.75	0.621

Tabla 7

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	X_{cg} (in) Catálogo	X_{cg} (in) Fórmulas	% Variación
W	W40X264	5.95	5.95	0.000
W	W8X21	2.635	2.635	0.000
M	M6X4.4	0.92	0.92	0.000
HP	HP12X84	6.15	6.15	0.000

Tabla 8

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y

Tipo	Nombre perfil	Y_{cg} (in²) Catálogo	Y_{cg} (in²) Fórmulas	% Variación
W	W40X264	20	20	0.000
W	W8X21	4.14	4.14	0.000
M	M6X4.4	3	3	0.000
HP	HP12X84	6.15	6.15	0.000

Tabla 9

Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X

Tipo	Nombre perfil	I_x (in⁴) Catálogo	I_x (in⁴) Fórmulas	% Variación
W	W40X264	19400	19376.62	0.120
W	W8X21	75.3	75.27	0.046
M	M6X4.4	7.23	7.34	1.582
HP	HP12X84	650.00	655.23	0.804

Tabla 10*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z_x (in ³) Catálogo	Z_x (in ³) Fórmulas	% Variación
W	W40X264	1130	1129.83	0.015
W	W8X21	20.4	20.39	0.041
M	M6X4.4	2.80	2.85	1.637
HP	HP12X84	120.00	120.52	0.435

Tabla 11*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S_x (in ³) Catálogo	S_x (in ³) Fórmulas	% Variación
W	W40X264	971	968.83	0.223
W	W8X21	18.2	18.18	0.110
M	M6X4.4	2.41	2.45	1.582
HP	HP12X84	106.0	106.54	0.510

Tabla 12*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r_x (in) Catálogo	r_x (in) Fórmulas	% Variación
W	W40X264	15.8	15.817	0.110
W	W8X21	3.49	3.495	0.131
M	M6X4.4	2.36	2.368	0.329
HP	HP12X84	5.14	5.145	0.097

Tabla 13*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I_y (in ⁴) Catálogo	I_y (in ⁴) Fórmulas	% Variación
W	W40X264	493	489.300901	0.750
W	W8X21	9.77	9.770378	0.004
M	M6X4.4	0.180	0.178667	0.741
HP	HP12X84	213	212.851507	0.070

Tabla 14*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z_y (in ³) Catálogo	Z_y (in ³) Fórmulas	% Variación
W	W40X264	132	131.80022	0.151
W	W8X21	5.69	5.686289	0.065
M	M6X4.4	0.311	0.311516	0.166
HP	HP12X84	53.2	53.305362	0.198

Tabla 15

Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y

Tipo	Nombre perfil	S_y (in ³) Catálogo	S_y (in ³) Fórmulas	% Variación
W	W40X264	82.6	82.235446	0.441
W	W8X21	3.71	3.707923	0.056
M	M6X4.4	0.195	0.194204	0.408
HP	HP12X84	34.6	34.610001	0.029

Tabla 16

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y

Tipo	Nombre perfil	r_y (in) Catálogo	r_y (in) Fórmulas	% Variación
W	W40X264	2.52	2.513	0.257
W	W8X21	1.26	1.259	0.074
M	M6X4.4	0.372	0.369	0.725
HP	HP12X84	2.94	2.932	0.258

Tabla 17

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J (in ⁴) Catálogo	J (in ⁴) Fórmulas	% Variación
W	W40X264	56.1	55.947	0.273
W	W8X21	0.282	0.282	0.096
M	M6X4.4	0.00990	0.0109	9.768
HP	HP12X84	4.24	4.368	3.011

Tabla 18

Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (C_w)

Tipo	Nombre perfil	C _w (in ⁶) Catálogo	C _w (in ⁶) Fórmulas	% Variación
W	W40X264	181000	179156.656	1.018
W	W8X21	152	151.671	0.216
M	M6X4.4	1.53	1.518	0.807
HP	HP12X84	7140	7178.855	0.544

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles en I (comparación con catálogo) es:

$$A_{\% \text{ Variación}} = 0.285\%$$

$$X_{cg\% \text{ Variación}} = 0.001\% \quad Y_{cg\% \text{ Variación}} = 0.000\%$$

$$I_{x\% \text{ Variación}} = 0.487\% \quad I_{y\% \text{ Variación}} = 0.395\%$$

$$Z_{x\% \text{ Variación}} = 0.423\% \quad Z_{y\% \text{ Variación}} = 0.346\%$$

$$Sx_{\% \text{ Variación}} = 0.436\% \quad Sy_{\% \text{ Variación}} = 0.305\%$$

$$rx_{\% \text{ Variación}} = 0.173\% \quad ry_{\% \text{ Variación}} = 0.257\%$$

$$J_{\% \text{ Variación}} = 1.577\% \quad Cw_{\% \text{ Variación}} = 0.497\%$$

5.1.2. Perfiles en IS con pendiente (laminado en caliente)

Tabla 19

Dimensiones S20x75

Perfil	S20x75
d (in)	20
bf (in)	6.39
tw (in)	0.635
tf (in)	0.795
r (in)	0.591
P %	16.67%

5.1.2.1. Área.

$$A = A_{\text{aleta}} * 4 + d * tw = 21.85 \text{ in}^2$$

5.1.2.2. Centro geométrico.

$$X_{cg} = \frac{bf}{2} = 3.195 \text{ in}$$

$$Y_{cg} = \frac{d}{2} = 10 \text{ in}$$

5.1.2.3. Inercias.

$$I_x = \left(I_{x_{\text{Aleta}}} + A_{\text{aleta}} * \left(\frac{d}{2} - Y_{\text{aleta}} \right)^2 \right) * 4 + tw * \frac{d^3}{12} = 1265.53 \text{ in}^4$$

$$I_y = \left(I_{y_{\text{Aleta}}} + A_{\text{aleta}} * \left(X_{\text{aleta}} + \frac{tw}{2} \right)^2 \right) * 4 + tw^3 * \frac{d}{12} = 30.315 \text{ in}^4$$

5.1.2.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{cg}} = 126.553 \text{ in}^3$$

$$S_y = \frac{I_y}{X_{cg}} = 9.488 \text{ in}^3$$

5.1.2.5. Módulos plásticos.

$$Z_x = \left(A_{\text{aleta}} * \left(\frac{d}{2} - Y_{\text{aleta}} \right) * 2 + \frac{d^2}{8} * tw \right) * 2 = 151.257 \text{ in}^3$$

$$Z_y = \left(\frac{tw^2 * d}{8} + \left(A_{aleta} * \left(X_{aleta} + \frac{tw}{2} \right) \right) * 2 \right) * 2 = 16.763 \text{ in}^3$$

5.1.2.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 7.61 \text{ in} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 1.18 \text{ in}$$

5.1.2.7. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = 2 * (bf - 0.63 * tf) \frac{tf^3}{3} + (d - 2 * tf) * \frac{tw^3}{3} + 2 * \frac{tw}{tf} * \left(0.145 + 0.1 * \frac{r}{tf} \right) * \left(\frac{\left(r + \frac{tw}{2} \right)^2 + (r + tf)^2 - r^2}{2 * r + tf} \right)^4 = 4.137 \text{ in}^4$$

5.1.2.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = (d - tf)^2 * \frac{I_y}{4} = 2795.29 \text{ in}^6$$

Tabla 20

Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo

Propiedades	Valores Catálogo	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	22	21.85	0.682
Xcg (in)	3.2	3.195	0.156
Ycg (in)	10	10	0.000
Ix (in ⁴)	1280	1265.529	1.131
Sx (in ³)	128	126.553	1.130
Zx (in ³)	152	151.257	0.489
rx (in)	7.62	7.61	0.131
Iy (in ⁴)	29.5	30.315	2.763
Sy (in ³)	9.25	9.488	2.573
Zy (in ³)	16.7	16.763	0.377
ry (in)	1.16	1.178	1.552
J (in ⁴)	4.59	4.301	6.290
Cw (in ⁶)	2720	2795.287	2.768

Para tener un margen de cuanta diferencia hay entre las fórmulas y el catálogo, se hará con todos los demas perfiles; sin embargo, se mostrará una muestra por la gran cantidad de perfiles y el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 21

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A (in ²) Catálogo	A (in ²) Fórmulas	% Variación
S	S20X86	25.3	25.17	0.50
S	S18X70	20.5	20.45	0.23
S	S12X50	14.7	14.56	0.94
S	S8X23	6.76	6.70	0.92

Tabla 22

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	X _{cg} (in) Catálogo	X _{cg} (in) Fórmulas	% Variación
S	S20X86	3.53	3.53	0
S	S18X70	3.13	3.13	0
S	S12X50	2.74	2.74	0
S	S8X23	2.09	2.09	0

Tabla 23

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y

Tipo	Nombre perfil	Y _{cg} (in) Catálogo	Y _{cg} (in) Fórmulas	% Variación
S	S20X86	10.15	10.15	0
S	S18X70	9	9	0
S	S12X50	6	6	0
S	S8X23	4	4	0

Tabla 24

Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X

Tipo	Nombre perfil	I _x (in ⁴) Catálogo	I _x (in ⁴) Fórmulas	% Variación
S	S20X86	1570	1563.849	0.391
S	S18X70	923	917.571	0.588
S	S12X50	303	301.602	0.461
S	S8X23	64.7	64.118	0.899

Tabla 25*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z _x (in ³) Catálogo	Z _x (in ³) Fórmulas	% Variación
S	S20X86	183	181.952	0.572
S	S18X70	124	123.741	0.208
S	S12X50	60.9	60.489	0.673
S	S8X23	19.2	19.031	0.880

Tabla 26*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x (in ³) Catálogo	S _x (in ³) Fórmulas	% Variación
S	S20X86	155	154.073	0.598
S	S18X70	103	101.952	1.017
S	S12X50	50.6	50.266	0.658
S	S8X23	16.2	16.029	1.052

Tabla 27*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x (in) Catálogo	r _x (in) Fórmulas	% Variación
S	S20X86	7.89	7.881	0.105
S	S18X70	6.70	6.697	0.030
S	S12X50	4.55	4.551	0.025
S	S8X23	3.09	3.094	0.132

Tabla 28*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I _y (in ⁴) Catálogo	I _y (in ⁴) Fórmulas	% Variación
S	S20X86	46.6	47.372	1.658
S	S18X70	24.0	24.507	2.113
S	S12X50	15.6	16.006	2.600
S	S8X23	4.27	4.357	2.041

Tabla 29*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z _y (in ³) Catálogo	Z _y (in ³) Fórmulas	% Variación
S	S20X86	23.1	23.118	0.078
S	S18X70	14.3	14.416	0.812
S	S12X50	10.3	10.391	0.881
S	S8X23	3.67	3.683	0.345

Tabla 30

Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y

Tipo	Nombre perfil	S_y (in ³) Catálogo	S_y (in ³) Fórmulas	% Variación
S	S20X86	13.2	13.420	1.667
S	S18X70	7.69	7.84	1.980
S	S12X50	5.69	5.841	2.663
S	S8X23	2.05	2.090	1.940

Tabla 31

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y

Tipo	Nombre perfil	r_y (in) Catálogo	r_y (in) Fórmulas	% Variación
S	S20X86	1.36	1.371	0.867
S	S18X70	1.08	1.094	1.355
S	S12X50	1.03	1.048	1.789
S	S8X23	0.795	0.806	1.455

Tabla 32

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J (in ⁴) Catálogo	J (in ⁴) Fórmulas	% Variación
S	S20X86	6.65	6.054	8.956
S	S18X70	4.10	4.116	0.393
S	S12X50	2.77	2.785	0.564
S	S8X23	0.550	0.538	2.059

Tabla 33

Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (Cw)

Tipo	Nombre perfil	C_w (in ⁶) Catálogo	C_w (in ⁶) Fórmulas	% Variación
S	S20X86	4370	4448.11	1.787
S	S18X70	1800	1835.59	1.977
S	S12X50	501	514.657	2.726
S	S8X23	61.2	62.504	2.131

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles en IS es:

$$A_{\% \text{ variación}} = 0.8\%$$

$$X_{cg\% \text{ variación}} = 0.000\% \quad Y_{cg\% \text{ variación}} = 0.000\%$$

$$I_{x\% \text{ variación}} = 0.75\% \quad I_{y\% \text{ variación}} = 2.31\%$$

$$Z_{x\% \text{ variación}} = 0.81\% \quad Z_{y\% \text{ variación}} = 0.32\%$$

$$Sx_{\% \text{ Variación}} = 0.83\% \quad Sy_{\% \text{ Variación}} = 2.31\%$$

$$rx_{\% \text{ Variación}} = 0.09\% \quad ry_{\% \text{ Variación}} = 1.57\%$$

$$J_{\% \text{ Variación}} = 8.64\% \quad Cw_{\% \text{ Variación}} = 2.35\%$$

5.1.3. Perfiles en C con pendiente (laminado en caliente)

Tabla 34

Dimensiones C10x20

Perfil	C10x20
d (in)	10
bf (in)	2.74
tw (in)	0.379
tf (in)	0.436
r (in)	0.479
P %	16.66667%

5.1.3.1. Área.

$$A = A_{\text{aleta}} * 2 + d * tw = 5.85 \text{ in}^2$$

5.1.3.2. Centro geométrico.

$$X_{cg} = \frac{(X_{\text{aleta}} + tw) * A_{\text{aleta}} * 2 + d * tw^2 / 2}{A} = 0.609 \text{ in}$$

$$Y_{cg} = \frac{d}{2} = 5 \text{ in}$$

5.1.3.3. Inercias.

$$Ix = \left(Ix_{\text{aleta}} + A_{\text{aleta}} * \left(\frac{d}{2} - Y_{\text{aleta}} \right)^2 \right) * 2 + \frac{tw * d^3}{12} = 78.42 \text{ in}^4$$

$$Iy = \left(Iy_{\text{aleta}} + A_{\text{aleta}} * \left(X_{\text{aleta}} + tw - X_{cg} \right)^2 \right) * 2 + \frac{tw^3 * d}{12} * d * tw * \left(X_{cg} - \frac{tw}{2} \right)^2$$

$$= 2.83 \text{ in}^4$$

5.1.3.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{cg}} = 15.68 \text{ in}^3 \qquad S_y = \frac{I_y}{bf - X_{cg}} = 1.33 \text{ in}^3$$

5.1.3.5. Módulos plásticos.

$$Zx = \left(A_{Aleta} * \left(\frac{d}{2} - Y_{aleta} \right) + \frac{d^2}{8} * tw \right) * 2 = 19.29 \text{ in}^3$$

El módulo plástico en dirección Y se obtiene del ciclo mencionado anteriormente.

$$Zy = 2.71 \text{ in}^3$$

5.1.3.6. Radios de giro.

$$Rx = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 3.66 \text{ in} \qquad Ry = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 0.696 \text{ in}$$

5.1.3.7. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = \frac{2 * bf * tf^3 + (d - 2 * tf) * tw^3}{3} + 2 * \alpha_3 * D_3^4 - 2 * 0.105 * tf^4 = 0.353 \text{ in}^4$$

5.1.3.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$Cw = d'^2 * b'^3 * tf * \left(\frac{1 - 3 * \alpha_1}{6} + \frac{\alpha_1^2}{2} * \left(1 + \frac{d' * tw}{6 * b' * tf} \right) \right) = 56.685 \text{ in}^6$$

Tabla 35

Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo

Propiedades	Valores Catálogo	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	5.87	5.849	0.361
Xcg (in)	0.606	0.609	0.534
Ycg (in)	5	5	0.000
Xp (in)	0.294	0.292	0.532
Yp (in)	5	5	0.000
Ix (in ⁴)	78.9	78.417	0.612
Sx (in ³)	15.8	15.683	0.738
Zx (in ³)	19.4	19.290	0.569
rx (in)	3.67	3.662	0.228
Iy (in ⁴)	2.8	2.834	1.205
Sy (in ³)	1.31	1.330	1.520
Zy (in ³)	2.7	2.708	0.300
ry (in)	0.69	0.696	0.878
J (in ⁴)	0.368	0.353	3.949
Cw (in ⁶)	56.9	56.685	0.378

Para tener un margen de cuanta diferencia hay entre las fórmulas y el catálogo, se hará con todos los demas perfiles; sin embargo, se mostrará una muestra por la gran cantidad de perfiles y el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 36

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A (in ²) Catálogo	A (in ²) Fórmulas	%Variación
C	C15X40	11.8	11.700	0.847
C	C6X13	3.82	3.804	0.419
MC	MC12X50	14.7	14.647	0.361
MC	MC8X20	5.87	5.83	0.681

Tabla 37

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	X _{cg} (in) Catálogo	X _{cg} (in) Fórmulas	%Variación
C	C15X40	0.778	0.783	0.587
C	C6X13	0.514	0.517	0.531
MC	MC12X50	1.05	1.044	0.569
MC	MC8X20	0.840	0.849	1.044

Tabla 38*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Y _{cg} (in) Catálogo	Y _{cg} (in) Fórmulas	%Variación
C	C15X40	7.5	7.5	0
C	C6X13	3	3	0
MC	MC12X50	6	6	0
MC	MC8X20	4	4	0

Tabla 39*Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	X _p (in) Catálogo	X _p (in) Fórmulas	%Variación
C	C15X40	0.392	0.390	0.510
C	C6X13	0.318	0.317	0.314
MC	MC12X50	0.613	0.610	0.442
MC	MC8X20	0.367	0.364	0.715

Tabla 40*Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Y _p (in) Catálogo	Y _p (in) Fórmulas	%Variación
C	C15X40	7.5	7.5	0
C	C6X13	3	3	0
MC	MC12X50	6	6	0
MC	MC8X20	4	4	0

Tabla 41*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	I _x (in ⁴) Catálogo	I _x (in ⁴) Fórmulas	%Variación
C	C15X40	348	346.306	0.487
C	C6X13	17.3	17.271	0.168
MC	MC12X50	269	267.993	0.374
MC	MC8X20	54.4	54.059	0.627

Tabla 42*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z _x (in ³) Catálogo	Z _x (in ³) Fórmulas	%Variación
C	C15X40	57.5	57.170	0.574
C	C6X13	7.29	7.264	0.351
MC	MC12X50	56.189	56.119	0.125
MC	MC8X20	16.256	16.220	0.218

Tabla 43*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x (in ³) Catálogo	S _x (in ³) Fórmulas	%Variación
C	C15X40	46.5	46.174	0.701
C	C6X13	5.78	5.757	0.398
MC	MC12X50	44.9	44.665	0.522
MC	MC8X20	13.6	13.515	0.627

Tabla 44*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x (in) Catálogo	r _x (in) Fórmulas	%Variación
C	C15X40	5.43	5.440	0.193
C	C6X13	2.13	2.131	0.037
MC	MC12X50	4.28	4.277	0.059
MC	MC8X20	3.04	3.045	0.167

Tabla 45*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I _y (in ⁴) Catálogo	I _y (in ⁴) Fórmulas	%Variación
C	C15X40	9.17	9.346	1.924
C	C6X13	1.05	1.068	1.673
MC	MC12X50	17.4	17.210	1.092
MC	MC8X20	4.42	4.529	2.461

Tabla 46*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z _y (in ³) Catálogo	Z _y (in ³) Fórmulas	%Variación
C	C15X40	6.84	6.875	0.504
C	C6X13	1.35	1.363	0.940
MC	MC12X50	10.9	10.822	0.712
MC	MC8X20	3.86	3.886	0.678

Tabla 47*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S _y (in ³) Catálogo	S _y (in ³) Fórmulas	%Variación
C	C15X40	3.34	3.414	2.225
C	C6X13	0.638	0.650	1.828
MC	MC12X50	5.3	4.601	13.195
MC	MC8X20	1.95	1.716	11.989

Tabla 48

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y

Tipo	Nombre perfil	r_y (in) Catálogo	r_y (in) Fórmulas	%Variación
C	C15X40	0.883	0.894	1.221
C	C6X13	0.524	0.530	1.099
MC	MC12X50	1.09	1.084	0.553
MC	MC8X20	0.867	0.881	1.657

Tabla 49

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J (in ⁴) Catálogo	J (in ⁴) Fórmulas	%Variación
C	C15X40	1.45	1.437	0.917
C	C6X13	0.237	0.237	0.067
MC	MC12X50	3.23	3.242	0.381
MC	MC8X20	0.441	0.453	2.805

Tabla 50

Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (C_w)

Tipo	Nombre perfil	C _w (in ⁶) Catálogo	C _w (in ⁶) Fórmulas	%Variación
C	C15X40	410	407.611	0.583
C	C6X13	7.19	7.185	0.068
MC	MC12X50	411	409.019	0.482
MC	MC8X20	47.8	47.365	0.909

Como en los perfiles con pendiente en los patines no se considera el radio para el cálculo de propiedades de área, inercias, brazos, módulos plásticos y elásticos, solo para el cálculo de C_w y J. En los perfiles de catálogo MC, al tener un alma muy delgada y un radio grande, la diferencia de valores crece debido a la variación del centro de gravedad de X el cuál sería menor, lo que hace que las propiedades que dependan de esta propiedad suban su porcentaje de variación, pero igual será una variación admisible.

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles en C es:

$$A_{\% \text{ variación}} = 0.776\%$$

$$\begin{aligned}
 X_{cg}\% \text{ Variación} &= \mathbf{1.412\%} & Y_{cg}\% \text{ Variación} &= \mathbf{0.000\%} \\
 X_p\% \text{ Variación} &= \mathbf{1.586\%} & Y_p\% \text{ Variación} &= \mathbf{0.000\%} \\
 I_x\% \text{ Variación} &= \mathbf{0.724\%} & I_y\% \text{ Variación} &= \mathbf{3.401\%} \\
 Z_x\% \text{ Variación} &= \mathbf{0.522\%} & Z_y\% \text{ Variación} &= \mathbf{1.459\%} \\
 S_x\% \text{ Variación} &= \mathbf{0.778\%} & S_y\% \text{ Variación} &= \mathbf{3.730\%} \\
 r_x\% \text{ Variación} &= \mathbf{0.139\%} & r_y\% \text{ Variación} &= \mathbf{1.953\%} \\
 J\% \text{ Variación} &= \mathbf{2.903\%} & C_w\% \text{ Variación} &= \mathbf{1.126\%}
 \end{aligned}$$

5.1.4. Perfiles CS sin pendiente (laminado en caliente)

Tabla 51

Dimensiones CS8x5.56

Perfil	CS8x5.56
d (in)	8
bf (in)	3
tw (in)	0.281
tf (in)	0.437
r (in)	0.5

5.1.4.1. Área.

$$A = 2 * bf * tf + (d - 2 * tf) * tw + \frac{(4 * r^2 - \pi * r^2)}{2} = 4.732 \text{ in}^2$$

5.1.4.2. Centroide geométrico.

X_{cg}

$$= \frac{d * \frac{tw^2}{2} + \left((bf - tw) * tf * \frac{tw + bf}{2} \right) * 2 + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(tw + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) * 2}{A}$$

$$= 0.9 \text{ in}$$

$$Y_{cg} = \frac{d}{2} = 4 \text{ in}$$

5.1.4.3. Inercias.

$$I_x = \left(bf * \frac{tf^3}{12} + \left(\frac{d - tf}{2} \right)^2 * bf * tf \right) * 2 + \frac{tw * (d - 2 * tf)^3}{12}$$

$$+ \left(I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{d}{2} - tf - r + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right)^2 \right) * 2 = 47.288 \text{ in}^4$$

$$I_y = d * \frac{tw^3}{12} + (d * tw) * \left(X_{cg} - \frac{tw}{2} \right)^2 + \left(\frac{tf * (bf - tw)^3}{12} + tf * (bf - tw) * \left(X_{cg} - \frac{bf + tw}{2} \right)^2 \right)$$

$$* 2 + \left(I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(X_{cg} - tw - r + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right)^2 \right) * 2$$

$$= 4.107 \text{ in}^4$$

5.1.4.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{cg}} = 11.82 \text{ in}^3$$

$$S_y = \frac{I_y}{bf - X_{cg}} = 1.955 \text{ in}^3$$

5.1.4.5. Módulos plásticos.

$$Z_x = \left(\frac{d^2}{8} * tw + (bf - tw) * tf * \frac{d - tf}{2} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{d}{2} - tf - t + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) \right) * 2$$

$$= 13.853 \text{ in}^3$$

$$Z_y = 3.55 \text{ in}^3$$

5.1.4.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 3.161 \text{ in}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 0.932 \text{ in}$$

5.1.4.7. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = \frac{1}{3} * (2 * bf * tf^3 + (d - 2 * tf) * tw^3) = 0.22 \text{ in}^4$$

5.1.4.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = \frac{tf * bf^3 * (d - tf)^2}{12} * \frac{3 * bf * tf + 2 * (d - tf) * tw}{6 * bf * tf + (d - tf) * tw} = 46.065 \text{ in}^6$$

Tabla 52

Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo

Propiedades	Valores catálogo	Valores fórmulas	% Variación
Área (in ²)	4.730	4.732	0.036
Xcg (in)	0.900	0.900	0.048
Ycg (in)	4	4	0.000
Ix (in ⁴)	47.300	47.288	0.025
Sx (in ³)	11.800	11.822	0.187
Zx (in ³)	13.500	13.853	2.613
rx (in)	3.160	3.161	0.042
Iy (in ⁴)	4.100	4.107	0.176
Sy (in ³)	1.950	1.955	0.278
Zy (in ³)	3.550	3.550	0.006
ry (in)	0.931	0.932	0.073
J (in ⁴)	0.220	0.220	0.177
Cw (in ⁶)	46.100	46.065	0.077

Para tener un margen de cuanta diferencia hay entre las fórmulas y el catálogo, se hará con todos los demas perfiles; sin embargo, se mostrará una muestra por la gran cantidad de perfiles y el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 53

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A (in ²) Catálogo	A (in ²) Fórmulas	%Variación
CS	CS10x19.0	16.200	16.197	0.017
CS	CS7x3.90	3.320	3.319	0.016
CS	CS 5x2.51	2.130	2.131	0.049
CS	CS 3x1.48	1.260	1.262	0.141

Tabla 54*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X*

Tipo	Nombre perfil	X_{cg} (in) Catálogo	X_{cg} (in) Fórmulas	%Variación
CS	CS10x19.0	1.394	1.394	0.033
CS	CS7x3.90	0.759	0.759	0.053
CS	CS 5x2.51	0.630	0.630	0.061
CS	CS 3x1.48	0.489	0.489	0.071

Tabla 55*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Y_{cg} (in) Catálogo	Y_{cg} (in) Fórmulas	%Variación
CS	CS10x19.0	5	5	0.000
CS	CS7x3.90	3.5	3.5	0.000
CS	CS 5x2.51	2.5	2.5	0.000
CS	CS 3x1.48	1.5	1.5	0.000

Tabla 56*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	I_x (in ⁴) Catálogo	I_x (in ⁴) Fórmulas	%Variación
CS	CS10x19.0	223.000	222.677	0.145
CS	CS7x3.90	25.800	25.783	0.067
CS	CS 5x2.51	8.450	8.447	0.030
CS	CS 3x1.48	1.720	1.725	0.292

Tabla 57*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z_x (in ³) Catálogo	Z_x (in ³) Fórmulas	%Variación
CS	CS10x19.0	55.200	55.559	0.651
CS	CS7x3.90	8.340	8.588	2.973
CS	CS 5x2.51	3.830	3.952	3.194
CS	CS 3x1.48	1.330	1.374	3.332

Tabla 58*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x (in ³) Catálogo	S _x (in ³) Fórmulas	%Variación
CS	CS10x19.0	44.500	44.535	0.079
CS	CS7x3.90	7.370	7.366	0.048
CS	CS 5x2.51	3.380	3.379	0.030
CS	CS 3x1.48	1.150	1.150	0.001

Tabla 59*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x (in) Catálogo	r _x (in) Fórmulas	%Variación
CS	CS10x19.0	3.710	3.708	0.059
CS	CS7x3.90	2.790	2.787	0.109
CS	CS 5x2.51	1.990	1.991	0.049
CS	CS 3x1.48	1.170	1.169	0.065

Tabla 60*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I _y (in ⁴) Catálogo	I _y (in ⁴) Fórmulas	%Variación
CS	CS10x19.0	23.300	23.310	0.042
CS	CS7x3.90	2.020	2.026	0.312
CS	CS 5x2.51	0.832	0.834	0.201
CS	CS 3x1.48	0.268	0.269	0.302

Tabla 61*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z _y (in ³) Catálogo	Z _y (in ³) Fórmulas	%Variación
CS	CS10x19.0	16.013	16.013	0.001
CS	CS7x3.90	2.114	2.113	0.024
CS	CS 5x2.51	1.103	1.103	0.001
CS	CS 3x1.48	0.481	0.481	0.057

Tabla 62*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S _y (in ³) Catálogo	S _y (in ³) Fórmulas	%Variación
CS	CS10x19.0	8.940	8.943	0.034
CS	CS7x3.90	1.160	1.164	0.311
CS	CS 5x2.51	0.607	0.608	0.222
CS	CS 3x1.48	0.265	0.266	0.368

Tabla 63

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y

Tipo	Nombre perfil	r_y (in)	r_y (in) Fórmulas	%Variación
CS	CS10x19.0	1.200	1.200	0.031
CS	CS7x3.90	0.781	0.781	0.039
CS	CS 5x2.51	0.625	0.625	0.074
CS	CS 3x1.48	0.461	0.462	0.122

Tabla 64

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J (in ⁴) Catálogo	J (in ⁴) Fórmulas	%Variación
CS	CS10x19.0	6.547	6.547	0.003
CS	CS7x3.90	0.109	0.109	0.435
CS	CS 5x2.51	0.050	0.050	0.374
CS	CS 3x1.48	0.021	0.021	0.771

Tabla 65

Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (Cw)

Tipo	Nombre perfil	C _w (in ⁶) Catálogo	C _w (in ⁶) Fórmulas	%Variación
CS	CS10x19.0	402.000	401.813	0.047
CS	CS7x3.90	17.300	17.283	0.098
CS	CS 5x2.51	3.590	3.592	0.062
CS	CS 3x1.48	0.410	0.415	1.195

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles en CS es:

$$A_{\% \text{ Variación}} = 0.088\%$$

$$Xcg_{\% \text{ Variación}} = 0.044\% \quad Ycg_{\% \text{ Variación}} = 0.000\%$$

$$Ix_{\% \text{ Variación}} = 0.098\% \quad Iy_{\% \text{ Variación}} = 0.257\%$$

$$Zx_{\% \text{ Variación}} = 2.726\% \quad Zy_{\% \text{ Variación}} = 0.023\%$$

$$Sx_{\% \text{ Variación}} = 0.087\% \quad Sy_{\% \text{ Variación}} = 0.252\%$$

$$rx_{\% \text{ Variación}} = 0.136\% \quad ry_{\% \text{ Variación}} = 0.131\%$$

$$J_{\% \text{ Variación}} = 0.645\% \quad Cw_{\% \text{ Variación}} = 0.38\%$$

5.1.5. Perfiles L (laminado en caliente)

Tabla 66

Dimensiones L4x3x1/2

Perfil	L4X3X1/2
L1 (in)	4
L2 (in)	3
tf (in)	0.5
r (in)	0.375

5.1.5.1. Área.

$$A = L1 * tf + (L2 - tf) * tf + r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} = 3.28 \text{ in}^2$$

5.1.5.2. Centro geométrico.

$$X_{cg} = \frac{\frac{L1 * tf^2}{2} + (L2 - tf) * tf * \left(\frac{L2 - tf}{2} + tf\right) * \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(tf + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)}{A}$$

$$= 0.825 \text{ in}$$

$$Y_{cg} = \frac{L1^2 * \frac{tf}{2} + (L2 - tf) * \frac{tf^2}{2} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(tf + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)}{A} = 1.32 \text{ in}$$

5.1.5.3. Inercias.

$$I_x = L2 * \frac{tf^3}{12} + L2 * tf * \left(Y_{cg} - \frac{tf}{2}\right)^2 + tf * \frac{(L1 - tf)^3}{12} + (L1 - tf) * tf * \left(\frac{L1 + tf}{2} - Y_{cg}\right)^2$$

$$+ I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(Y_{cg} - r - tf + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)^2 = 5.065 \text{ in}^4$$

$$I_y = L2^3 * \frac{tf}{12} + L2 * tf * \left(-X_{cg} + \frac{L2}{2}\right)^2 + tf^3 * \frac{L1 - tf}{12} + (L1 - tf) * tf * \left(X_{cg} - \frac{tf}{2}\right)^2$$

$$+ I_{xSobrante} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(X_{cg} - r - tf + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)^2 = 2.425 \text{ in}^4$$

5.1.5.4. Inercias máximas y mínimas.

$$I_{min} = \frac{I_x + I_y}{2} - \sqrt{\left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2 + I_{XY}^2} = 1.337 \text{ in}^4$$

$$I_{max} = \frac{I_x + I_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{I_x - I_y}{2}\right)^2 + I_{XY}^2} = 6.153 \text{ in}^4$$

5.1.5.5. Ángulo de inclinación.

$$\theta = \frac{\tan^{-1}\left(\frac{I_{XY}}{(I_x - I_y)/2}\right)}{2} = -28.38^\circ$$

5.1.5.6. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{L1 - Y_{cg}} = 1.89 \text{ in}^3$$

$$S_y = \frac{I_y}{L2 - X_{cg}} = 1.115 \text{ in}^3$$

5.1.5.7. Módulos plásticos.

Los módulos plásticos en dirección X y en dirección Y se obtienen de los ciclos mencionados anteriormente.

$$Z_x = 3.411 \text{ in}^3$$

$$Z_y = 2.033 \text{ in}^3$$

5.1.5.8. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 1.243 \text{ in}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 0.86 \text{ in}$$

5.1.5.9. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = (L1 + L2 - 2 * c) * \frac{tf^3}{3} + 0.237 * c^4 = 0.28 \text{ in}^4$$

5.1.5.10. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = \frac{tf^3}{36} * \left(\left(L1 - \frac{tf}{2} \right)^3 + \left(L2 - \frac{tf}{2} \right)^3 \right) = 0.255 \text{ in}^6$$

Tabla 67

Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo

Propiedades	Valores Catálogo	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	3.25	3.280	0.929
X _{cg} (in)	0.822	0.825	0.327
Y _{cg} (in)	1.32	1.320	0.007
X _p (in)	0.406	0.410	0.993
Y _p (in)	0.750	0.723	3.608
I _x (in ⁴)	5.02	5.065	0.899
S _x (in ³)	1.87	1.890	1.072
Z _x (in ³)	3.36	3.411	1.516
r _x (in)	1.24	1.243	0.213
I _y (in ⁴)	2.40	2.425	1.058
S _y (in ³)	1.10	1.115	1.360
Z _y (in ³)	1.99	2.033	2.143
r _y (in)	0.858	0.860	0.220
I _{min} (in ⁴)	1.30	1.337	2.875
r _{min} (in)	0.633	0.639	0.873
J (in ⁴)	0.281	0.280	0.425
C _w (in ⁶)	0.255	0.255	0.124

Para tener un margen de cuanta diferencia hay entre las fórmulas y el catálogo, se hará con todos los demás perfiles; sin embargo, se mostrará una muestra por la gran cantidad de perfiles y el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 68

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A (in ²) Catálogo	A (in ²) Fórmulas	%Variación
L	L8X8X3/4	11.5	11.523	0.197
L	L7X4X3/8	4.00	4.038	0.951
L	L5X3-1/2X5/8	4.93	4.962	0.659
L	L2-1/2X1-1/2X3/16	0.724	0.730	0.838

Tabla 69

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	X _{cg} (in) Catálogo	X _{cg} (in) Fórmulas	%Variación
L	L8X8X3/4	5	5	0.283
L	L7X4X3/8	5.15	5.15	0.437
L	L5X3-1/2X5/8	1.75	1.75	0.265
L	L2-1/2X1-1/2X3/16	2.5	2.5	0.906

Tabla 70*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Y_{cg} (in) Catálogo	Y_{cg} (in) Fórmulas	%Variación
L	L8X8X3/4	2.26	2.266	0.283
L	L7X4X3/8	2.35	2.345	0.220
L	L5X3-1/2X5/8	1.69	1.693	0.200
L	L2-1/2X1-1/2X3/16	0.839	0.841	0.233

Tabla 71*Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	X_p (in) Catálogo	X_p (in) Fórmulas	%Variación
L	L8X8X3/4	0.719	0.720	0.163
L	L7X4X3/8	0.286	0.288	0.852
L	L5X3-1/2X5/8	0.493	0.496	0.659
L	L2-1/2X1-1/2X3/16	0.145	0.146	0.690

Tabla 72*Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Y_p (in) Catálogo	Y_p (in) Fórmulas	%Variación
L	L8X8X3/4	0.719	0.720	0.163
L	L7X4X3/8	1.67	1.616	3.241
L	L5X3-1/2X5/8	1.06	1.030	2.830
L	L2-1/2X1-1/2X3/16	0.569	0.559	1.845

Tabla 73*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	I_x (in⁴) Catálogo	I_x (in⁴) Fórmulas	%Variación
L	L8X8X3/4	69.9	69.902	0.002
L	L7X4X3/8	20.5	20.750	1.219
L	L5X3-1/2X5/8	12.0	12.067	0.559
L	L2-1/2X1-1/2X3/16	0.464	0.467	0.558

Tabla 74*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z_x (in ³) Catálogo	Z_x (in ³) Fórmulas	%Variación
L	L8X8X3/4	22.0	21.966	0.155
L	L7X4X3/8	7.81	7.927	1.501
L	L5X3-1/2X5/8	6.50	6.559	0.901
L	L2-1/2X1-1/2X3/16	0.497	0.502	1.094

Tabla 75*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S_x (in ³) Catálogo	S_x (in ³) Fórmulas	%Variación
L	L8X8X3/4	12.2	12.192	0.069
L	L7X4X3/8	4.42	4.457	0.846
L	L5X3-1/2X5/8	3.63	3.649	0.533
L	L2-1/2X1-1/2X3/16	0.280	0.281	0.443

Tabla 76*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r_x (in) Catálogo	r_x (in) Fórmulas	%Variación
L	L8X8X3/4	2.46	2.463	0.122
L	L7X4X3/8	2.27	2.267	0.139
L	L5X3-1/2X5/8	1.56	1.559	0.040
L	L2-1/2X1-1/2X3/16	0.801	0.799	0.195

Tabla 77*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I_y (in ⁴) Catálogo	I_y (in ⁴) Fórmulas	%Variación
L	L8X8X3/4	69.9	69.902	0.002
L	L7X4X3/8	5.06	5.110	0.987
L	L5X3-1/2X5/8	4.80	4.836	0.744
L	L2-1/2X1-1/2X3/16	0.126	0.128	1.540

Tabla 78*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z_y (in ³) Catálogo	Z_y (in ³) Fórmulas	%Variación
L	L8X8X3/4	22.0	21.966	0.155
L	L7X4X3/8	2.84	2.910	2.450
L	L5X3-1/2X5/8	3.43	3.481	1.476
L	L2-1/2X1-1/2X3/16	0.198	0.202	2.186

Tabla 79*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S_y (in ³) Catálogo	S_y (in ³) Fórmulas	%Variación
L	L8X8X3/4	12.2	12.192	0.069
L	L7X4X3/8	1.61	1.630	1.232
L	L5X3-1/2X5/8	1.88	1.896	0.851
L	L2-1/2X1-1/2X3/16	0.110	0.111	1.152

Tabla 80*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y*

Tipo	Nombre perfil	r_y (in) Catálogo	r_y (in) Fórmulas	%Variación
L	L8X8X3/4	2.46	2.463	0.122
L	L7X4X3/8	1.12	1.125	0.440
L	L5X3-1/2X5/8	0.987	0.987	0.015
L	L2-1/2X1-1/2X3/16	0.418	0.419	0.149

Tabla 81*Muestras para porcentaje de variación de la inercia mínima*

Tipo	Nombre perfil	I_{min} (in ⁴) Catálogo	I_{min} (in ⁴) Fórmulas	%Variación
L	L8X8X3/4	28.5	28.703	0.711
L	L7X4X3/8	3.04	3.137	3.181
L	L5X3-1/2X5/8	2.74	2.788	1.765
L	L2-1/2X1-1/2X3/16	0.0754	0.078	3.371

Tabla 82*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro mínimo*

Tipo	Nombre perfil	r_{min} (in) Catálogo	r_{min} (in) Fórmulas	%Variación
L	L8X8X3/4	1.57	1.578	0.527
L	L7X4X3/8	0.873	0.881	0.957
L	L5X3-1/2X5/8	0.746	0.750	0.482
L	L2-1/2X1-1/2X3/16	0.324	0.327	0.846

Tabla 83*Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)*

Tipo	Nombre perfil	J (in ⁴) Catálogo	J (in ⁴) Fórmulas	%Variación
L	L8X8X3/4	2.21	2.207	0.132
L	L7X4X3/8	0.198	0.199	0.531
L	L5X3-1/2X5/8	0.651	0.658	1.118
L	L2-1/2X1-1/2X3/16	0.00921	0.009	0.043

Tabla 84

Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (C_w)

Tipo	Nombre perfil	C_w (in ⁶) Catálogo	C_w (in ⁶) Fórmulas	% Variación
L	L8X8X3/4	10.4	10.390	0.093
L	L7X4X3/8	0.544	0.544	0.058
L	L5X3-1/2X5/8	0.918	0.918	0.013
L	L2-1/2X1-1/2X3/16	0.00306	0.003	0.784

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles en L es:

$$A_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.83\%}$$

$$Xcg_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.29\%} \quad Ycg_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.23\%}$$

$$Xp_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.81\%} \quad Yp_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{2.13\%}$$

$$Ix_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.77\%} \quad Iy_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.83\%}$$

$$Zx_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{1.2\%} \quad Zy_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{1.51\%}$$

$$Sx_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.78\%} \quad Sy_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.9\%}$$

$$rx_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.17\%} \quad ry_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.17\%}$$

$$Iz_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{2.58\%} \quad rZ_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.83\%}$$

$$J_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{1.07\%} \quad CW_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.23\%}$$

5.1.6. Perfiles T sin pendiente (laminado en caliente)

Tabla 85

Dimensiones WT15x49.5

Perfil	WT15X49.5
d (in)	14.8
bf (in)	10.5
tw (in)	0.52
tf (in)	0.67
r (in)	0.65

5.1.6.1. Área.

$$A = tf * bf + (d - tf) * tw + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * 2 = 14.56 \text{ in}^2$$

5.1.6.2. Centro geométrico.

$$X_{cg} = \frac{bf}{2} = 5.25 \text{ in}$$

$$Y_{cg} = \frac{bf * \frac{tf^2}{2} + (d - tf) * tw * \left(\frac{d - tf}{2} + tf\right) + \left(\left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4}\right) * \left(tf + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)}\right)\right) * 2}{A}$$

$$= 4.074 \text{ in}$$

5.1.6.3. Inercias.

$$I_x = I_{x_T} + 2 * \left(I_{x_{Sobrante}} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(Y_{cg} - tf - r + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right)^2 \right) = 321.271 \text{ in}^4$$

$$I_y = I_{y_T} + 2 * \left(I_{x_{Sobrante}} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{tw}{2} + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) \right) = 64.32 \text{ in}^4$$

5.1.6.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{d - Y_{cg}} = 29.953 \text{ in}^3$$

$$S_y = \frac{I_y}{X_{cg}} = 12.349 \text{ in}^3$$

5.1.6.5. Módulos plásticos.

$$Z_y = \left(\frac{bf^2}{8} * tf + (d - tf) * \frac{tw^2}{8} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{tw}{2} + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) \right) * 2$$

$$= 19.496 \text{ in}^3$$

El módulo plástico en dirección X se obtiene del ciclo mencionado anteriormente.

$$Z_x = 54.953 \text{ in}^3$$

5.1.6.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 4.697 \text{ in}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 2.11 \text{ in}$$

5.1.6.7. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = \frac{bf * tf^3 + (d - tf) * tw^3}{3} + \alpha * D^4 - 2 * 0.105 * tf^4 - 0.105 * tw^4 = 1.879 \text{ in}^3$$

5.1.6.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = \frac{tf^3 * bf^3}{144} + \frac{1}{36} * \left(d - \frac{tf}{2}\right)^3 * tw^3 = 14.239 \text{ in}^6$$

Tabla 86

Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo

Propiedades	Valores Catálogo	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	14.5	14.564	0.441
Xcg (in)	5.25	5.250	0.000
Ycg (in)	4.09	4.074	0.383
Xp (in)	5.25	5.250	0.000
Yp (in)	0.912	0.884	3.029
Ix (in ⁴)	322	321.271	0.226
Sx (in ³)	30.0	29.953	0.155
Zx (in ³)	54.4	54.093	0.565
rx (in)	4.71	4.697	0.282
Iy (in ⁴)	63.9	64.832	1.459
Sy (in ³)	12.2	12.349	1.221
Zy (in ³)	19.3	19.496	1.013
ry (in)	2.10	2.110	0.470
J (in ⁴)	1.88	1.879	0.033
Cw (in ⁶)	14.3	14.239	0.426

Para tener un margen de cuanta diferencia hay entre las fórmulas y el catálogo, se hará con todos los demas perfiles; sin embargo, se mostrará una muestra por la gran cantidad de perfiles y el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 87

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A (in ²) Catálogo	A (in ²) Fórmulas	%Variación
WT	WT13.5X42	12.4	12.424	0.847
WT	WT5X44	13.0	12.984	0.419
MT	MT6.25X5.8	1.70	1.728	0.455
MT	MT2.5X9.45	2.78	2.806	0.891

Tabla 88*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X*

Tipo	Nombre perfil	X_{cg} (in) Catálogo	X_{cg} (in) Fórmulas	%Variación
WT	WT13.5X42	0.778	0.783	0.587
WT	WT5X44	0.514	0.517	0.531
MT	MT6.25X5.8	1.04	0.984	5.386
MT	MT2.5X9.45	0.849	0.802	5.513

Tabla 89*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Y_{cg} (in) Catálogo	Y_{cg} (in) Fórmulas	%Variación
WT	WT13.5X42	3.48	3.491	0.315
WT	WT5X44	1.06	1.059	0.057
MT	MT6.25X5.8	1.84	1.804	1.944
MT	MT2.5X9.45	0.512	0.508	0.684

Tabla 90*Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	X_p (in) Catálogo	X_p (in) Fórmulas	%Variación
WT	WT13.5X42	5	5	0
WT	WT5X44	5.15	5.15	0
MT	MT6.25X5.8	1.75	1.75	0
MT	MT2.5X9.45	2.5	2.5	0

Tabla 91*Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Y_p (in) Catálogo	Y_p (in) Fórmulas	%Variación
WT	WT13.5X42	0.621	0.621	0.033
WT	WT5X44	0.631	0.630	0.109
MT	MT6.25X5.8	0.808	0.677	16.213
MT	MT2.5X9.45	0.276	0.281	1.676

Tabla 92*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	I_x (in⁴) Catálogo	I_x (in⁴) Fórmulas	%Variación
WT	WT13.5X42	216	218.453	1.136
WT	WT5X44	20.8	20.804	0.018
MT	MT6.25X5.8	6.94	7.005	0.936
MT	MT2.5X9.45	1.05	1.050	0.024

Tabla 93*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z _x (in ³) Catálogo	Z _x (in ³) Fórmulas	%Variación
WT	WT13.5X42	39.2	39.513	0.799
WT	WT5X44	9.65	9.663	0.140
MT	MT6.25X5.8	2.86	2.867	0.227
MT	MT2.5X9.45	1.03	1.033	0.311

Tabla 94*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x (in ³) Catálogo	S _x (in ³) Fórmulas	%Variación
WT	WT13.5X42	21.9	22.046	0.666
WT	WT5X44	4.77	4.771	0.017
MT	MT6.25X5.8	1.57	1.576	0.359
MT	MT2.5X9.45	0.528	0.527	0.120

Tabla 95*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x (in ⁴) Catálogo	r _x (in ⁴) Fórmulas	%Variación
WT	WT13.5X42	4.18	4.193	0.316
WT	WT5X44	1.27	1.266	0.332
MT	MT6.25X5.8	2.03	2.014	0.810
MT	MT2.5X9.45	0.617	0.612	0.848

Tabla 96*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I _y (in ⁴) Catálogo	I _y (in ⁴) Fórmulas	%Variación
WT	WT13.5X42	52.8	53.459	1.249
WT	WT5X44	89.3	90.251	1.065
MT	MT6.25X5.8	0.756	0.757	0.170
MT	MT2.5X9.45	4.35	4.343	0.154

Tabla 97*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z _y (in ³) Catálogo	Z _y (in ³) Fórmulas	%Variación
WT	WT13.5X42	16.6	16.731	0.791
WT	WT5X44	26.5	26.707	0.781
MT	MT6.25X5.8	0.684	0.691	0.989
MT	MT2.5X9.45	2.66	2.669	0.328

Tabla 98

Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y

Tipo	Nombre perfil	S_y (in ³) Catálogo	S_y (in ³) Fórmulas	%Variación
WT	WT13.5X42	10.6	10.692	0.867
WT	WT5X44	17.4	17.524	0.715
MT	MT6.25X5.8	0.432	0.433	0.170
MT	MT2.5X9.45	1.74	1.737	0.154

Tabla 99

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y

Tipo	Nombre perfil	r_y (in) Catálogo	r_y (in) Fórmulas	%Variación
WT	WT13.5X42	2.07	2.074	0.209
WT	WT5X44	2.63	2.636	0.244
MT	MT6.25X5.8	0.669	0.662	1.038
MT	MT2.5X9.45	1.26	1.244	1.263

Tabla 100

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J (in ⁴) Catálogo	J (in ⁴) Fórmulas	%Variación
WT	WT13.5X42	1.40	1.404	0.306
WT	WT5X44	3.75	3.762	0.326
MT	MT6.25X5.8	0.0206	0.024	15.529
MT	MT2.5X9.45	0.156	0.165	5.729

Tabla 101

Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (C_w)

Tipo	Nombre perfil	C _w (in ⁶) Catálogo	C _w (in ⁶) Fórmulas	%Variación
WT	WT13.5X42	7.79	7.8710	1.0396
WT	WT5X44	8.02	8.0978	0.9703
MT	MT6.25X5.8	0.0268	0.0268	0.0224
MT	MT2.5X9.45	0.0732	0.0730	0.2104

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles en T es:

$$A_{\% \text{ Variación}} = 0.22\%$$

$$Xc_{g\% \text{ Variación}} = 0.00\% \quad Yc_{g\% \text{ Variación}} = 0.30\%$$

$$Xp_{\% \text{ Variación}} = 0.00\% \quad Yp_{\% \text{ Variación}} = 0.76\%$$

$$\begin{aligned}
 Ix_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.39\%} & Iy_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.42\%} \\
 Zx_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.43\%} & Zy_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.40\%} \\
 Sx_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.26\%} & Sy_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.30\%} \\
 rx_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.21\%} & ry_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.25\%} \\
 J_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{1.01\%} & Cw_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.35\%}
 \end{aligned}$$

5.1.7. Perfiles TS con pendiente (laminado en caliente)

Tabla 102

Dimensiones ST10x37.5

Perfil	ST10X37.5
d (in)	10
bf (in)	6.39
tw (in)	0.635
tf (in)	0.795
r (in)	0.81

5.1.7.1. Área.

$$A = A_{\text{aleta}} * 2 + d * tw = 10.925 \text{ in}^2$$

5.1.7.2. Centroide geométrico.

$$X_{cg} = \frac{bf}{2} = 3.195 \text{ in}$$

$$Y_{cg} = \frac{Y_{\text{aleta}} * A_{\text{aleta}} * 2 + \frac{d^2 * tw}{2}}{A} = 3.078 \text{ in}$$

5.1.7.3. Inercias.

$$I_x = \left(Ix_{\text{aleta}} + A_{\text{aleta}} * (Y_{cg} - Y_{\text{aleta}})^2 \right) * 2 + tw * \frac{d^3}{12} + tw * d * \left(\frac{d}{2} - Y_{cg} \right)^2 = 109.24 \text{ in}^4$$

$$I_y = \left(Iy_{\text{aleta}} + A_{\text{aleta}} * \left(X_{\text{aleta}} + \frac{tw}{2} \right)^2 \right) * 2 + \frac{tw^3 * d}{12} = 15.158 \text{ in}^4$$

5.1.7.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{d - Y_{cg}} = 15.78 \text{ in}^3$$

$$S_y = \frac{I_y}{X_{cg}} = 4.744 \text{ in}^3$$

5.1.7.5. Módulos plásticos.

$$\begin{aligned} Z_y &= \left(\frac{bf^2}{8} * (tf - h2) + h1 * \frac{bf - tw}{4} * \left(\frac{bf - tw}{6} + \frac{tw}{2} \right) + (d - (tf - h2)) * \frac{tw^2}{8} \right) * 2 \\ &= 8.381 \text{ in}^3 \end{aligned}$$

El módulo plástico en dirección X se obtiene del ciclo mencionado anteriormente.

$$Z_x = 28.636 \text{ in}^3$$

5.1.7.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 3.162 \text{ in}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 1.178 \text{ in}$$

5.1.7.7. Constante torsional de Saint Venant.

$$\alpha = -0.042 + 0.2204 * \frac{tw}{tf} + 0.1355 * \frac{r}{tf} - 0.0865 * tw * \frac{r}{tf^2} - 0.0725 * \frac{tw^2}{tf^2}$$

$$D = \frac{\left((tf + r)^2 + tw * \left(r + \frac{tw}{4} \right) \right)}{2 * r + tf}$$

$$J = \frac{(bf * tf^3 + (d - tf) * tw^3)}{3} + \alpha * D^4 - 2 * 0.105 * tf^4 - 0.105 * tw^4 = 2.229 \text{ in}^4$$

5.1.7.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = \frac{tf^3 * bf^3}{144} + \frac{1}{36} * \left(d - \frac{tf}{2} \right)^3 * tw^3 = 7.208 \text{ in}^6$$

Tabla 103

Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo

Propiedades	Valores Catálogo	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	11.0	10.925	0.680
X _{cg} (in)	3.195	3.195	0.000
Y _{cg} (in)	3.07	3.078	0.249
X _p (in)	3.195	3.195	0.000
Y _p (in)	1.34	1.398	4.291
I _x (in ⁴)	109	109.237	0.217
S _x (in ³)	15.8	15.780	0.125
Z _x (in ³)	28.6	28.636	0.126
r _x (in)	3.15	3.162	0.383
I _y (in ⁴)	14.8	15.158	2.416
S _y (in ³)	4.62	4.744	2.687
Z _y (in ³)	8.36	8.381	0.257
r _y (in)	1.16	1.178	1.541
J (in ⁴)	2.28	2.229	2.243
C _w (in ⁶)	7.21	7.208	0.028

Para tener un margen de cuanta diferencia hay entre las fórmulas y el catálogo, se hará con todos los demas perfiles; sin embargo, se mostrará una muestra por la gran cantidad de perfiles y el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 104

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A (in ²) Catálogo	A (in ²) Fórmulas	%Variación
ST	ST12X53	15.6	15.529	0.458
ST	ST10X33	9.70	9.625	0.771
ST	ST5X17.5	5.14	5.104	0.703
ST	ST1.5X3.75	1.10	1.085	1.331

Tabla 105

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	X _{cg} (in) Catálogo	X _{cg} (in) Fórmulas	%Variación
ST	ST12X53	3.935	3.935	0.000
ST	ST10X33	3.13	3.13	0.000
ST	ST5X17.5	2.47	2.47	0.000
ST	ST1.5X3.75	1.255	1.255	0.000

Tabla 106*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Y _{cg} (in) Catálogo	Y _{cg} (in) Fórmulas	%Variación
ST	ST12X53	3.28	3.305	0.753
ST	ST10X33	2.81	2.818	0.284
ST	ST5X17.5	1.56	1.562	0.133
ST	ST1.5X3.75	0.432	0.432	0.062

Tabla 107*Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	X _p (in) Catálogo	X _p (in) Fórmulas	%Variación
ST	ST12X53	3.935	3.935	0.000
ST	ST10X33	3.13	3.13	0.000
ST	ST5X17.5	2.47	2.47	0.000
ST	ST1.5X3.75	1.255	1.255	0.000

Tabla 108*Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Y _p (in) Catálogo	Y _p (in) Fórmulas	%Variación
ST	ST12X53	1.02	1.032	1.173
ST	ST10X33	0.841	0.858	1.646
ST	ST5X17.5	0.673	0.704	4.569
ST	ST1.5X3.75	0.219	0.223	1.784

Tabla 109*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	I _x (in ⁴) Catálogo	I _x (in ⁴) Fórmulas	%Variación
ST	ST12X53	216	218.368	1.093
ST	ST10X33	92.9	92.950	0.054
ST	ST5X17.5	12.5	12.491	0.072
ST	ST1.5X3.75	0.200	0.204	2.249

Tabla 110*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z _x (in ³) Catálogo	Z _x (in ³) Fórmulas	%Variación
ST	ST12X53	43.3	43.615	0.728
ST	ST10X33	23.4	23.363	0.159
ST	ST5X17.5	6.58	6.583	0.048
ST	ST1.5X3.75	0.351	0.351	0.064

Tabla 111*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S_x (in ³) Catálogo	S_x (in ³) Fórmulas	%Variación
ST	ST12X53	24.1	24.275	0.727
ST	ST10X33	12.9	12.942	0.326
ST	ST5X17.5	3.62	3.633	0.367
ST	ST1.5X3.75	0.187	0.191	2.370

Tabla 112*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r_x (in) Catálogo	r_x (in) Fórmulas	%Variación
ST	ST12X53	3.72	3.750	0.805
ST	ST10X33	3.10	3.108	0.244
ST	ST5X17.5	1.56	1.564	0.282
ST	ST1.5X3.75	0.426	0.434	1.894

Tabla 113*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I_y (in ⁴) Catálogo	I_y (in ⁴) Fórmulas	%Variación
ST	ST12X53	38.4	38.882	1.255
ST	ST10X33	13.7	14.112	3.009
ST	ST5X17.5	4.15	4.223	1.753
ST	ST1.5X3.75	0.289	0.297	2.741

Tabla 114*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z_y (in ³) Catálogo	Z_y (in ³) Fórmulas	%Variación
ST	ST12X53	16.7	16.632	0.408
ST	ST10X33	7.70	7.714	0.176
ST	ST5X17.5	3.10	3.108	0.266
ST	ST1.5X3.75	0.411	0.412	0.298

Tabla 115*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S_y (in ³) Catálogo	S_y (in ³) Fórmulas	%Variación
ST	ST12X53	9.76	9.881	1.240
ST	ST10X33	4.39	4.509	2.704
ST	ST5X17.5	1.68	1.710	1.763
ST	ST1.5X3.75	0.230	0.236	2.866

Tabla 116

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y

Tipo	Nombre perfil	r_y (in) Catálogo	r_y (in) Fórmulas	%Variación
ST	ST12X53	1.57	1.582	0.788
ST	ST10X33	1.19	1.211	1.753
ST	ST5X17.5	0.899	0.910	1.178
ST	ST1.5X3.75	0.513	0.523	1.957

Tabla 117

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J (in ⁴) Catálogo	J (in ⁴) Fórmulas	%Variación
ST	ST12X53	5.05	4.892	3.125
ST	ST10X33	1.78	1.736	2.470
ST	ST5X17.5	0.633	0.631	0.231
ST	ST1.5X3.75	0.0432	0.045	3.743

Tabla 118

Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (Cw)

Tipo	Nombre perfil	C_w (in ⁶) Catálogo	C_w (in ⁶) Fórmulas	%Variación
ST	ST12X53	15.0	15.137	0.913
ST	ST10X33	4.02	4.024	0.088
ST	ST5X17.5	0.725	0.725	0.027
ST	ST1.5X3.75	0.00496	0.005	0.121

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles en TS es:

$$A_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.81\%}$$

$$Xcg_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.00\%} \quad Ycg_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.34\%}$$

$$Xp_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.00\%} \quad Yp_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{2.16\%}$$

$$Ix_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.77\%} \quad Iy_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{2.35\%}$$

$$Zx_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.21\%} \quad Zy_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.29\%}$$

$$Sx_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.77\%} \quad Sy_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{2.34\%}$$

$$rx_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.73\%} \quad ry_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{1.55\%}$$

$$J_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{3.31\%} \quad Cw_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.25\%}$$

5.1.8. Perfiles tubulares estructurales rectangulares (conformado frío)

Tabla 119

Dimensiones HSS7x4x5/16

Perfil	HSS7X4X5/16
L1 (in)	7
L2 (in)	4
tf (in)	0.3125
r (in)	0.3125

tf será tomado como para calcular todas las propiedades con excepción de Cw como 0.93tf

5.1.8.1. Área.

$$A = (b - (t + r) * 2) + (d - (t + r) * 2) * 2 * t + \pi * (r + t)^2 - \pi * r^2 = 5.827 \text{ in}^2$$

5.1.8.2. Centroide geométrico.

$$X_{cg} = \frac{bf}{2} = 2 \text{ in} \qquad Y_{cg} = \frac{d}{2} = 3.5 \text{ in}$$

5.1.8.3. Inercias.

$$I_x = I_{recx} + \left(I_{xc} + \left(\pi * \frac{(r + t)^2}{4} - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{d}{2} - r - t + \text{brazo} \right)^2 \right) * 4 = 36.28 \text{ in}^4$$

$$I_y = I_{recy} + \left(I_{xc} + \left(\pi * \frac{(r + t)^2}{4} - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{b}{2} - r - t + \text{brazo} \right)^2 \right) * 4 = 15.095 \text{ in}^4$$

5.1.8.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{cg}} = 10.365 \text{ in}^3 \qquad S_y = \frac{I_y}{X_{cg}} = 7.548 \text{ in}^3$$

5.1.8.5. Módulos plásticos.

$$Z_x = \left((b - (t + r) * 2) * t * \frac{d - t}{2} + \left(\frac{d}{2} - t - r \right)^2 * t + \left(\frac{\pi * ((r + t)^2 - r^2)}{2} \right) * \left(\frac{d}{2} - t - r + \text{brazo} \right) \right) * 2 = 13 \text{ in}^3$$

$$Zy = \left((d - (t + r)) * 2 \right) * t * \frac{b - t}{2} + \left(\frac{b}{2} - t - r \right)^2 * t + \left(\frac{\pi * ((r + t)^2 - r^2)}{2} \right) * \left(\frac{b}{2} - t - r + brazo \right) * 2 = 8.8 \text{ in}^3$$

5.1.8.6. Radios de giro.

$$rx = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 2.495 \text{ in} \qquad ry = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 1.609 \text{ in}$$

5.1.8.7. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = 4 * Ap^2 * \frac{t}{P} = 35.375 \text{ in}^4$$

5.1.8.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

Espesor nominal para el cálculo, no con el 93% del espesor.

$$Cw = (b - t)^2 * (d - t)^2 * \frac{t}{24} * \frac{((d - t) - (b - t))^2}{(d - t) - (b - t)} + \frac{2 * ((d - t)^3 + (b - t)^3) * t^3}{144}$$

$$= 7.017 \text{ in}^6$$

Tabla 120

Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo

Propiedades	Valores Catálogo	Valores Fórmulas	% Error
Área (in ²)	5.85	5.827	0.385
Xcg (in)	2	2	0.000
Ycg (in)	3.5	3.5	0.000
Ix (in ⁴)	36.5	36.278	0.609
Sx (in ³)	10.4	10.365	0.336
Zx (in ³)	13.1	12.999	0.771
rx (in)	2.50	2.495	0.198
Iy (in ⁴)	15.2	15.095	0.689
Sy (in ³)	7.58	7.548	0.427
Zy (in ³)	8.83	8.800	0.344
ry (in)	1.61	1.609	0.033
J (in ⁴)	35.4	35.374	0.073
Cw (in ⁶)	6.89	7.017	1.842

Para tener un margen de cuanta diferencia hay entre las fórmulas y el catálogo, se hará con todos los demas perfiles; sin embargo, se mostrará una muestra por la gran cantidad de perfiles y el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 121

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A (in²) Catálogo	A (in²) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS20X8X.500	24.6	24.590	0.039
HSS	HSS12X12X.625	25.7	25.635	0.253
HSS	HSS3X3X.375	3.39	3.3696	0.603
HSS	HSS3X2-1/2X.188	1.71	1.714	0.249

Tabla 122

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	X_{cg} (in) Catálogo	X_{cg} (in) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS20X8X.500	4	4	0.000
HSS	HSS12X12X.625	6	6	0.000
HSS	HSS3X3X.375	1.5	1.5	0.000
HSS	HSS3X2-1/2X.188	1.25	1.25	0.000

Tabla 123

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y

Tipo	Nombre perfil	Y_{cg} (in) Catálogo	Y_{cg} (in) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS20X8X.500	10	10	0.000
HSS	HSS12X12X.625	6	6	0.000
HSS	HSS3X3X.375	1.5	1.5	0.000
HSS	HSS3X2-1/2X.188	1.5	1.5	0.000

Tabla 124

Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X

Tipo	Nombre perfil	I_x (in⁴) Catálogo	I_x (in⁴) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS20X8X.500	1190	1189.91	0.007
HSS	HSS12X12X.625	548	546.70	0.237
HSS	HSS3X3X.375	3.78	3.732	1.261
HSS	HSS3X2-1/2X.188	2.11	2.11	0.144

Tabla 125*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z _x (in ³) Catálogo	Z _x (in ³) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS20X8X.500	152	151.423	0.380
HSS	HSS12X12X.625	109	108.393	0.557
HSS	HSS3X3X.375	3.25	3.225	0.757
HSS	HSS3X2-1/2X.188	1.73	1.724	0.355

Tabla 126*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x (in ³) Catálogo	S _x (in ³) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS20X8X.500	119	118.991	0.007
HSS	HSS12X12X.625	91.4	91.117	0.310
HSS	HSS3X3X.375	2.52	2.488	1.261
HSS	HSS3X2-1/2X.188	1.41	1.405	0.380

Tabla 127*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x (in) Catálogo	r _x (in) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS20X8X.500	6.96	6.956	0.054
HSS	HSS12X12X.625	4.62	4.618	0.042
HSS	HSS3X3X.375	1.06	1.052	0.712
HSS	HSS3X2-1/2X.188	1.11	1.109	0.123

Tabla 128*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I _y (in ⁴) Catálogo	I _y (in ⁴) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS20X8X.500	283	282.77	0.080
HSS	HSS12X12X.625	548	546.70	0.237
HSS	HSS3X3X.375	3.78	3.732	1.261
HSS	HSS3X2-1/2X.188	1.59	1.58	0.329

Tabla 129*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z _y (in ³) Catálogo	Z _y (in ³) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS20X8X.500	79.5	79.406	0.118
HSS	HSS12X12X.625	109	108.393	0.557
HSS	HSS3X3X.375	3.25	3.225	0.757
HSS	HSS3X2-1/2X.188	1.52	1.520	0.010

Tabla 130

Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y

Tipo	Nombre perfil	S_y (in ³) Catálogo	S_y (in ³) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS20X8X.500	70.8	70.69	0.150
HSS	HSS12X12X.625	91.4	91.12	0.310
HSS	HSS3X3X.375	2.52	2.488	1.261
HSS	HSS3X2-1/2X.188	1.27	1.27	0.172

Tabla 131

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y

Tipo	Nombre perfil	r_y (in) Catálogo	r_y (in) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS20X8X.500	3.39	3.391	0.032
HSS	HSS12X12X.625	4.62	4.618	0.042
HSS	HSS3X3X.375	1.06	1.052	0.712
HSS	HSS3X2-1/2X.188	0.963	0.961	0.157

Tabla 132

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J (in ⁴) Catálogo	J (in ⁴) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS20X8X.500	757	756.89	0.014
HSS	HSS12X12X.625	885	885.79	0.090
HSS	HSS3X3X.375	6.64	6.634	0.091
HSS	HSS3X2-1/2X.188	3.00	3.00	0.080

Tabla 133

Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (C_w)

Tipo	Nombre perfil	C _w (in ⁶) Catálogo	C _w (in ⁶) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS20X8X.500	2391.28	2390.168	0.047
HSS	HSS12X12X.625	6.72	8.122	20.857
HSS	HSS3X3X.375	0.02	0.0265	32.480
HSS	HSS3X2-1/2X.188	0.02	0.019	3.550

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles Tubulares estructurales es:

$$A_{\% \text{ Variación}} = 0.27\%$$

$$Xcg_{\% \text{ Variación}} = 0.00\% \quad Ycg_{\% \text{ Variación}} = 0.00\%$$

$$Ix_{\% \text{ Variación}} = 0.42\% \quad Iy_{\% \text{ Variación}} = 0.4\%$$

$$\begin{aligned}
 Zx_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.33\%} & Zy_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.3\%} \\
 Sx_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.42\%} & Sy_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.39\%} \\
 rx_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.14\%} & ry_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.15\%} \\
 J_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.15\%} & Cw_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{13.18\%}
 \end{aligned}$$

El alto porcentaje de variación en Cw se debe a que cuando los valores se aproximan a 0, la variación aumenta, por que una minima diferencia hace que el porcentaje de variación aumente, pero esto no es un cambio significativo en los cálculos. Sin embargo, retirando los valores proximos a 0 el porcentaje es el siguiente:

$$Cw_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{3.6\%}$$

5.1.9. Perfiles tubulares estructurales circulares (conformado frio)

Tabla 134

Dimensiones Pipe1-1/2STD

Perfil	Pipe1-1/2STD
D (in)	1.9
t (in)	0.145

t será tomado como para calcular todas las propiedades con excepción de Cw como 0.93t

5.1.9.1. Área.

$$A = \frac{\pi}{4} * (d^2 - (d - 2 * t)^2) = 0.748 \text{ in}^2$$

5.1.9.2. Centroides geométricos.

$$X_{cg} = Y_{cg} = \frac{D}{2} = 0.95 \text{ in}$$

5.1.9.3. Inercias.

$$Ix = \frac{\pi}{64} * (d^4 - (d - 2 * t)^4) = 0.293 \text{ in}^4$$

$$Iy = \frac{\pi}{64} * (d^4 - (d - 2 * t)^4) = 0.293 \text{ in}^4$$

5.1.9.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{cg}} = 0.308 \text{ in}^3$$

$$S_y = \frac{I_y}{X_{cg}} = 0.308 \text{ in}^3$$

5.1.9.5. Módulos plásticos.

$$Z_x = \text{Semibrazo} * A = 0.421 \text{ in}^3$$

$$Z_y = \text{Semibrazo} * A = 0.421 \text{ in}^3$$

5.1.9.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 0.626 \text{ in}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 0.626 \text{ in}$$

5.1.9.7. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = I_x + I_y = 0.586 \text{ in}^4$$

5.1.9.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = 0$$

Tabla 135

Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo

Propiedades	Valores Catálogo	Valores Fórmulas	% Error
Área (in ²)	0.749	0.748	0.161
Xcg (in)	0.95	0.950	0.000
Ycg (in)	0.95	0.950	0.000
Ix (in ⁴)	0.293	0.293	0.019
Sx (in ³)	0.309	0.308	0.207
Zx (in ³)	0.421	0.421	0.005
rx (in)	0.626	0.626	0.017
Iy (in ⁴)	0.293	0.293	0.019
Sy (in ³)	0.309	0.308	0.207
Zy (in ³)	0.421	0.421	0.005
ry (in)	0.626	0.626	0.017
J (in ⁴)	0.586	0.586	0.019
Cw (in ⁶)	0	0.000	0.000

Para tener un margen de cuanta diferencia hay entre las fórmulas y el catálogo, se hará con todos los demás perfiles; sin embargo, se mostrará una muestra por la gran cantidad de perfiles y el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 136

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A (in ²) Catálogo	A (in ²) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS6.875X.188	3.66	3.680	0.553
HSS	HSS3X.125	1.05	1.053	0.302
PIPE	Pipe3-1/2STD	2.50	2.502	0.097
PIPE	Pipe6XXS	14.7	14.708	0.054

Tabla 137

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	X _{cg} (in) Catálogo	X _{cg} (in) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS6.875X.188	3.4375	3.438	0.000
HSS	HSS3X.125	1.5	1.5	0.000
PIPE	Pipe3-1/2STD	2	2	0.000
PIPE	Pipe6XXS	3.315	3.315	0.000

Tabla 138

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y.

Tipo	Nombre perfil	Y _{cg} (in) Catálogo	Y _{cg} (in) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS6.875X.188	3.4375	3.438	0.000
HSS	HSS3X.125	1.5	1.5	0.000
PIPE	Pipe3-1/2STD	2	2	0.000
PIPE	Pipe6XXS	3.315	3.315	0.000

Tabla 139

Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X.

Tipo	Nombre perfil	I _x (in ⁴) Catálogo	I _x (in ⁴) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS6.875X.188	20.6	20.666	0.319
HSS	HSS3X.125	1.09	1.097	0.601
PIPE	Pipe3-1/2STD	4.52	4.507	0.298
PIPE	Pipe6XXS	63.5	63.600	0.158

Tabla 140

Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X.

Tipo	Nombre perfil	Z _x (in ³) Catálogo	Z _x (in ³) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS6.875X.188	7.81	7.851	0.521
HSS	HSS3X.125	0.965	0.967	0.234
PIPE	Pipe3-1/2STD	3.03	3.022	0.269
PIPE	Pipe6XXS	27.4	27.451	0.185

Tabla 141

Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X.

Tipo	Nombre perfil	S _x (in ³) Catálogo	S _x (in ³) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS6.875X.188	5.99	6.012	0.365
HSS	HSS3X.125	0.730	0.731	0.142
PIPE	Pipe3-1/2STD	2.26	2.253	0.298
PIPE	Pipe6XXS	19.2	19.186	0.075

Tabla 142

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X.

Tipo	Nombre perfil	r _x (in) Catálogo	r _x (in) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS6.875X.188	2.37	2.370	0.014
HSS	HSS3X.125	1.02	1.020	0.038
PIPE	Pipe3-1/2SCH40	1.34	1.342	0.146
PIPE	Pipe6XXS	2.08	2.079	0.026

Tabla 143

Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y.

Tipo	Nombre perfil	I _y (in ⁴) Catálogo	I _y (in ⁴) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS6.875X.188	20.6	20.666	0.319
HSS	HSS3X.125	1.09	1.097	0.601
PIPE	Pipe3-1/2STD	4.52	4.507	0.298
PIPE	Pipe6XXS	63.5	63.600	0.158

Tabla 144

Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y.

Tipo	Nombre perfil	Z _y (in ³) Catálogo	Z _y (in ³) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS6.875X.188	7.81	7.851	0.521
HSS	HSS3X.125	0.965	0.968	0.234
PIPE	Pipe3-1/2STD	3.03	3.0219	0.269
PIPE	Pipe6XXS	27.4	27.451	0.185

Tabla 145

Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y.

Tipo	Nombre perfil	S_y (in ³) Catálogo	S_y (in ³) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS6.875X.188	5.99	6.011	0.365
HSS	HSS3X.125	0.730	0.731	0.142
PIPE	Pipe3-1/2STD	2.26	2.253	0.298
PIPE	Pipe6XXS	19.2	19.185	0.075

Tabla 146

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y.

Tipo	Nombre perfil	r_y (in) Catálogo	r_y (in) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS6.875X.188	2.37	2.370	0.014
HSS	HSS3X.125	1.02	1.020	0.038
PIPE	Pipe3-1/2STD	1.34	1.342	0.146
PIPE	Pipe6XXS	2.08	2.079	0.026

Tabla 147

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J).

Tipo	Nombre perfil	J (in ⁴) Catálogo	J (in ⁴) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS6.875X.188	41.1	41.331	0.563
HSS	HSS3X.125	2.19	2.193	0.142
PIPE	Pipe3-1/2STD	9.04	9.013	0.298
PIPE	Pipe6XXS	127	127.200	0.158

Tabla 148

Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (C_w).

Tipo	Nombre perfil	C _w (in ⁶) Catálogo	C _w (in ⁶) Fórmulas	%Variación
HSS	HSS6.875X.188	0	0	0.000
HSS	HSS3X.125	0	0	0.000
PIPE	Pipe3-1/2STD	0	0	0.000
PIPE	Pipe6XXS	0	0	0.000

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles Tubulares estructurales es:

$$A_{\% \text{ Variación}} = 0.29\%$$

$$Xcg_{\% \text{ Variación}} = 0.00\% \quad Ycg_{\% \text{ Variación}} = 0.00\%$$

$$Ix_{\% \text{ Variación}} = 0.28\% \quad Iy_{\% \text{ Variación}} = 0.28\%$$

$$Zx_{\% \text{ Variación}} = 0.23\% \quad Zy_{\% \text{ Variación}} = 0.23\%$$

$$Sx_{\% \text{ Variación}} = 0.23\% \quad Sy_{\% \text{ Variación}} = 0.23\%$$

$$rx_{\% \text{ Variación}} = 0.12\% \quad ry_{\% \text{ Variación}} = 0.12\%$$

$$J_{\% \text{ Variación}} = 0.28\% \quad Cw_{\% \text{ Variación}} = 0.00\%$$

5.1.10. Perfiles Placa

Tabla 149

Dimensiones Placa 5x2

Perfil	Placa 5x2
L1 (in)	5
L2 (in)	2

5.1.10.1. Área.

$$A = L1 * L2 = 10 \text{ in}^2$$

5.1.10.2. Centroide geométrico.

$$X_{cg} = \frac{L2}{2} = 1 \text{ in}$$

$$Y_{cg} = \frac{L1}{2} = 2.5 \text{ in}$$

5.1.10.3. Inercias.

$$Ix = \frac{L2 * L1^3}{12} = 20.833 \text{ in}^4$$

$$Iy = \frac{L1 * L2^3}{12} = 3.333 \text{ in}^4$$

5.1.10.4. Módulos elásticos.

$$Sx = \frac{Ix}{Y_{cg}} = 8.333 \text{ in}^3$$

$$Sy = \frac{Iy}{X_{cg}} = 3.333 \text{ in}^3$$

5.1.10.5. Módulos plásticos.

$$Zx = \frac{L2 * L1^2}{4} = 12.5 \text{ in}^3$$

$$Zy = \frac{L1 * L2^2}{4} = 5 \text{ in}^3$$

5.1.10.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 1.444 \text{ in} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 0.578 \text{ in}$$

5.1.10.7. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = L1 * \frac{L2^3}{3} * \left(1 - 0.21 * \frac{L2}{L1} * \left(1 - \frac{L2^4}{12 * L1^4} \right) \right) = 12.216 \text{ in}^4$$

5.1.10.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = 0$$

Tabla 150

Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS

Propiedades	Valores ETABS	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	10	10	0.00
Xcg (in)	1	1.000	0.000
Ycg (in)	2.5	2.500	0.000
Ix (in ⁴)	20.830	20.833	0.014
Sx (in ³)	8.330	8.333	0.036
Zx (in ³)	12.500	12.500	0.000
rx (in)	1.443	1.444	0.042
Iy (in ⁴)	3.333	3.333	0.000
Sy (in ³)	3.333	3.333	0.000
Zy (in ³)	5.000	5.000	0.000
ry (in)	0.577	0.578	0.116
J (in ⁴)	12.216	12.216	0.002

Para tener un margen de cuánta diferencia hay entre las fórmulas y ETABS, se hará con 4 muestras, para obtener el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 151

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A ETABS (in ²)	A Fórmulas (in ²)	%Variación
Sección rectangular	Placa3x1/8	0.375	0.38	1.333
Sección rectangular	Placa4x1	4	4	0.000
Sección rectangular	Placa5x1-3/8	6.875	6.88	0.073
Sección rectangular	Placa7x2	14	14	0.000

Tabla 152*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X*

Tipo	Nombre perfil	Xcg ETABS (in)	Xcg Fórmulas (in)	%Variación
Sección rectangular	Placa3x1/8	0.0625	0.0625	0.000
Sección rectangular	Placa4x1	0.5	0.5	0.000
Sección rectangular	Placa5x1-3/8	0.6875	0.6875	0.000
Sección rectangular	Placa7x2	1	1	0.000

Tabla 153*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Ycg ETABS (in)	Ycg Fórmulas (in)	%Variación
Sección rectangular	Placa3x1/8	1.5	1.5	0.000
Sección rectangular	Placa4x1	2	2	0.000
Sección rectangular	Placa5x1-3/8	2.5	2.5	0.000
Sección rectangular	Placa7x2	3.5	3.5	0.000

Tabla 154*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	Ix ETABS (in ⁴)	Ix Fórmulas (in ⁴)	%Variación
Sección rectangular	Placa3x1/8	0.28125	0.28	0.444
Sección rectangular	Placa4x1	5.333333	5.33	0.062
Sección rectangular	Placa5x1-3/8	14.322917	14.32	0.020
Sección rectangular	Placa7x2	57.166667	57.17	0.006

Tabla 155*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Zx ETABS (in ³)	Zx Fórmulas (in ³)	%Variación
Sección rectangular	Placa3x1/8	0.28125	0.28	0.444
Sección rectangular	Placa4x1	4	4	0.000
Sección rectangular	Placa5x1-3/8	8.59375	8.594	0.003
Sección rectangular	Placa7x2	24.5	24.5	0.000

Tabla 156*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x ETABS (in ³)	S _x Fórmulas (in ³)	%Variación
Sección rectangular	Placa3x1/8	0.1875	0.19	1.333
Sección rectangular	Placa4x1	2.667	2.67	0.125
Sección rectangular	Placa5x1-3/8	5.729	5.73	0.015
Sección rectangular	Placa7x2	16.333	16.33	0.020

Tabla 157*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x ETABS (in)	r _x Fórmulas (in)	%Variación
Sección rectangular	Placa3x1/8	0.866025	0.866	0.003
Sección rectangular	Placa4x1	1.154701	1.1547	0.000
Sección rectangular	Placa5x1-3/8	1.443376	1.4434	0.002
Sección rectangular	Placa7x2	2.020726	2.0207	0.001

Tabla 158*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I _y ETABS (in ⁴)	I _y Fórmulas (in ⁴)	%Variación
Sección rectangular	Placa3x1/8	0.000488	4.88E-04	0.061
Sección rectangular	Placa4x1	0.333333	0.33	1.000
Sección rectangular	Placa5x1-3/8	1.083171	1.08	0.293
Sección rectangular	Placa7x2	4.666667	4.67	0.071

Tabla 159*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z _y ETABS (in ³)	Z _y Fórmulas (in ³)	%Variación
Sección rectangular	Placa3x1/8	0.011719	0.01	14.668
Sección rectangular	Placa4x1	1	1	0.000
Sección rectangular	Placa5x1-3/8	2.363281	2.36	0.139
Sección rectangular	Placa7x2	7	7	0.000

Tabla 160*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S _y ETABS (in ³)	S _y Fórmulas (in ³)	%Variación
Sección rectangular	Placa3x1/8	0.007812	0.008	2.407
Sección rectangular	Placa4x1	0.666667	0.67	0.500
Sección rectangular	Placa5x1-3/8	1.575521	1.58	0.284
Sección rectangular	Placa7x2	4.666667	4.67	0.071

Tabla 161*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y*

Tipo	Nombre perfil	r _y ETABS (in)	r _y Fórmulas (in)	%Variación
Sección rectangular	Placa3x1/8	0.036084	0.0361	0.044
Sección rectangular	Placa4x1	0.288675	0.2887	0.009
Sección rectangular	Placa5x1-3/8	0.396928	0.3969	0.007
Sección rectangular	Placa7x2	0.57735	0.5774	0.009

Tabla 162*Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)*

Tipo	Nombre perfil	J ETABS (in ⁴)	J Fórmulas (in ⁴)	%Variación
Sección rectangular	Placa3x1/8	0.001902	1.90E-03	0.105
Sección rectangular	Placa4x1	1.263356	1.13	10.556
Sección rectangular	Placa5x1-3/8	4.082589	3.59	12.066
Sección rectangular	Placa7x2	17.547289	15.33	12.636

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles tubulares estructurales es:

$$A_{\% \text{ variación}} = 0.359\%$$

$$Xcg_{\% \text{ variación}} = 0.00\% \quad Ycg_{\% \text{ variación}} = 0.00\%$$

$$Ix_{\% \text{ variación}} = 0.133\% \quad Iy_{\% \text{ variación}} = 0.356\%$$

$$Zx_{\% \text{ variación}} = 0.112\% \quad Zy_{\% \text{ variación}} = 3.702\%$$

$$Sx_{\% \text{ variación}} = 0.373\% \quad Sy_{\% \text{ variación}} = 0.816\%$$

$$rx_{\% \text{ variación}} = 0.001\% \quad ry_{\% \text{ variación}} = 0.017\%$$

$$J_{\% \text{ variación}} = 8.841\%$$

La alta variación en las propiedades se debe a la falta de precisión ya que ETABS trabaja con 3 cifras significativas en sus propiedades.

5.1.11. Perfiles barra

Tabla 163

Dimensiones Barra 1-1/2

Perfil	Barra 1-1/2
D (in)	1.5

5.1.11.1. Área

$$A = \pi * \frac{D^2}{4} = 1.767 \text{ in}^2$$

5.1.11.2. Centroide geométrico

$$X_{cg} = \frac{D}{2} = 0.75 \text{ in}$$

$$Y_{cg} = \frac{D}{2} = 0.75 \text{ in}$$

5.1.11.3. Inercias

$$I_x = \pi * \frac{D^4}{64} = 0.249 \text{ in}^4$$

$$I_y = \pi * \frac{D^4}{64} = 0.249 \text{ in}^4$$

5.1.11.4. Módulos elásticos

$$S_y = \frac{I_y}{X_{cg}} = 0.331 \text{ in}^3$$

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{cg}} = 0.331 \text{ in}^3$$

5.1.11.5. Módulos plásticos

$$Z_x = \frac{A * D * 2}{3 * \pi} = 0.563 \text{ in}^3$$

$$Z_y = \frac{A * D * 2}{3 * \pi} = 0.563 \text{ in}^3$$

5.1.11.6. Radios de giro

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 0.375 \text{ in}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 0.375 \text{ in}$$

5.1.11.7. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = I_x + I_y = 0.497 \text{ in}^4$$

5.1.11.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = 0$$

Tabla 164

Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS

Propiedades	Valores ETABS	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	1.770	1.767	0.00
Xcg (in)	0.75	0.750	0.000
Ycg (in)	0.75	0.750	0.000
Ix (in ⁴)	0.250	0.249	0.598
Sx (in ³)	0.330	0.331	0.406
Zx (in ³)	0.560	0.563	0.536
rx (in)	0.375	0.375	0.000
Iy (in ⁴)	0.250	0.249	0.598
Sy (in ³)	0.330	0.331	0.406
Zy (in ³)	0.560	0.563	0.446
ry (in)	0.375	0.375	0.000
J (in ⁴)	0.500	0.497	0.598

Para tener un margen de cuánta diferencia hay entre las fórmulas y ETABS, se hará con 4 muestras, para obtener el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 165

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A ETABS (in ²)	A Fórmulas (in ²)	%Variación
Barra circular	Barra7/8	0.60	0.60	0.220
Barra circular	Barra1-1/4	1.23	1.23	0.229
Barra circular	Barra1-3/4	2.41	2.41	0.196
Barra circular	Barra2	3.14	3.14	0.013

Tabla 166

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	Xcg ETABS (in)	Xcg Fórmulas (in)	%Variación
Barra circular	Barra7/8	0.44	0.44	0.000
Barra circular	Barra1-1/4	0.63	0.63	0.000
Barra circular	Barra1-3/4	0.88	0.88	0.000
Barra circular	Barra2	1.00	1.00	0.000

Tabla 167*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Ycg ETABS (in)	Ycg Fórmulas (in)	%Variación
Barra circular	Barra7/8	0.44	0.44	0.000
Barra circular	Barra1-1/4	0.63	0.63	0.000
Barra circular	Barra1-3/4	0.88	0.88	0.000
Barra circular	Barra2	1.00	1.00	0.000

Tabla 168*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	I _x ETABS (in ⁴)	I _x Fórmulas (in ⁴)	%Variación
Barra circular	Barra7/8	2.88E-02	2.88E-02	0.000
Barra circular	Barra1-1/4	1.20E-01	1.20E-01	0.000
Barra circular	Barra1-3/4	4.60E-01	4.60E-01	0.000
Barra circular	Barra2	7.85E-01	7.85E-01	0.000

Tabla 169*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z _x ETABS (in ³)	Z _x Fórmulas (in ³)	%Variación
Barra circular	Barra7/8	0.112	0.112	0.309
Barra circular	Barra1-1/4	0.330	0.326	1.357
Barra circular	Barra1-3/4	0.890	0.893	0.363
Barra circular	Barra2	1.330	1.333	0.251

Tabla 170*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x ETABS (in ³)	S _x Fórmulas (in ³)	%Variación
Barra circular	Barra7/8	0.070	0.066	6.044
Barra circular	Barra1-1/4	0.190	0.192	0.920
Barra circular	Barra1-3/4	0.530	0.526	0.725
Barra circular	Barra2	0.790	0.785	0.583

Tabla 171*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r_x ETABS (in)	r_x Fórmulas (in)	%Variación
Barra circular	Barra7/8	0.219	0.219	0.023
Barra circular	Barra1-1/4	0.313	0.313	0.000
Barra circular	Barra1-3/4	0.438	0.438	0.000
Barra circular	Barra2	0.500	0.500	0.000

Tabla 172*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I_y ETABS (in ⁴)	I_y Fórmulas (in ⁴)	%Variación
Barra circular	Barra7/8	2.88E-02	2.88E-02	0.000
Barra circular	Barra1-1/4	1.20E-01	1.20E-01	0.000
Barra circular	Barra1-3/4	4.60E-01	4.60E-01	0.000
Barra circular	Barra2	7.85E-01	7.85E-01	0.000

Tabla 173*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z_y ETABS (in ³)	Z_y Fórmulas (in ³)	%Variación
Barra circular	Barra7/8	0.112	0.112	0.309
Barra circular	Barra1-1/4	0.330	0.326	1.357
Barra circular	Barra1-3/4	0.890	0.893	0.363
Barra circular	Barra2	1.330	1.333	0.251

Tabla 174*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S_y ETABS (in ³)	S_y Fórmulas (in ³)	%Variación
Barra circular	Barra7/8	0.07	0.07	6.044
Barra circular	Barra1-1/4	0.19	0.19	0.920
Barra circular	Barra1-3/4	0.53	0.53	0.725
Barra circular	Barra2	0.79	0.79	0.583

Tabla 175

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y

Tipo	Nombre perfil	r _y ETABS (in)	r _y Fórmulas (in)	%Variación
Barra circular	Barra7/8	0.219	0.219	0.023
Barra circular	Barra1-1/4	0.313	0.313	0.000
Barra circular	Barra1-3/4	0.438	0.438	0.000
Barra circular	Barra2	0.500	0.500	0.000

Tabla 176

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J ETABS (in ⁴)	J Fórmulas (in ⁴)	%Variación
Barra circular	Barra7/8	5.75E-02	5.75E-02	0.083
Barra circular	Barra1-1/4	2.40E-01	2.40E-01	0.132
Barra circular	Barra1-3/4	9.21E-01	9.21E-01	0.000
Barra circular	Barra2	1.57	1.57	0.000

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles Tubulares estructurales es:

$$A_{\% \text{ variación}} = \mathbf{0.164\%}$$

$$Xcg_{\% \text{ variación}} = \mathbf{0.00\%} \quad Ycg_{\% \text{ variación}} = \mathbf{0.00\%}$$

$$Ix_{\% \text{ variación}} = \mathbf{0.00\%} \quad Iy_{\% \text{ variación}} = \mathbf{0.00\%}$$

$$Zx_{\% \text{ variación}} = \mathbf{0.57\%} \quad Zy_{\% \text{ variación}} = \mathbf{0.57\%}$$

$$Sx_{\% \text{ variación}} = \mathbf{2.068\%} \quad Sy_{\% \text{ variación}} = \mathbf{2.068\%}$$

$$rx_{\% \text{ variación}} = \mathbf{0.006\%} \quad ry_{\% \text{ variación}} = \mathbf{0.006\%}$$

$$J_{\% \text{ variación}} = \mathbf{0.054\%}$$

La alta variación en las propiedades se debe a la falta de precisión ya que ETABS trabaja con 3 cifras significativas en sus propiedades.

5.1.12. Perfiles C (conformados en frío)

Para cada perfil, se trabajará de acuerdo sus unidades en catálogo, por ejemplo: las propiedades geométricas del catálogo europeo son en cm y dimensiones en mm, por otro lado, el

catálogo de ASESICO trabaja en mm en sus propiedades y dimensiones, sin embargo, se mencionará las unidades respectivas de propiedades y dimensiones en cada perfil.

Tabla 177

Dimensiones perfil UF 40x50x2

Perfil	UF 40x50x2.0
d (mm)	50
b (mm)	40
t (mm)	2
r (mm)	2.5

5.1.12.1. Área.

$$A = (d - 2 * (r + t)) * t + (b - (r + t)) * t * 2 + A_{Circulo} * 2 = 2.46 \text{ cm}^2$$

5.1.12.2. Centroide geométrico.

$$X_{cg} = \frac{(r + t - B_{Circulo}) * A_{Circulo} * 2 + \left(\frac{t}{2}\right) * (d - 2 * (r + t)) * t + (b - (r + t)) * t * \left(\frac{b - (r + t)}{2} + (r + t)\right) * 2}{A} = 1.34 \text{ cm}$$

$$Y_{cg} = \frac{d}{2} = 2.5 \text{ cm}$$

5.1.12.3. Inercias.

$$I_X = \left(I_{Circulo} + A_{Circulo} * (Y_{cg} - (r + t) + B_{Circulo})^2\right) * 2 + t * \frac{(d - 2 * (r + t))^3}{12} + \left((b - (r + t)) * \frac{t^3}{12} + (b - (r + t)) * t * \left(Y_{cg} - \frac{t}{2}\right)^2\right) * 2 = 10.5 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned}
I_Y = & \left(I_{\text{Circulo}} + A_{\text{Circulo}} * (X_{cg} - (r + t) + B_{\text{Circulo}})^2 \right) * 2 + (d - 2 * (r + t)) * \frac{t^3}{12} \\
& + (d - 2 * (r + t)) * t * \left(X_{cg} - \frac{t}{2} \right)^2 \\
& + \left(\frac{t * (b - (r + t))^3}{12} + (b - (r + t)) * t \right. \\
& \left. * \left(X_{cg} - \left(\frac{b - (r + t)}{2} + (r + t) \right) \right)^2 \right) * 2 = 4.14 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

5.1.12.4. Módulos elásticos del perfil.

$$S_X = \frac{I_X}{Y_{cg}} = 4.19 \text{ cm}^3 \qquad S_Y = \frac{I_Y}{b - X_{cg}} = 1.56 \text{ cm}^3$$

5.1.12.5. Radio de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 2.06 \text{ cm} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 1.3 \text{ cm}$$

5.1.12.6. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = \frac{t^3}{3} * (a' + 2 * (b' + u) + 2 * \alpha * (c' + u)) = 0.03 \text{ cm}^4$$

5.1.12.7. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = \frac{ar^2 * br^2 * t}{12} * \left(\frac{2 * ar^3 * br + 3 * ar^2 * br^2 + \alpha * \xi}{6 * ar^2 * br + (ar + 2 * cr * \alpha)^3 - 24 * ar * cr^2 * \alpha} \right) = 17.21 \text{ cm}^6$$

Tabla 178

Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo

Propiedades	Valores Catálogo	Valores Fórmulas	% Variación
Área (cm ²)	2.46	2.46	0.00
Xcg (cm)	1.34	1.34	0.19
Ycg (cm)	2.50	2.50	0.000
Ix (cm ⁴)	10.48	10.50	0.21
Sx (cm ³)	4.19	4.19	0.03
rx (cm)	2.06	2.06	0.19
Iy (cm ⁴)	4.15	4.14	0.13
Sy (cm ³)	1.56	1.56	0.20
ry (cm)	1.30	1.30	0.14
J (cm ⁴)	0.03	0.03	0.00
Cw (cm ⁶)	16	17.21	7.56

Para tener un margen de cuanta diferencia hay entre las fórmulas y el catálogo, se hará con todos los demas perfiles; sin embargo, se mostrará una muestra por la gran cantidad de perfiles y el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 179

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A Catálogo (cm²)	A Fórmulas (cm²)	%Variación
UF UNE	UF 30x30x2.0	1.66	1.660	0.01
UF UNE	UF 40x70x2.0	2.86	2.860	0.00
UF UNE	UF 60x80x3.0	5.70	5.704	0.07
UF UNE	UF 70x140x5.0	13.00	13.049	0.38

Tabla 180

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	Xcg Catálogo (cm)	Xcg Fórmulas (cm)	%Variación
UF UNE	UF 30x30x2.0	1.12	1.115	0.48
UF UNE	UF 40x70x2.0	1.16	1.164	0.38
UF UNE	UF 60x80x3.0	1.95	1.951	0.03
UF UNE	UF 70x140x5.0	2	2.000	0.01

Tabla 181*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Ycg Catálogo (cm)	Ycg Fórmulas (cm)	%Variación
UF UNE	UF 30x30x2.0	1.50	1.50	0.00
UF UNE	UF 40x70x2.0	3.50	3.50	0.00
UF UNE	UF 60x80x3.0	4.00	4.00	0.00
UF UNE	UF 70x140x5.0	7.00	7.00	0.00

Tabla 182*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	I _x Catálogo (cm ⁴)	I _x Fórmulas (cm ⁴)	%Variación
UF UNE	UF 30x30x2.0	2.52	2.520	0.01
UF UNE	UF 40x70x2.0	22.6	22.570	0.13
UF UNE	UF 60x80x3.0	61.7	61.717	0.03
UF UNE	UF 70x140x5.0	388	388.910	0.23

Tabla 183*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x Catálogo (cm ³)	S _x Fórmulas (cm ³)	%Variación
UF UNE	UF 30x30x2.0	1.68	1.680	0.01
UF UNE	UF 40x70x2.0	6.44	6.449	0.13
UF UNE	UF 60x80x3.0	15.4	15.429	0.19
UF UNE	UF 70x140x5.0	55.5	55.559	0.11

Tabla 184*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x Catálogo (cm)	r _x Fórmulas (cm)	%Variación
UF UNE	UF 30x30x2.0	1.23	1.232	0.17
UF UNE	UF 40x70x2.0	2.81	2.809	0.03
UF UNE	UF 60x80x3.0	3.29	3.289	0.02
UF UNE	UF 70x140x5.0	5.46	5.459	0.01

Tabla 185*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I _y Catálogo (cm ⁴)	I _y Fórmulas (cm ⁴)	%Variación
UF UNE	UF 30x30x2.0	1.540	1.545	0.33
UF UNE	UF 40x70x2.0	4.670	4.674	0.08
UF UNE	UF 60x80x3.0	21.600	21.564	0.17
UF UNE	UF 70x140x5.0	62.700	62.698	0.00

Tabla 186*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S _y Catálogo (cm ³)	S _y Fórmulas (cm ³)	%Variación
UF UNE	UF 30x30x2.0	0.819	0.820	0.06
UF UNE	UF 40x70x2.0	1.650	1.648	0.11
UF UNE	UF 60x80x3.0	5.320	5.325	0.10
UF UNE	UF 70x140x5.0	12.500	12.540	0.32

Tabla 187*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y*

Tipo	Nombre perfil	r _y Catálogo (cm)	r _y Fórmulas (cm)	%Variación
UF UNE	UF 30x30x2.0	0.965	0.965	0.02
UF UNE	UF 40x70x2.0	1.28	1.278	0.13
UF UNE	UF 60x80x3.0	1.94	1.944	0.22
UF UNE	UF 70x140x5.0	2.19	2.192	0.09

Tabla 188*Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)*

Tipo	Nombre perfil	J Catálogo (cm ⁴)	J Fórmulas (cm ⁴)	%Variación
UF UNE	UF 30x30x2.0	0.0221	0.0221	0.20
UF UNE	UF 40x70x2.0	0.0381	0.0381	0.07
UF UNE	UF 60x80x3.0	0.171	0.1711	0.07
UF UNE	UF 70x140x5.0	1.09	1.0874	0.23

Tabla 189*Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (C_w)*

Tipo	Nombre perfil	C _w Catálogo (cm ⁶)	C _w Fórmulas (cm ⁶)	%Variación
UF UNE	UF 30x30x2.0	2	2.256	12.80
UF UNE	UF 40x70x2.0	26.2	38.298	46.17
UF UNE	UF 60x80x3.0	216	228.455	5.77
UF UNE	UF 70x140x5.0	1850	2043.505	10.46

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles C conformados en frío es:

$$A_{\% \text{ variación}} = 0.1\%$$

$$Xcg_{\% \text{ variación}} = 0.2\% \quad Ycg_{\% \text{ variación}} = 0.00\%$$

$$Ix_{\% \text{ variación}} = 0.2\% \quad Iy_{\% \text{ variación}} = 0.12\%$$

$$Sx_{\% \text{Variación}} = 0.3\% \quad Sy_{\% \text{Variación}} = 0.14\%$$

$$rx_{\% \text{Variación}} = 0.13\% \quad ry_{\% \text{Variación}} = 0.13\%$$

$$J_{\% \text{Variación}} = 0.08\% \quad Cw_{\% \text{Variación}} = 14.94\%$$

5.1.13. Perfiles G (conformados en frío)

Tabla 190

Dimensiones CF 60x2.5

Perfil	CF 60x2.5
d (mm)	60
b (mm)	40
c (mm)	15
t (mm)	2.5
r (mm)	2.5

5.1.13.1. Área.

$$A = (d - 2 * (r + t)) * t + (b - 2 * (r + t)) * t * 2 + (c - (r + t)) * t * 2 + A_{\text{Circulo}} * 4$$

$$= 3.84 \text{ cm}^2$$

5.1.13.2. Centroide geométrico.

$$X_{cg} = \frac{(r + t - B_{\text{Circulo}}) * A_{\text{Circulo}} * 2 + \left(\frac{t}{2}\right) * (d - 2 * (r + t)) * t + (b - 2 * (r + t)) * t * \frac{b}{2} * 2 + (c - (r + t)) * t * \left(b - \frac{t}{2}\right) * 2 + (B_{\text{Circulo}} + b - (r + t)) * A_{\text{Circulo}} * 2}{A}$$

$$= 1.63 \text{ cm}$$

$$Y_{cg} = \frac{d}{2} = 3 \text{ cm}$$

5.1.13.3. Inercias.

$$\begin{aligned}
 I_X &= (I_{\text{Circulo}} + A_{\text{Circulo}} * (Y_{cg} - (r + t) + B_{\text{Circulo}})^2) * 4 + t * \frac{(d - 2 * (r + t))^3}{12} \\
 &+ \left((b - 2 * (r + t)) * \frac{t^3}{12} + (b - 2 * (r + t)) * t * \left(Y_{cg} - \frac{t}{2} \right)^2 \right) * 2 \\
 &+ \left((c - (r + t))^3 * \frac{t}{12} + (c - (r + t)) * t * \left(Y_{cg} - (r + t) - \frac{(c - (r + t))}{2} \right)^2 \right) \\
 &* 2 = 21.5 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_Y &= (I_{\text{Circulo}} + A_{\text{Circulo}} * (X_{cg} - (r + t) + B_{\text{Circulo}})^2 + I_{\text{Circulo}} + A_{\text{Circulo}} \\
 &* (b - X_{cg} - (r + t) + B_{\text{Circulo}})^2) * 2 + (d - 2 * (r + t)) * \frac{t^3}{12} + (d - 2 * (r \\
 &+ t)) * t * \left(X_{cg} - \frac{t}{2} \right)^2 \\
 &+ \left(\frac{t * (b - 2 * (r + t))^3}{12} + (b - 2 * (r + t)) * t * \left(X_{cg} - \frac{b}{2} \right)^2 \right) * 2 \\
 &+ \left(\frac{(c - (r + t)) * t^3}{12} + (c - (r + t)) * t * \left(b - X_{cg} - \frac{t}{2} \right)^2 \right) * 2 = 8.56 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

5.1.13.4. Módulos elásticos.

$$S_X = \frac{I_x}{Y_{cg}} = 7.16 \text{ cm}^3 \qquad S_y = \frac{I_y}{b - X_{cg}} = 3.62 \text{ cm}^3$$

5.1.13.5. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 2.37 \text{ cm} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 1.49 \text{ cm}$$

5.1.13.6. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = \frac{t^3}{3} * (a' + 2 * (b' + u) + 2 * \alpha * (c' + u)) = 0.08 \text{ cm}^4$$

5.1.13.7. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = \frac{ar^2 * br^2 * t}{12} * \left(\frac{2 * ar^3 * br + 3 * ar^2 * br^2 + \alpha * \xi}{6 * ar^2 * br + (ar + 2 * cr * \alpha)^3 - 24 * ar * cr^2 * \alpha} \right) = 92.92 \text{ cm}^6$$

Tabla 191

Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo

Propiedades	Valores Catálogo	Valores Fórmulas	% Variación
Área (cm ²)	3.84	3.84	0.02
Xcg (cm)	1.63	1.63	0.23
Ycg (cm)	3.00	3.00	0.00
Ix (cm ⁴)	21.51	21.5	0.04
Sx (cm ³)	7.17	7.16	0.13
rx (cm)	2.37	2.37	0.13
Iy (cm ⁴)	8.58	8.560	0.24
Sy (cm ³)	3.63	3.620	0.17
ry (cm)	1.49	1.49	0.33
J (cm ⁴)	0.08	0.08	0.00
Cw (cm ⁶)	90.4	92.90	2.76

Para tener un margen de cuanta diferencia hay entre las fórmulas y el catálogo, se hará con todos los demas perfiles; sin embargo, se mostrará una muestra por la gran cantidad de perfiles y el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 192

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A Catálogo	A Fórmulas	% Variación
CF UNE	CF 65x4.0 (cm ²)	8.60	8.611	0.12
CF UNE	CF 250x3.0 (cm ²)	13.20	13.208	0.06
C Colmena	C 220x80x2 (cm ²)	8.03	8.028	0.02
PHR C ACESCO	PHR C 100x50x1.5 (mm ²)	321.19	321.192	0.00

Tabla 193*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X*

Tipo	Nombre perfil	Xcg Catálogo	Xcg Fórmulas	%Variación
CF UNE	CF 65x4.0 (cm)	3.04	3.037	0.08
CF UNE	CF 250x3.0 (cm)	2.25	2.251	0.05
C Colmena	C 220x80x2(cm)	2.13	2.232	4.78
PHR C ACESCO	PHR C 100x50x1.5 (mm)	17.07	17.073	0.00

Tabla 194*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Ycg Catálogo	Ycg Fórmulas	%Variación
CF UNE	CF 65x4.0 (cm)	3.25	3.25	0.00
CF UNE	CF 250x3.0 (cm)	12.50	12.50	0.00
C Colmena	C 220x80x2(cm)	11.00	11.00	0.00
PHR C ACESCO	PHR C 100x50x1.5 (mm)	50.00	50.00	0.00

Tabla 195*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	Ix Catálogo	Ix Fórmulas	%Variación
CF UNE	CF 65x4.0(cm ⁴)	54.9	55.066	0.30
CF UNE	CF 250x3.0 (cm ⁴)	1220	1222.597	0.21
C Colmena	C 220x80x2 (cm ⁴)	594.93	594.916	0.00
PHR C ACESCO	PHR C 100x50x1.5 (mm ⁴)	511822	511822	0.00

Tabla 196*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Sx Catálogo	Sx Fórmulas	%Variación
CF UNE	CF 65x4.0(cm ³)	16.9	16.943	0.26
CF UNE	CF 250x3.0 (cm ³)	97.7	97.808	0.11
C Colmena	C 220x80x2 (cm ³)	54.08	54.083	0.01
PHR C ACESCO	PHR C 100x50x1.5(mm ³)	10236	10236.442	0.00

Tabla 197*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r_x Catálogo	r_x Fórmulas	%Variación
CF UNE	CF 65x4.0(cm)	2.53	2.529	0.05
CF UNE	CF 250x3.0 (cm)	9.62	9.621	0.01
C Colmena	C 220x80x2 (cm)	8.61	8.608	0.02
PHR C ACESCO	PHR C 100x50x1.5 (mm)	39.92	39.919	0.00

Tabla 198*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I_y Catálogo	I_y Fórmulas	%Variación
CF UNE	CF 65x4.0(cm ⁴)	49.000	49.200	0.41
CF UNE	CF 250x3.0 (cm ⁴)	110.000	109.729	0.25
C Colmena	C 220x80x2 (cm ⁴)	65.260	65.301	0.06
PHR C ACESCO	PHR C 100x50x1.5 (mm ⁴)	111085	111085	0.00

Tabla 199*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S_x Catálogo	S_x Fórmulas	%Variación
CF UNE	CF 65x4.0(cm ³)	16.9	16.943	0.26
CF UNE	CF 250x3.0 (cm ³)	97.7	97.808	0.11
C Colmena	C 220x80x2 (cm ³)	54.08	0.0541	99.9
PHR C ACESCO	PHR C 100x50x1.5 (mm ³)	10236	10236.442	0.00

Tabla 200*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y*

Tipo	Nombre perfil	r_y Catálogo	r_y Fórmulas	%Variación
CF UNE	CF 65x4.0(cm)	2.39	2.390	0.02
CF UNE	CF 250x3.0 (cm)	2.88	2.882	0.08
C Colmena	C 220x80x2 (cm)	2.85	2.852	0.07
PHR C ACESCO	PHR C 100x50x1.5 (mm)	18.597	18.597	0.00

Tabla 201*Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)*

Tipo	Nombre perfil	J Catálogo	J Fórmulas	%Variación
CF UNE	CF 65x4.0(cm ⁴)	0.459	0.4592	0.05
CF UNE	CF 250x3.0 (cm ⁴)	0.396	0.3963	0.06
C Colmena	C 220x80x2 (cm ⁴)	0.10704	0.1071	0.01
PHR C ACESCO	PHR C 100x50x1.5 (mm ⁴)	240.89	241.00	0.04

Tabla 202

Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (C_w)

Tipo	Nombre perfil	C_w Catálogo	C_w Fórmulas	%Variación
CF UNE	CF 65x4.0(cm ⁶)	1120	977.305	12.74
CF UNE	CF 250x3.0 (cm ⁶)	12600	14224.631	12.89
C Colmena	C 220x80x2 (cm ⁶)	6376.18	6417.618	0.65
PHR C ACESCO	PHR C 100x50x1.5(mm ⁶)	2.43E+08	2.69E+08	10.63

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles G con aletas conformados en frío:

$$A_{\% \text{Variación}} = \mathbf{0.04\%}$$

$$Xcg_{\% \text{Variación}} = \mathbf{3.02\%} \quad Ycg_{\% \text{Variación}} = \mathbf{0.00\%}$$

$$Ix_{\% \text{Variación}} = \mathbf{0.08\%} \quad Iy_{\% \text{Variación}} = \mathbf{0.13\%}$$

$$Sx_{\% \text{Variación}} = \mathbf{0.1\%} \quad Sy_{\% \text{Variación}} = \mathbf{35.46\%}$$

$$rx_{\% \text{Variación}} = \mathbf{0.05\%} \quad ry_{\% \text{Variación}} = \mathbf{0.1\%}$$

$$J_{\% \text{Variación}} = \mathbf{0.08\%} \quad Cw_{\% \text{Variación}} = \mathbf{5.69\%}$$

Por consiguiente, se encuentra que el % de variación de C_w en promedio es menor a 1% para algunos catálogos; sin embargo, en otros catálogos se encontró un promedio de variación mayor al 10% por lo tanto, se infiere que hay una incertidumbre en el cálculo de C_w o en alguna dimensión en la cual difiere el cálculo.

A su vez, en el catálogo de COLMENA, el módulo elástico alrededor del eje Y (S_y) está en un error ya que en los demás catálogos el valor de S_y se obtiene una variación pequeña a las fórmulas. Haciendo el proceso inverso, es decir, calculando el brazo teniendo en cuenta la inercia, el brazo que se obtiene es mayor a la longitud de la aleta, lo que no tiene sentido, por lo tanto, se obviarán en los cálculos.

Teniendo en cuenta lo anterior el porcentaje de variación del módulo elástico:

$$S_y \% \text{Variación} = 0.06\%$$

5.1.14. Perfiles 2L espalda con espalda (armados)

Tabla 203

Dimensiones 2L8x8x1/2x3/8

Perfil	2L8X8X1/2X3/8
L1 (in)	8
L2 (in)	8
tf (in)	0.50
r (in)	0.63
t (in)	0.38

5.1.14.1. Área.

$$A_{2L} = 2 * A = 15.67 \text{ in}^2$$

5.1.14.2. Centroides geométricos.

$$X_{2L_{cg}} = L2 + \frac{t}{2} = 8.19 \text{ in} \qquad Y_{2L_{cg}} = Y_{cg} = 2.169 \text{ in}$$

5.1.14.3. Inercias.

$$I_{x2L} = I_{xL} * 2 = 97.663 \text{ in}^4$$

$$I_{y2L} = \left(I_y + A * \left(X_{cg} + \frac{t}{2} \right)^2 \right) * 2 = 184.844 \text{ in}^4$$

5.1.14.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_{x2L}}{L1 - Y_{2L_{cg}}} = 16.748 \text{ in}^3 \qquad S_y = \frac{I_{y2L}}{X_{2L_{cg}}} = 22.569 \text{ in}^3$$

5.1.14.5. Módulos plásticos.

Para el cálculo 1 perfil L, se hace el ciclo para el cálculo del módulo plástico en x y este valor se multiplica por 2.

$$Z_{x2L} = Z_x * 2 = 30.147 \text{ in}^3 \qquad Z_{y2L} = AL * \left(X_{2L_{cg}} + \frac{t}{2} \right) * 2 = 36.962 \text{ in}^3$$

5.1.14.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x 2L}{A 2L}} = 2.496 \text{ in} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y 2L}{A 2L}} = 3.434 \text{ in}$$

5.1.14.7. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = \left((L_1 + L_2 - 2 * c) * \frac{t f^3}{3} + 0.237 * c^4 \right) * 2 = 1.36 \text{ in}^4$$

5.1.14.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

En el cálculo de las constantes torsionales, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$C_w = \left(\frac{t f^3}{36} * \left(\left(L_1 - \frac{t f}{2} \right)^3 + \left(L_2 - \frac{t f}{2} \right)^3 \right) \right) * 2 = 6.465 \text{ in}^6$$

Tabla 204

Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo

Propiedades	Valores Catálogo	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	15.7	15.670	0.19
Xcg (in)	8.19	8.190	0.00
Ycg (in)	2.17	2.169	0.06
Xp (in)	8.19	8.190	0.00
Yp (in)	0.490	0.490	0.06
Ix (in ⁴)	97.6	97.663	0.06
Sx (in ³)	16.7	16.748	0.29
Zx (in ³)	30.2	30.147	0.17
rx (in)	2.49	2.496	0.26
Iy (in ⁴)	185	184.844	0.08
Sy (in ³)	22.6	22.569	0.14
Zy (in ³)	37.0	36.962	0.10
ry (in)	3.43	3.434	0.13
J (in ⁴)	1.366	1.360	0.47
Cw (in ⁶)	6.46	6.465	0.08

Para tener un margen de cuánta diferencia hay entre las fórmulas y el catálogo, se hará con todos los demás perfiles; sin embargo, se mostrará una muestra por la gran cantidad de perfiles y el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 205

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A Catálogo (in ²)	A Fórmulas (in ²)	%Variación
2L	2L5X5X5/8X3/8	11.8	11.828	0.24
2L	2L4X3X3/8X3/8LLBB	4.98	5.029	0.99
2L	2L8X4X5/8SLBB	14.3	14.328	0.20
2L	2L3X2-1/2X3/16X3/8SLBB	2.00	2.058	2.88

Tabla 206

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	Xcg Catálogo (in)	Xcg Fórmulas (in)	%Variación
2L	2L5X5X5/8X3/8	5.19	5.19	0.00
2L	2L4X3X3/8X3/8LLBB	3.19	3.19	0.00
2L	2L8X4X5/8SLBB	8	8	0.00
2L	2L3X2-1/2X3/16X3/8SLBB	3.19	3.19	0.00

Tabla 207

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y

Tipo	Nombre perfil	Ycg Catálogo (in)	Ycg Fórmulas (in)	%Variación
2L	2L5X5X5/8X3/8	1.47	1.472	0.16
2L	2L4X3X3/8X3/8LLBB	1.27	1.272	0.15
2L	2L8X4X5/8SLBB	0.902	0.905	0.29
2L	2L3X2-1/2X3/16X3/8SLBB	0.627	0.627	0.05

Tabla 208

Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en X

Tipo	Nombre perfil	Xp Catálogo (in)	Xp Fórmulas (in)	%Variación
2L	2L5X5X5/8X3/8	5.19	5.19	0.00
2L	2L4X3X3/8X3/8LLBB	3.19	3.19	0.00
2L	2L8X4X5/8SLBB	8	8	0.00
2L	2L3X2-1/2X3/16X3/8SLBB	3.19	3.19	0.00

Tabla 209*Muestras para porcentaje de variación del centro plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Y _p Catálogo (in)	Y _p Fórmulas (in)	%Variación
2L	2L5X5X5/8X3/8	0.590	0.591	0.24
2L	2L4X3X3/8X3/8LLBB	0.680	0.649	4.63
2L	2L8X4X5/8SLBB	0.448	0.448	0.05
2L	2L3X2-1/2X3/16X3/8SLBB	0.167	0.171	2.68

Tabla 210*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	I _x Catálogo (in ⁴)	I _x Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2L	2L5X5X5/8X3/8	27.2	27.216	0.06
2L	2L4X3X3/8X3/8LLBB	7.88	7.969	1.13
2L	2L8X4X5/8SLBB	16.2	16.202	0.01
2L	2L3X2-1/2X3/16X3/8SLBB	1.14	1.166	2.27

Tabla 211*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z _x Catálogo (in ³)	Z _x Fórmulas (in ³)	%Variación
2L	2L5X5X5/8X3/8	13.9	13.917	0.12
2L	2L4X3X3/8X3/8LLBB	5.20	5.289	1.71
2L	2L8X4X5/8SLBB	9.73	9.754	0.25
2L	2L3X2-1/2X3/16X3/8SLBB	1.07	1.114	4.15

Tabla 212*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x Catálogo (in ³)	S _x Fórmulas (in ³)	%Variación
2L	2L5X5X5/8X3/8	7.70	7.715	0.19
2L	2L4X3X3/8X3/8LLBB	2.88	2.921	1.43
2L	2L8X4X5/8SLBB	5.23	5.234	0.08
2L	2L3X2-1/2X3/16X3/8SLBB	0.606	0.623	2.73

Tabla 213*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x Catálogo (in)	r _x Fórmulas (in)	%Variación
2L	2L5X5X5/8X3/8	1.52	1.517	0.20
2L	2L4X3X3/8X3/8LLBB	1.26	1.259	0.10
2L	2L8X4X5/8SLBB	1.06	1.063	0.32
2L	2L3X2-1/2X3/16X3/8SLBB	0.753	0.753	0.04

Tabla 214*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I_y Catálogo (in ⁴)	I_y Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2L	2L5X5X5/8X3/8	59.7	59.901	0.34
2L	2L4X3X3/8X3/8LLBB	8.42	8.559	1.65
2L	2L8X4X5/8SLBB	213	213.943	0.44
2L	2L3X2-1/2X3/16X3/8SLBB	4.03	4.154	3.07

Tabla 215*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z_y Catálogo (in ³)	Z_y Fórmulas (in ³)	%Variación
2L	2L5X5X5/8X3/8	19.6	19.662	0.32
2L	2L4X3X3/8X3/8LLBB	4.79	4.868	1.63
2L	2L8X4X5/8SLBB	41.4	41.399	0.00
2L	2L3X2-1/2X3/16X3/8SLBB	2.12	2.181	2.88

Tabla 216*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S_y Catálogo (in ³)	S_y Fórmulas (in ³)	%Variación
2L	2L5X5X5/8X3/8	11.5	11.542	0.36
2L	2L4X3X3/8X3/8LLBB	2.64	2.683	1.63
2L	2L8X4X5/8SLBB	26.6	26.743	0.54
2L	2L3X2-1/2X3/16X3/8SLBB	1.26	1.302	3.34

Tabla 217*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y*

Tipo	Nombre perfil	r_y Catálogo (in)	r_y Fórmulas (in)	%Variación
2L	2L5X5X5/8X3/8	2.25	2.250	0.02
2L	2L4X3X3/8X3/8LLBB	1.30	1.305	0.35
2L	2L8X4X5/8SLBB	3.86	3.864	0.11
2L	2L3X2-1/2X3/16X3/8SLBB	1.42	1.421	0.05

Tabla 218*Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)*

Tipo	Nombre perfil	J Catálogo (in ⁴)	J Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2L	2L5X5X5/8X3/8	1.584	1.580	0.25
2L	2L4X3X3/8X3/8LLBB	0.246	0.245	0.33
2L	2L8X4X5/8SLBB	1.910	1.906	0.23
2L	2L3X2-1/2X3/16X3/8SLBB	0.026	0.028	5.98

Tabla 219

Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (C_w)

Tipo	Nombre perfil	C_w Catálogo (in^6)	C_w Fórmulas (in^6)	% Variación
2L	2L5X5X5/8X3/8	2.800	2.794	0.22
2L	2L4X3X3/8X3/8LLBB	0.228	0.228	0.21
2L	2L8X4X5/8SLBB	6.840	6.842	0.03
2L	2L3X2-1/2X3/16X3/8SLBB	0.014	0.014	0.72

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles 2L espalda con espalda:

$$A_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.85\%}$$

$$Xcg_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.00\%} \quad Ycg_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.27\%}$$

$$Xp_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.00\%} \quad Yp_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{1.64\%}$$

$$Ix_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.82\%} \quad Iy_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{1.04\%}$$

$$Zx_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{1.86\%} \quad Zy_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{1.00\%}$$

$$Sx_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.85\%} \quad Sy_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{1.04\%}$$

$$rx_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.17\%} \quad ry_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.21\%}$$

$$J_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.28\%} \quad Cw_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.22\%}$$

5.1.15. Perfiles 2L enfrentados (armados)

En este tipo de perfiles, no existe un catálogo, por lo que la comparación de fórmulas se hará con el software ETABS en el apartado de section designer.

Puesto que, no existe catálogo de perfiles de este tipo se usará una nomenclatura local, por ejemplo, para nombrar el Perfil 2LF8X8X1/2X3/8, primero indica el tipo de perfil (**2LF**), el siguiente número es la longitud de la aleta vertical (**8**), seguido de la longitud de la aleta horizontal (**8**), el siguiente número es el espesor del perfil (**1/2**) y por último la separación entre perfiles (**3/8**). De manera similar se nombran los siguientes, si no tiene el último número la separación entre perfil es cero, es decir, están en contacto.

Tabla 220

Dimensiones 2LF8x8x1/2x3/8

Perfil	2LF8X8X1/2X3/8
L1 (in)	8
L2 (in)	8
tf (in)	0.50
r (in)	0.63
L3 (in)	0.375

5.1.15.1. Área.

$$A_{2L} = 2 * A = 15.67 \text{ in}^2$$

5.1.15.2. Centroides geométricos.

$$X_{2L_{cg}} = L_2 + \frac{L_3}{2} = 8.188 \text{ in} \quad Y_{2L_{cg}} = Y_{cg} = 2.169 \text{ in}$$

5.1.15.3. Inercias.

$$I_{x2L} = I_x * 2 = 97.663 \text{ in}^4$$

$$I_{y2L} = \left(I_y + A * (X_{2L_{cg}} - X_{cg})^2 \right) * 2 = 665.338 \text{ in}^4$$

5.1.15.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_{x2L}}{L_1 - Y_{2L_{cg}}} = 16.758 \text{ in}^3 \quad S_y = \frac{I_{y2L}}{X_{2L_{cg}}} = 81.263 \text{ in}^3$$

5.1.15.5. Módulos plásticos.

Para el cálculo 1 perfil L, se hace con el ciclo para obtener el módulo plástico de 1 perfil y este valor se multiplica por 2.

$$Z_{x2L} = Z_x * 2 = 30.147 \text{ in}^3 \quad Z_{y2L} = A * (X_{2L_{cg}} - X_{cg}) * 2 = 94.317 \text{ in}^3$$

5.1.15.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_{x2L}}{A_{2L}}} = 2.496 \text{ in} \quad r_y = \sqrt{\frac{I_{y2L}}{A_{2L}}} = 6.516 \text{ in}$$

5.1.15.7. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = \left((L1 + L2 - 2 * c) * \frac{tf^3}{3} + 0.237 * c^4 \right) * 2 = 1.36 \text{ in}^4$$

5.1.15.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

En el cálculo de las constantes torsionales, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$C_w = \left(\frac{tf^3}{36} * \left(\left(L1 - \frac{tf}{2} \right)^3 + \left(L2 - \frac{tf}{2} \right)^3 \right) \right) * 2 = 6.465 \text{ in}^6$$

A causa de que Section designer no de un valor de Cw, no es posible comparar; sin embargo, ya se mostró el cálculo de 1 solo perfil, por lo que el resultado sera la sumatoria de los perfiles que se unan.

Tabla 221

Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS

Propiedades	Valores ETABS	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	15.68	15.67	0.06
Xcg (in)	8.188	8.188	0.00
Ycg (in)	2.17	2.169	0.00
Ix (in ⁴)	97.68	97.663	0.02
Sx (in ³)	16.75	16.748	0.01
Zx (in ³)	30.15	30.147	0.01
rx (in)	2.4961	2.496	0.00
Iy (in ⁴)	665.73	665.338	0.06
Sy (in ³)	81.31	81.263	0.06
Zy (in ³)	94.37	94.317	0.06
ry (in)	6.5165	6.516	0.01
J (in ⁴)	1.38	1.36	1.45

Para tener un margen de cuánta diferencia hay entre las fórmulas y ETABS, se hará con 4 muestras, para obtener el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 222*Muestras para porcentaje de variación en área*

Tipo	Nombre perfil	A ETABS (in ²)	A Fórmulas (in ²)	%Variación
2LF	2LF5X5X5/8X3/8	11.94	11.929	0.09
2LF	2LF4X3X3/8X1.5	5.08	5.076	0.08
2LF	2LF8X4X5/8	14.44	14.429	0.08
2LF	2LF3X2-1/2X3/16X3/8	2.03	2.031	0.05

Tabla 223*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X*

Tipo	Nombre perfil	Xcg ETABS (in)	Xcg Fórmulas (in)	%Variación
2LF	2LF5X5X5/8X3/8	5.188	5.188	0.00
2LF	2LF4X3X3/8X1.5	3.75	3.75	0.00
2LF	2LF8X4X5/8	8	8	0.00
2LF	2LF3X2-1/2X3/16X3/8	2.688	2.688	0.00

Tabla 224*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Ycg ETABS (in)	Ycg Fórmulas (in)	%Variación
2LF	2LF5X5X5/8X3/8	1.47	1.467	0.00
2LF	2LF4X3X3/8X1.5	1.27	1.265	0.00
2LF	2LF8X4X5/8	0.90	0.904	0.00
2LF	2LF3X2-1/2X3/16X3/8	0.88	0.876	0.00

Tabla 225*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	I _x ETABS (in ⁴)	I _x Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2LF	2LF5X5X5/8X3/8	27.26	27.26	0.00
2LF	2LF4X3X3/8X1.5	8	7.995	0.06
2LF	2LF8X4X5/8	16.21	16.205	0.03
2LF	2LF3X2-1/2X3/16X3/8	1.83	1.83	0.00

Tabla 226*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z _x ETABS (in ³)	Z _x Fórmulas (in ³)	%Variación
2LF	2LF5X5X5/8X3/8	13.94	13.941	0.01
2LF	2LF4X3X3/8X1.5	5.3	5.295	0.09
2LF	2LF8X4X5/8	9.8	9.792	0.08
2LF	2LF3X2-1/2X3/16X3/8	1.57	1.565	0.32

Tabla 227*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x ETABS (in ³)	S _x Fórmulas (in ³)	%Variación
2LF	2LF5X5X5/8X3/8	7.72	7.715	0.06
2LF	2LF4X3X3/8X1.5	2.92	2.923	0.10
2LF	2LF8X4X5/8	5.23	5.234	0.08
2LF	2LF3X2-1/2X3/16X3/8	0.86	0.862	0.23

Tabla 228*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x ETABS (in)	r _x Fórmulas (in)	%Variación
2LF	2LF5X5X5/8X3/8	1.5112	1.512	0.05
2LF	2LF4X3X3/8X1.5	1.255	1.2547	0.02
2LF	2LF8X4X5/8	1.0594	1.06	0.06
2LF	2LF3X2-1/2X3/16X3/8	0.949	0.949	0.00

Tabla 229*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I _y ETABS (in ⁴)	I _y Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2LF	2LF5X5X5/8X3/8	192.56	192.395	0.09
2LF	2LF4X3X3/8X1.5	48.8	48.758	0.09
2LF	2LF8X4X5/8	475.68	473.752	0.41
2LF	2LF3X2-1/2X3/16X3/8	9.76	9.753	0.07

Tabla 230*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z _y ETABS (in ³)	Z _y Fórmulas (in ³)	%Variación
2LF	2LF5X5X5/8X3/8	44.42	44.384	0.08
2LF	2LF4X3X3/8X1.5	15.11	15.098	0.08
2LF	2LF8X4X5/8	74.16	73.95	0.28
2LF	2LF3X2-1/2X3/16X3/8	4.18	4.177	0.07

Tabla 231*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S _y ETABS (in ³)	S _y Fórmulas (in ³)	%Variación
2LF	2LF5X5X5/8X3/8	37.12	37.088	0.09
2LF	2LF4X3X3/8X1.5	13.01	13.002	0.06
2LF	2LF8X4X5/8	59.39	59.219	0.29
2LF	2LF3X2-1/2X3/16X3/8	3.63	3.629	0.03

Tabla 232

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y

Tipo	Nombre perfil	r_y ETABS (in)	r_y Fórmulas (in)	%Variación
2LF	2LF5X5X5/8X3/8	4.0162	4.016	0.00
2LF	2LF4X3X3/8X1.5	3.0994	3.099	0.01
2LF	2LF8X4X5/8	5.7399	5.73	0.17
2LF	2LF3X2-1/2X3/16X3/8	2.1916	2.191	0.03

Tabla 233

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J ETABS (in ⁴)	J Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2LF	2LF5X5X5/8X3/8	1.68	1.651	1.73
2LF	2LF4X3X3/8X1.5	0.26	0.257	1.15
2LF	2LF8X4X5/8	2	1.976	1.20
2LF	2LF3X2-1/2X3/16X3/8	0.03	0.026	13.33

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles 2L enfrentados es:

$$A_{\% \text{ Variación}} = 0.07\%$$

$$Xcg_{\% \text{ Variación}} = 0.00\% \quad Ycg_{\% \text{ Variación}} = 0.00\%$$

$$Ix_{\% \text{ Variación}} = 0.02\% \quad Iy_{\% \text{ Variación}} = 0.16\%$$

$$Sx_{\% \text{ Variación}} = 0.12\% \quad Sy_{\% \text{ Variación}} = 0.12\%$$

$$Zx_{\% \text{ Variación}} = 0.13\% \quad Zy_{\% \text{ Variación}} = 0.13\%$$

$$rx_{\% \text{ Variación}} = 0.03\% \quad ry_{\% \text{ Variación}} = 0.05\%$$

$$J_{\% \text{ Variación}} = 4.35\%$$

5.1.16. Perfiles 4L (armados)

En este tipo de perfiles, no existe un catálogo, por lo que la comparación de fórmulas se hará con la aplicación ETABS en el apartado de section designer. Puesto que, no existe catálogo de perfiles de este tipo se usará una nomenclatura local, por ejemplo, para nombrar el perfil 4LF8X8X1/2X3/8x5/8, primero indica el tipo de perfil (**4LF**), el siguiente número es la longitud de la aleta vertical de 1 perfil (**8**), seguido de la longitud de la aleta horizontal de 1 perfil (**8**), el

siguiente número es el espesor del perfil (**1/2**) el siguiente número es la separación horizontal entre perfiles (**3/8**) y por último es la separación vertical entre perfiles (**5/8**). De manera similar se nombran los siguientes, si no tiene los 2 últimos números o alguno de ellos es cero, la separación entre perfil es cero, es decir, están en contacto.

Tabla 234

Dimensiones 4L8X8X1/2X3/8X5/8

Perfil	4L8X8X1/2X3/8X5/8
L1 (in)	8
L2 (in)	8
tf (in)	0.50
r (in)	0.63
t (in)	0.375
L3 (in)	0.375
L4 (in)	0.625

5.1.16.1. Área.

$$A_{4L} = 4 * AL = 31.341 \text{ in}^2$$

5.1.16.2. Centroides geométricos.

$$X_{4L_{cg}} = L2 + \frac{L3}{2} = 8.188 \text{ in}$$

$$Y_{4L_{cg}} = L1 + \frac{L4}{2} = 8.312 \text{ in}$$

5.1.16.3. Inercias.

$$I_{x4L} = \left(I_x + A * (Y_{4L_{cg}} - Y_{cg})^2 \right) * 4 = 1378.324 \text{ in}^4$$

$$I_{y4L} = \left(I_y + A * (X_{4L_{cg}} - X_{cg})^2 \right) * 4 = 1330.676 \text{ in}^4$$

5.1.16.4. Módulos elásticos.

$$S_{x4L} = \frac{I_{x4L}}{Y_{4L_{cg}}} = 165.813 \text{ in}^3 \quad S_{y4L} = \frac{I_{y4L}}{X_{4L_{cg}}} = 162.525 \text{ in}^3$$

5.1.16.5. Módulos Plásticos.

$$Z_{x4L} = A * (Y_{4L_{cg}} - Y_{cg}) * 4 = 192.551 \text{ in}^3$$

$$Z_{y4L} = A * (X_{4L_{cg}} - X_{cg}) * 4 = 188.634 \text{ in}^3$$

5.1.16.6. Radios de giro.

$$r_{x4L} = \sqrt{\frac{I_{x4L}}{A4L}} = 6.632 \text{ in} \qquad r_{y4L} = \sqrt{\frac{I_{y4L}}{A4L}} = 6.516 \text{ in}$$

5.1.16.7. Constante torsional de Saint Venant.

En el cálculo de las constantes torsionales, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 4.

$$J = \left((L1 + L2 - 2 * c) * \frac{tf^3}{3} + 0.237 * c^4 \right) * 4 = 2.719 \text{ in}^4$$

5.1.16.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = \left(\frac{tf^3}{36} * \left(\left(L1 - \frac{tf}{2} \right)^3 + \left(L2 - \frac{tf}{2} \right)^3 \right) \right) * 4 = 12.93 \text{ in}^6$$

A causa de que Section designer no de un valor de C_w , no es posible comparar; sin embargo, ya se mostró el cálculo de 1 solo perfil, por lo que el resultado será la sumatoria de los perfiles que se unan.

Tabla 235

Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS

Propiedades	Valores ETABS	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	31.35	31.341	0.03
Xcg (in)	8.188	8.188	0.00
Ycg (in)	8.312	8.312	0.00
Ix (in ⁴)	1379.14	1378.324	0.06
Sx (in ³)	165.91	165.813	0.06
Zx (in ³)	192.66	192.551	0.06
rx (in)	6.6321	6.632	0.00
Iy (in ⁴)	1331.47	1330.676	0.06
Sy (in ³)	162.62	162.525	0.06
Zy (in ³)	188.74	188.634	0.06
ry (in)	6.5165	6.516	0.01
J (in ⁴)	2.76	2.719	1.49

Para tener un margen de cuánta diferencia hay entre las fórmulas y ETABS, se hará con 4 muestras, para obtener el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 236

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A ETABS (in ²)	A Fórmulas (in ²)	%Variación
4L	4L5X5X5/8X3/8X3/8	23.88	23.858	0.09
4L	4L4X3X3/8X1.5X0	10.16	10.152	0.08
4L	4L4X8X5/8X0X0.5	28.88	28.858	0.08
4L	4L3X2-1/2X3/16X3/8x1	4.06	4.062	0.05

Tabla 237

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	Xcg ETABS (in)	Xcg Fórmulas (in)	%Variación
4L	4L5X5X5/8X3/8X3/8	5.188	5.188	0.00
4L	4L4X3X3/8X1.5X0	3.75	3.75	0.00
4L	4L4X8X5/8X0X0.5	8	8	0.00
4L	4L3X2-1/2X3/16X3/8x1	2.688	2.688	0.00

Tabla 238

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y

Tipo	Nombre perfil	Ycg ETABS (in)	Ycg Fórmulas (in)	%Variación
4L	4L5X5X5/8X3/8X3/8	5.19	5.188	0.00
4L	4L4X3X3/8X1.5X0	4.00	4	0.00
4L	4L4X8X5/8X0X0.5	4.25	4.25	0.00
4L	4L3X2-1/2X3/16X3/8x1	3.50	3.5	0.00

Tabla 239

Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X

Tipo	Nombre perfil	I _x ETABS (in ⁴)	I _x Fórmulas (in ⁴)	%Variación
4L	4L5X5X5/8X3/8X3/8	385.12	384.791	0.09
4L	4L4X3X3/8X1.5X0	92.59	91.929	0.71
4L	4L4X8X5/8X0X0.5	355.68	355.48	0.06
4L	4L3X2-1/2X3/16X3/8x1	31.66	31.63	0.09

Tabla 240*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z _x ETABS (in ³)	Z _x Fórmulas (in ³)	%Variación
4L	4L5X5X5/8X3/8X3/8	88.84	88.767	0.08
4L	4L4X3X3/8X1.5X0	27.9	27.766	0.48
4L	4L4X8X5/8X0X0.5	96.62	96.557	0.07
4L	4L3X2-1/2X3/16X3/8x1	10.67	10.658	0.11

Tabla 241*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x ETABS (in ³)	S _x Fórmulas (in ³)	%Variación
4L	4L5X5X5/8X3/8X3/8	74.24	74.177	0.08
4L	4L4X3X3/8X1.5X0	23.09	22.982	0.47
4L	4L4X8X5/8X0X0.5	83.69	83.642	0.06
4L	4L3X2-1/2X3/16X3/8x1	9.05	9.037	0.14

Tabla 242*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x ETABS (in)	r _x Fórmulas (in)	%Variación
4L	4L5X5X5/8X3/8X3/8	4.0162	4.016	0.00
4L	4L4X3X3/8X1.5X0	3.0187	3.009	0.32
4L	4L4X8X5/8X0X0.5	3.5096	3.51	0.01
4L	4L3X2-1/2X3/16X3/8x1	2.791	2.791	0.00

Tabla 243*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I _y ETABS (in ⁴)	I _y Fórmulas (in ⁴)	%Variación
4L	4L5X5X5/8X3/8X3/8	385.12	384.791	0.09
4L	4L4X3X3/8X1.5X0	97.61	97.517	0.10
4L	4L4X8X5/8X0X0.5	951.36	947.503	0.41
4L	4L3X2-1/2X3/16X3/8x1	19.52	19.506	0.07

Tabla 244*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z _y ETABS (in ³)	Z _y Fórmulas (in ³)	%Variación
4L	4L5X5X5/8X3/8X3/8	88.84	88.767	0.08
4L	4L4X3X3/8X1.5X0	30.22	30.196	0.08
4L	4L4X8X5/8X0X0.5	148.31	147.9	0.28
4L	4L3X2-1/2X3/16X3/8x1	8.36	8.354	0.07

Tabla 245

Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y

Tipo	Nombre perfil	S _y ETABS (in ³)	S _y Fórmulas (in ³)	% Variación
4L	4L5X5X5/8X3/8X3/8	74.24	74.177	0.08
4L	4L4X3X3/8X1.5X0	26.03	26.004	0.10
4L	4L4X8X5/8X0X0.5	118.77	118.438	0.28
4L	4L3X2-1/2X3/16X3/8x1	7.26	7.258	0.03

Tabla 246

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y

Tipo	Nombre perfil	r _y ETABS (in)	r _y Fórmulas (in)	% Variación
4L	4L5X5X5/8X3/8X3/8	4.0162	4.016	0.00
4L	4L4X3X3/8X1.5X0	3.0994	3.099	0.01
4L	4L4X8X5/8X0X0.5	5.7399	5.73	0.17
4L	4L3X2-1/2X3/16X3/8x1	2.1916	2.191	0.03

Tabla 247

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J ETABS (in ⁴)	J Fórmulas (in ⁴)	% Variación
4L	4L5X5X5/8X3/8X3/8	3.37	3.302	2.02
4L	4L4X3X3/8X1.5X0	0.53	0.515	2.83
4L	4L4X8X5/8X0X0.5	4.02	3.953	1.67
4L	4L3X2-1/2X3/16X3/8x1	0.05	0.051	2.00

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles 4L es:

$$A_{\% \text{ Variación}} = 0.07\%$$

$$Xcg_{\% \text{ Variación}} = 0.00\% \quad Ycg_{\% \text{ Variación}} = 0.00\%$$

$$Ix_{\% \text{ Variación}} = 0.24\% \quad Iy_{\% \text{ Variación}} = 0.16\%$$

$$Sx_{\% \text{ Variación}} = 0.19\% \quad Sy_{\% \text{ Variación}} = 0.13\%$$

$$Zx_{\% \text{ Variación}} = 0.19\% \quad Zy_{\% \text{ Variación}} = 0.12\%$$

$$rx_{\% \text{ Variación}} = 0.08\% \quad ry_{\% \text{ Variación}} = 0.05\%$$

$$J_{\% \text{ Variación}} = 2.13\%$$

5.1.17. Perfiles 2CS espalda con espalda sin pendiente (armados)

En este tipo de perfiles, no existe un catálogo, por lo que la comparación de fórmulas se hará con la aplicación ETABS en el apartado de section designer.

Puesto que, no existe catálogo de perfiles de este tipo se usará una nomenclatura local, por ejemplo, para nombrar el perfil 2CSB12x3x0.5x0.5x0.75, primero indica el tipo de perfil (**2CSB**), el siguiente número es la altura 1 perfil (**12**), el siguiente número es la longitud de la aleta de 1 perfil (**3**), el siguiente número es el espesor del alma (**0.5**), el siguiente número es el espesor de la aleta (**0.5**) y por último es la separación entre perfiles (**0.75**). De manera similar se nombran los siguientes, si no tiene el último número, la separación entre perfil es cero, es decir, están en contacto.

Tabla 248

Dimensiones 2CSB12x3x0.5x0.5x0.75

Perfil	2CSB12x3x0.5x0.5x0.75
d (in)	12
bf (in)	3
tw (in)	0.50
tf (in)	0.5
r (in)	0.50
t (in)	0.75

5.1.17.1. Área.

$$A_{2C} = 2 * A = 17.215 \text{ in}^2$$

5.1.17.2. Centroides geométricos.

$$X_{2C_{cg}} = bf + \frac{t}{2} = 3.375 \text{ in} \quad Y_{2C_{cg}} = 6 \text{ in}$$

5.1.17.3. Inercias.

$$I_{x2C} = I_x * 2 = 315.649 \text{ in}^4$$

$$I_{y2C} = \left(I_y + A * \left(X_{cg} + \frac{t}{2} \right)^2 \right) * 2 = 30.331 \text{ in}^4$$

5.1.17.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_{x2C}}{Y2C_{cg}} = 52.608 \text{ in}^3$$

$$S_y = \frac{I_{y2C}}{X2C_{cg}} = 8.987 \text{ in}^3$$

5.1.17.5. Módulos plásticos.

$$Z_x = \left(\frac{d^2}{8} * tw + (bf - tw) * tf * \frac{d - tf}{2} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{d}{2} - tf - t + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) \right) * 2$$

$$= 65.906 \text{ in}^3$$

$$Z_y = A * \left(X_{cg} + \frac{t}{2} \right) * 2 = 18.337 \text{ in}^3$$

5.1.17.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_{x2C}}{A2C}} = 4.282 \text{ in}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_{y2C}}{A2C}} = 1.327 \text{ in}$$

5.1.17.7. Constante torsional de Saint Venant.

Al unir perfiles se suma el C_w y J de los 2 perfiles, para obtener el valor del conjunto.

$$J = \frac{1}{3} * (2 * bf * tf^3 + (d - 2 * tf) * tw^3) * 2 = 1.417 \text{ in}^4$$

5.1.17.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = \frac{tf * bf^3 * (d - tf)^2}{12} * \frac{3 * bf * tf + 2 * (d - tf) * tw}{6 * bf * tf + (d - tf) * tw} * 2 = 161.39 \text{ in}^6$$

A causa de que Section designer no de un valor de C_w , no es posible comparar; sin embargo, ya se mostró el cálculo de 1 solo perfil, por lo que el resultado será la sumatoria de los perfiles que se unan.

Tabla 249*Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS*

Propiedades	Valores ETABS	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	17.22	17.215	0.03
Xcg (in)	3.375	3.375	0.00
Ycg (in)	6	6	0.00
Ix (in ⁴)	315.9	315.649	0.08
Zx (in ³)	65.95	65.906	0.07
Sx (in ³)	52.65	52.608	0.08
rx (in)	4.2827	4.282	0.02
Iy (in ⁴)	30.34	30.331	0.03
Zy (in ³)	18.35	18.337	0.07
Sy (in ³)	8.99	8.987	0.03
ry (in)	1.3272	1.327	0.02
J (in ⁴)	1.54	1.417	7.99

Para tener un margen de cuánta diferencia hay entre las fórmulas y ETABS, se hará con 4 muestras, para obtener el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 250*Muestras para porcentaje de variación en área*

Tipo	Nombre perfil	A ETABS (in²)	A Fórmulas (in²)	%Variación
2CSBB	2CSB10x5x0.5x0.3x0.7	15.62	15.615	0.03
2CSBB	2CSB8x10x0.5x0.3x0.8	19.62	19.615	0.03
2CSBB	2CSB15x6x0.5x0.3x0.9	21.82	21.815	0.02
2CSBB	2CSB7x7x0.5x0.3x0	15.05	15.015	0.23

Tabla 251*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X*

Tipo	Nombre perfil	Xcg ETABS (in)	Xcg Fórmulas (in)	%Variación
2CSBB	2CSB10x5x0.5x0.3x0.7	5.35	5.35	0.00
2CSBB	2CSB8x10x0.5x0.3x0.8	10.4	10.4	0.00
2CSBB	2CSB15x6x0.5x0.3x0.9	6.45	6.45	0.00
2CSBB	2CSB7x7x0.5x0.3x0	7	7	0.00

Tabla 252*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Ycg ETABS (in)	Ycg Fórmulas (in)	%Variación
2CSBB	2CSB10x5x0.5x0.3x0.7	5.00	5	0.00
2CSBB	2CSB8x10x0.5x0.3x0.8	4.00	4	0.00
2CSBB	2CSB15x6x0.5x0.3x0.9	7.50	7.5	0.00
2CSBB	2CSB7x7x0.5x0.3x0	3.50	3.5	0.00

Tabla 253*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	I _x ETABS (in ⁴)	I _x Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2CSBB	2CSB10x5x0.5x0.3x0.7	215.1	214.915	0.09
2CSBB	2CSB8x10x0.5x0.3x0.8	214.6	214.494	0.05
2CSBB	2CSB15x6x0.5x0.3x0.9	649.07	648.632	0.07
2CSBB	2CSB7x7x0.5x0.3x0	118.55	118.226	0.27

Tabla 254*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z _x ETABS (in ³)	Z _x Fórmulas (in ³)	%Variación
2CSBB	2CSB10x5x0.5x0.3x0.7	52.33	52.175	0.30
2CSBB	2CSB8x10x0.5x0.3x0.8	60.69	60.66	0.05
2CSBB	2CSB15x6x0.5x0.3x0.9	106.34	106.281	0.06
2CSBB	2CSB7x7x0.5x0.3x0	39.15	39.043	0.27

Tabla 255*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x ETABS (in ³)	S _x Fórmulas (in ³)	%Variación
2CSBB	2CSB10x5x0.5x0.3x0.7	43.02	42.983	0.09
2CSBB	2CSB8x10x0.5x0.3x0.8	53.65	53.623	0.05
2CSBB	2CSB15x6x0.5x0.3x0.9	86.54	86.484	0.06
2CSBB	2CSB7x7x0.5x0.3x0	33.87	33.779	0.27

Tabla 256*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r_x ETABS (in)	r_x Fórmulas (in)	%Variación
2CSBB	2CSB10x5x0.5x0.3x0.7	3.7105	3.71	0.01
2CSBB	2CSB8x10x0.5x0.3x0.8	3.307	3.307	0.00
2CSBB	2CSB15x6x0.5x0.3x0.9	5.4536	5.453	0.01
2CSBB	2CSB7x7x0.5x0.3x0	2.8066	2.806	0.02

Tabla 257*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I_y ETABS (in ⁴)	I_y Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2CSBB	2CSB10x5x0.5x0.3x0.7	65.02	65.015	0.01
2CSBB	2CSB8x10x0.5x0.3x0.8	453.43	453.422	0.00
2CSBB	2CSB15x6x0.5x0.3x0.9	114.91	114.898	0.01
2CSBB	2CSB7x7x0.5x0.3x0	137.83	137.816	0.01

Tabla 258*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z_y ETABS (in ³)	Z_y Fórmulas (in ³)	%Variación
2CSBB	2CSB10x5x0.5x0.3x0.7	22.96	22.946	0.06
2CSBB	2CSB8x10x0.5x0.3x0.8	69.85	69.827	0.03
2CSBB	2CSB15x6x0.5x0.3x0.9	35.16	35.148	0.03
2CSBB	2CSB7x7x0.5x0.3x0	31.16	31.131	0.09

Tabla 259*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S_y ETABS (in ³)	S_y Fórmulas (in ³)	%Variación
2CSBB	2CSB10x5x0.5x0.3x0.7	12.15	12.152	0.02
2CSBB	2CSB8x10x0.5x0.3x0.8	43.6	43.598	0.00
2CSBB	2CSB15x6x0.5x0.3x0.9	17.82	17.814	0.03
2CSBB	2CSB7x7x0.5x0.3x0	19.69	19.688	0.01

Tabla 260

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y

Tipo	Nombre perfil	r _y ETABS (in)	r _y Fórmulas (in)	%Variación
2CSBB	2CSB10x5x0.5x0.3x0.7	2.0401	2.041	0.04
2CSBB	2CSB8x10x0.5x0.3x0.8	4.8039	4.808	0.09
2CSBB	2CSB15x6x0.5x0.3x0.9	2.2936	2.295	0.06
2CSBB	2CSB7x7x0.5x0.3x0	3.0263	3.03	0.12

Tabla 261

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J ETABS (in ⁴)	J Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2CSBB	2CSB10x5x0.5x0.3x0.7	1.05	0.963	8.29
2CSBB	2CSB8x10x0.5x0.3x0.8	1.07	0.977	8.69
2CSBB	2CSB15x6x0.5x0.3x0.9	1.5	1.416	5.60
2CSBB	2CSB7x7x0.5x0.3x0	0.77	0.785	1.95

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles 2CS espalda con espalda sin pendiente

es:

$$A_{\% \text{Variación}} = 0.08\%$$

$$X_{cg\% \text{Variación}} = 0.00\% \quad Y_{cg\% \text{Variación}} = 0.00\%$$

$$I_{x\% \text{Variación}} = 0.12\% \quad I_{y\% \text{Variación}} = 0.01\%$$

$$S_{x\% \text{Variación}} = 0.12\% \quad S_{y\% \text{Variación}} = 0.02\%$$

$$Z_{x\% \text{Variación}} = 0.17\% \quad Z_{y\% \text{Variación}} = 0.06\%$$

$$r_{x\% \text{Variación}} = 0.01\% \quad r_{y\% \text{Variación}} = 0.08\%$$

$$J_{\% \text{Variación}} = 6.13\%$$

5.1.18. Perfiles 2CS enfrentados sin pendiente (armados)

En este tipo de perfiles, no existe un catálogo, por lo que la comparación de fórmulas se hará con la aplicación ETABS en el apartado de section designer.

Puesto que, no existe catálogo de perfiles de este tipo se usará una nomenclatura local, por ejemplo, para nombrar el perfil 2CSF12x3x0.5x0.5x0.75, primero indica el tipo de perfil (2CSF), el siguiente número es la altura de un perfil (12), el siguiente número es la longitud de la aleta de un perfil (3), el siguiente número es el espesor del alma (0.5), el siguiente número es el espesor de la aleta (0.5) y por último es la separación entre perfiles (0.75). De manera similar se nombran los siguientes, si no tiene el último número, la separación entre perfil es cero, es decir, están en contacto.

Tabla 262

Dimensiones 2CSF12x3x0.5x0.5x0.75

Perfil	2CSF12x3x0.5x0.5x0.75
d (in)	12
bf (in)	3
tw (in)	0.50
tf (in)	0.5
r (in)	0.50
L (in)	0.75

5.1.18.1. Área.

$$A_{2C} = 2 * A = 17.215 \text{ in}^2$$

5.1.18.2. Centroides geométricos.

$$X_{2C_{cg}} = bf + \frac{L}{2} = 3.375 \text{ in} \quad Y_{2C_{cg}} = 6 \text{ in}$$

5.1.18.3. Inercias.

$$I_{x2C} = I_x * 2 = 315.649 \text{ in}^4$$

$$I_{y2C} = (I_yC + A * (X_{2C_{cg}} - X_{cg})^2) * 2 = 134.885 \text{ in}^4$$

5.1.18.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_{x2C}}{Y_{2C_{cg}}} = 52.608 \text{ in}^3$$

$$S_y = \frac{I_{y2C}}{X_{2C_{cg}}} = 39.966 \text{ in}^3$$

5.1.18.5. Módulos plásticos.

$$Zx = \left(\frac{d^2}{8} * tw + (bf - tw) * tf * \frac{d - tf}{2} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{d}{2} - tf - t + \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) \right) * 2$$

$$= 65.906 \text{ in}^3$$

$$Zy = A * (X2C_{cg} - X_{cg}) * 2 = 46.218 \text{ in}^3$$

5.1.18.6. Radios de giro.

$$rx = \sqrt{\frac{I_x 2C}{A 2C}} = 4.282 \text{ in} \qquad ry = \sqrt{\frac{I_y 2C}{A 2C}} = 2.799 \text{ in}$$

5.1.18.7. Constante torsional de Saint Venant.

En el cálculo de las constantes torsionales, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$J = \frac{1}{3} * (2 * bf * tf^3 + (d - 2 * tf) * tw^3) * 2 = 1.417 \text{ in}^3$$

5.1.18.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = \frac{tf * bf^3 * (d - tf)^2}{12} * \frac{3 * bf * tf + 2 * (d - tf) * tw}{6 * bf * tf + (d - tf) * tw} * 2 = 161.39 \text{ in}^6$$

A causa de que Section designer no de un valor de C_w , no es posible comparar; sin embargo, ya se mostró el cálculo de 1 solo perfil, por lo que el resultado será la sumatoria de los perfiles que se unan.

Tabla 263

Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS

Propiedades	Valores ETABS	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	17.22	17.215	0.03
Xcg (in)	3.375	3.375	0.00
Ycg (in)	6	6	0.00
Ix (in ⁴)	315.9	315.649	0.08
Zx (in ³)	65.95	65.906	0.07
Sx (in ³)	52.65	52.608	0.08
rx (in)	4.2827	4.282	0.02
Iy (in ⁴)	134.95	134.885	0.05
Zy (in ³)	46.24	46.218	0.05
Sy (in ³)	39.99	39.966	0.06
ry (in)	2.7991	2.799	0.00
J (in ⁴)	1.54	1.417	7.99

Para tener un margen de cuánta diferencia hay entre las fórmulas y ETABS, se hará con 4 muestras, para obtener el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 264

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A ETABS (in ²)	A Fórmulas (in ²)	%Variación
2CSFF	2CSF10x5x0.5x0.3x0.7	15.62	15.615	0.03
2CSFF	2CSF8x10x0.5x0.3x0.8	19.62	19.615	0.03
2CSFF	2CSF15x6x0.5x0.3x0.9	21.82	21.815	0.02
2CSFF	2CSF7x7x0.5x0.3x0	15.05	15.015	0.23

Tabla 265

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	Xcg ETABS (in)	Xcg Fórmulas (in)	%Variación
2CSFF	2CSF10x5x0.5x0.3x0.7	5.35	5.35	0.00
2CSFF	2CSF8x10x0.5x0.3x0.8	10.4	10.4	0.00
2CSFF	2CSF15x6x0.5x0.3x0.9	6.45	6.45	0.00
2CSFF	2CSF7x7x0.5x0.3x0	7	7	0.00

Tabla 266*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Ycg ETABS (in)	Ycg Fórmulas (in)	%Variación
2CSFF	2CSF10x5x0.5x0.3x0.7	5.00	5	0.00
2CSFF	2CSF8x10x0.5x0.3x0.8	4.00	4	0.00
2CSFF	2CSF15x6x0.5x0.3x0.9	7.50	7.5	0.00
2CSFF	2CSF7x7x0.5x0.3x0	3.50	3.5	0.00

Tabla 267*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	I _x ETABS (in ⁴)	I _x Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2CSFF	2CSF10x5x0.5x0.3x0.7	215.1	214.915	0.09
2CSFF	2CSF8x10x0.5x0.3x0.8	214.6	214.494	0.05
2CSFF	2CSF15x6x0.5x0.3x0.9	649.07	648.632	0.07
2CSFF	2CSF7x7x0.5x0.3x0	118.31	118.226	0.07

Tabla 268*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z _x ETABS (in ³)	Z _x Fórmulas (in ³)	%Variación
2CSFF	2CSF10x5x0.5x0.3x0.7	52.22	52.175	0.09
2CSFF	2CSF8x10x0.5x0.3x0.8	60.69	60.66	0.05
2CSFF	2CSF15x6x0.5x0.3x0.9	106.34	106.281	0.06
2CSFF	2CSF7x7x0.5x0.3x0	39.07	39.043	0.07

Tabla 269*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x ETABS (in ³)	S _x Fórmulas (in ³)	%Variación
2CSFF	2CSF10x5x0.5x0.3x0.7	43.02	42.983	0.09
2CSFF	2CSF8x10x0.5x0.3x0.8	53.65	53.623	0.05
2CSFF	2CSF15x6x0.5x0.3x0.9	86.54	86.484	0.06
2CSFF	2CSF7x7x0.5x0.3x0	33.8	33.779	0.06

Tabla 270*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x ETABS (in)	r _x Fórmulas (in)	%Variación
2CSFF	2CSF10x5x0.5x0.3x0.7	3.7105	3.71	0.01
2CSFF	2CSF8x10x0.5x0.3x0.8	3.307	3.307	0.00
2CSFF	2CSF15x6x0.5x0.3x0.9	5.4536	5.453	0.01
2CSFF	2CSF7x7x0.5x0.3x0	2.8062	2.806	0.01

Tabla 271*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I_y ETABS (in⁴)	I_y Fórmulas (in⁴)	%Variación
2CSFF	2CSF10x5x0.5x0.3x0.7	310.94	310.745	0.06
2CSFF	2CSF8x10x0.5x0.3x0.8	1233.85	1233.004	0.07
2CSFF	2CSF15x6x0.5x0.3x0.9	668.75	668.451	0.04
2CSFF	2CSF7x7x0.5x0.3x0	438.05	437.693	0.08

Tabla 272*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z_y ETABS (in³)	Z_y Fórmulas (in³)	%Variación
2CSFF	2CSF10x5x0.5x0.3x0.7	66.1	66.057	0.07
2CSFF	2CSF8x10x0.5x0.3x0.8	142.1	142.011	0.06
2CSFF	2CSF15x6x0.5x0.3x0.9	115.42	115.373	0.04
2CSFF	2CSF7x7x0.5x0.3x0	74.03	73.971	0.08

Tabla 273*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S_y ETABS (in³)	S_y Fórmulas (in³)	%Variación
2CSFF	2CSF10x5x0.5x0.3x0.7	58.12	58.083	0.06
2CSFF	2CSF8x10x0.5x0.3x0.8	118.64	118.558	0.07
2CSFF	2CSF15x6x0.5x0.3x0.9	103.68	103.636	0.04
2CSFF	2CSF7x7x0.5x0.3x0	62.58	62.528	0.08

Tabla 274*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y*

Tipo	Nombre perfil	r_y ETABS (in)	r_y Fórmulas (in)	%Variación
2CSFF	2CSF10x5x0.5x0.3x0.7	4.4612	4.461	0.00
2CSFF	2CSF8x10x0.5x0.3x0.8	7.9294	7.929	0.01
2CSFF	2CSF15x6x0.5x0.3x0.9	5.5357	5.536	0.01
2CSFF	2CSF7x7x0.5x0.3x0	5.3998	5.399	0.01

Tabla 275

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J ETABS (in ⁴)	J Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2CSBB	2CSB10x5x0.5x0.3x0.7	1.05	0.963	8.29
2CSBB	2CSB8x10x0.5x0.3x0.8	1.07	0.977	8.69
2CSBB	2CSB15x6x0.5x0.3x0.9	1.5	1.416	5.60
2CSBB	2CSB7x7x0.5x0.3x0	0.77	0.785	1.95

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles 2CS enfrentados y sin pendiente es:

$$A_{\% \text{Variación}} = \mathbf{0.08\%}$$

$$X_{cg\% \text{Variación}} = \mathbf{0.00\%} \quad Y_{cg\% \text{Variación}} = \mathbf{0.00\%}$$

$$I_{x\% \text{Variación}} = \mathbf{0.07\%} \quad I_{y\% \text{Variación}} = \mathbf{0.06\%}$$

$$S_{x\% \text{Variación}} = \mathbf{0.07\%} \quad S_{y\% \text{Variación}} = \mathbf{0.06\%}$$

$$Z_{x\% \text{Variación}} = \mathbf{0.07\%} \quad Z_{y\% \text{Variación}} = \mathbf{0.06\%}$$

$$r_{x\% \text{Variación}} = \mathbf{0.01\%} \quad r_{y\% \text{Variación}} = \mathbf{0.01\%}$$

$$J_{\% \text{Variación}} = \mathbf{6.13\%}$$

5.1.19. Perfiles 2C enfrentados con pendiente (armados)

En este tipo de perfiles, no existe un catálogo, por lo que la comparación de fórmulas se hará con la aplicación ETABS en el apartado de section designer.

Puesto que, no existe catálogo de perfiles de este tipo se usará una nomenclatura local, por ejemplo, para nombrar el perfil 2CF12x3x0.5x0.5x0.75x16%, primero indica el tipo de perfil (**2CF**), el siguiente número es la altura de un perfil (**12**), el siguiente número es la longitud de la aleta de un perfil (**3**), el siguiente número es el espesor del alma (**0.5**), el siguiente número es el espesor de la aleta (**0.5**), el siguiente número la separación entre perfiles (**0.75**) y por último es la pendiente de la aleta de un perfil (**16%**).

Tabla 276

Dimensiones 2CF12x3x0.5x0.5x0.75x16%

Perfil	2CF12x3x0.5x0.5x0.75x16%
d (in)	12
bf (in)	3
tw (in)	0.50
tf (in)	0.5
r (in)	0.50
P %	16.6667
t (in)	0.75

En estos casos, la perfiles con pendiente no se tendrá en cuenta el radio para el cálculo de propiedades, solo para el cálculo de las constantes torsionales (Cw y J).

5.1.19.1. Área.

$$A = (A_{aleta} * 2 + d * tw) * 2 = 17 \text{ in}^2$$

5.1.19.2. Centroide geométrico.

$$X2C_{cg} = bf + \frac{L}{2} = 3.375 \text{ in} \quad Y2C_{cg} = \frac{d}{2} = 6 \text{ in}$$

5.1.19.3. Inercias.

$$Ix2C = Ix * 2 = 308.621 \text{ in}^4$$

$$Iy2C = (Iy + A * (X2C_{cg} - Xcg)^2) * 2 = 136.06 \text{ in}^4$$

5.1.19.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{Ix2C}{Y2C_{cg}} = 51.437 \text{ in}^3 \quad S_y = \frac{Iy2C}{X2C_{cg}} = 40.316 \text{ in}^3$$

5.1.19.5. Módulos plásticos.

$$Z_x = \left(A_{Aleta} * \left(\frac{d}{2} - Y_{aleta} \right) + \frac{d^2}{8} * tw \right) * 4 = 64.678 \text{ in}^3$$

$$Z_y = A * (X2C_{cg} - Xcg) * 2 = 46.493 \text{ in}^3$$

5.1.19.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x 2C}{A 2C}} = 4.261 \text{ in}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y 2C}{A 2C}} = 2.829 \text{ in}$$

5.1.19.7. Constante torsional de Saint Venant.

En el cálculo de las constantes torsionales, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$J = \left(\frac{2 * bf * tf^3 + (d - 2 * tf) * tw^3}{3} + 2 * \alpha_3 * D_3^4 - 2 * 0.105 * tf^4 \right) * 2 = 1.555 \text{ in}^3$$

5.1.19.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = d'^2 * b'^3 * tf * \left(\frac{1 - 3 * \alpha_1}{6} + \frac{\alpha_1^2}{2} * \left(1 + \frac{d' * tw}{6 * b' * tf} \right) \right) * 2 = 255.802 \text{ in}^6$$

A causa de que Section designer no de un valor de C_w , no es posible comparar; sin embargo, ya se mostró el cálculo de un solo perfil, por lo que el resultado será la sumatoria de los perfiles que se unan.

Tabla 277

Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS

Propiedades	Valores ETABS	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	17.04	17	0.23
Xcg (in)	3.375	3.375	0.00
Ycg (in)	6	6	0.00
Ix (in ⁴)	309.88	308.621	0.41
Zx (in ³)	64.91	64.678	0.36
Sx (in ³)	51.76	51.437	0.62
rx (in)	4.2642	4.261	0.08
Iy (in ⁴)	136.2	136.066	0.10
Zy (in ³)	46.56	46.493	0.14
Sy (in ³)	40.35	40.316	0.08
ry (in)	2.827	2.829	0.07
J (in ⁴)	1.57	1.555	0.96

Para tener un margen de cuánta diferencia hay entre las fórmulas y ETABS, se hará con 4 muestras, para obtener el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 278

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A ETABS (in ²)	A Fórmulas (in ²)	%Variación
2CFF	2CF10x5x0.5x0.3x0.7x10%	15.4	15.4	0.00
2CFF	2CF8x10x0.5x0.5x0.8 x5%	27	27	0.00
2CFF	2CF15x6x0.5x1x0.9x16%	37	37	0.00
2CFF	2CF7x7x0.5x1x0x5%	33	33	0.00

Tabla 279

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	Xcg ETABS (in)	Xcg Fórmulas (in)	%Variación
2CFF	2CF10x5x0.5x0.3x0.7	5.375	5.375	0.00
2CFF	2CF8x10x0.5x0.3x0.8	10.4	10.4	0.00
2CFF	2CF15x6x0.5x0.3x0.9	6.45	6.45	0.00
2CFF	2CF7x7x0.5x0.3x0	7	7	0.00

Tabla 280

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y

Tipo	Nombre perfil	Ycg ETABS (in)	Ycg Fórmulas (in)	%Variación
2CFF	2CF10x5x0.5x0.3x0.7	5	5	0.00
2CFF	2CF8x10x0.5x0.3x0.8	4	4	0.00
2CFF	2CF15x6x0.5x0.3x0.9	7.5	7.5	0.00
2CFF	2CF7x7x0.5x0.3x0	3.5	3.5	0.00

Tabla 281

Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X

Tipo	Nombre perfil	Ix ETABS (in ⁴)	Ix Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2CFF	2CF10x5x0.5x0.3x0.7	208.97	208.968	0.00
2CFF	2CF8x10x0.5x0.3x0.8	307.75	307.749	0.00
2CFF	2CF15x6x0.5x0.3x0.9	1351.07	1351.07	0.00
2CFF	2CF7x7x0.5x0.3x0	264.18	264.178	0.00

Tabla 282*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z _x ETABS (in ³)	Z _x Fórmulas (in ³)	%Variación
2CFF	2CF10x5x0.5x0.3x0.7	51.04	51.038	0.00
2CFF	2CF8x10x0.5x0.3x0.8	86.89	86.893	0.00
2CFF	2CF15x6x0.5x0.3x0.9	209.48	209.48	0.00
2CFF	2CF7x7x0.5x0.3x0	90.14	90.136	0.00

Tabla 283*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x ETABS (in ³)	S _x Fórmulas (in ³)	%Variación
2CFF	2CF10x5x0.5x0.3x0.7	41.79	41.794	0.01
2CFF	2CF8x10x0.5x0.3x0.8	76.94	76.937	0.00
2CFF	2CF15x6x0.5x0.3x0.9	180.14	180.143	0.00
2CFF	2CF7x7x0.5x0.3x0	75.48	75.479	0.00

Tabla 284*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x ETABS (in)	r _x Fórmulas (in)	%Variación
2CFF	2CF10x5x0.5x0.3x0.7	3.6837	3.684	0.01
2CFF	2CF8x10x0.5x0.3x0.8	3.3761	3.376	0.00
2CFF	2CF15x6x0.5x0.3x0.9	6.0428	6.043	0.00
2CFF	2CF7x7x0.5x0.3x0	2.8294	2.829	0.01

Tabla 285*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I _y ETABS (in ⁴)	I _y Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2CFF	2CF10x5x0.5x0.3x0.7	321.72	325.133	1.06
2CFF	2CF8x10x0.5x0.3x0.8	1618.35	1618.353	0.00
2CFF	2CF15x6x0.5x0.3x0.9	934.16	916.806	1.86
2CFF	2CF7x7x0.5x0.3x0	720.47	715.001	0.76

Tabla 286*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z _y ETABS (in ³)	Z _y Fórmulas (in ³)	%Variación
2CFF	2CF10x5x0.5x0.3x0.7	68.08	68.462	0.56
2CFF	2CF8x10x0.5x0.3x0.8	193.34	193.34	0.00
2CFF	2CF15x6x0.5x0.3x0.9	174.49	172.643	1.06
2CFF	2CF7x7x0.5x0.3x0	136.99	136.327	0.48

Tabla 287

Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y

Tipo	Nombre perfil	S _y ETABS (in ³)	S _y Fórmulas (in ³)	%Variación
2CFF	2CF10x5x0.5x0.3x0.7	60.13	60.49	0.60
2CFF	2CF8x10x0.5x0.3x0.8	155.61	155.611	0.00
2CFF	2CF15x6x0.5x0.3x0.9	143.72	142.141	1.10
2CFF	2CF7x7x0.5x0.3x0	102.63	102.143	0.47

Tabla 288

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y

Tipo	Nombre perfil	r _y ETABS (in)	r _y Fórmulas (in)	%Variación
2CFF	2CF10x5x0.5x0.3x0.7	4.5707	4.595	0.53
2CFF	2CF8x10x0.5x0.3x0.8	7.742	7.742	0.00
2CFF	2CF15x6x0.5x0.3x0.9	5.0247	4.978	0.93
2CFF	2CF7x7x0.5x0.3x0	4.6725	4.655	0.37

Tabla 289

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J ETABS (in ⁴)	J Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2CFF	2CF10x5x0.5x0.3x0.7	1.21	1.118	7.60
2CFF	2CF8x10x0.5x0.3x0.8	2.86	2.738	4.27
2CFF	2CF15x6x0.5x0.3x0.9	10.1	9.674	4.22
2CFF	2CF7x7x0.5x0.3x0	9.74	10.34	6.16

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles 2C con pendiente enfrentados es:

$$A_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.00\%}$$

$$Xcg_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.00\%} \quad Ycg_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.00\%}$$

$$Ix_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.00\%} \quad Iy_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.92\%}$$

$$Zx_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.00\%} \quad Zy_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.53\%}$$

$$Sx_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.00\%} \quad Sy_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.54\%}$$

$$rx_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.01\%} \quad ry_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.46\%}$$

$$J_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{5.56\%}$$

5.1.20. Perfiles 2C espalda con espalda con pendiente (armados)

En este tipo de perfiles, no existe un catálogo, por lo que la comparación de fórmulas se hará con la aplicación ETABS en el apartado de section designer.

Puesto que, no existe catálogo de perfiles de este tipo se usará una nomenclatura local, por ejemplo, para nombrar el perfil 2CB12x3x0.5x0.5x0.75x16% primero indica el tipo de perfil (**2CB**), el siguiente número es la altura de un perfil (**12**), el siguiente número es la longitud de la aleta de un perfil (**3**), el siguiente número es el espesor del alma (**0.5**), el siguiente número es el espesor de la aleta (**0.5**), el siguiente numero la separación entre perfiles (**0.75**) y por último es la pendiente de la aleta de un perfil (**16%**).

Tabla 290

Dimensiones 2CB12x3x0.5x0.5x0.75x16%

Perfil	2CB12x3x0.5x0.5x0.75x16%
d (in)	12
bf (in)	3
tw (in)	0.50
tf (in)	0.5
r (in)	0.50
P %	16.6667
t (in)	0.75

5.1.20.1. Área.

$$A_{2C} = A * 2 = 17 \text{ in}^2$$

5.1.20.2. Centroides geométricos.

$$X_{2C_{cg}} = bf + \frac{t}{2} = 3.375 \text{ in} \qquad Y_{2C_{cg}} = Y_{cg} = 6 \text{ in}$$

5.1.20.3. Inercias.

$$I_{x2C} = I_x * 2 = 308.621 \text{ in}^4$$

$$I_{y2C} = \left(I_y + A * \left(X_{cg} + \frac{t}{2} \right)^2 \right) * 2 = 26.431 \text{ in}^4$$

5.1.20.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{Ix2C}{Y2C_{cg}} = 51.437 \text{ in}^3 \qquad S_y = \frac{Iy2C}{X2C_{cg}} = 7.831 \text{ in}^3$$

5.1.20.5. Módulos plásticos.

$$Zx = \left(A_{Aleta} * \left(\frac{d}{2} - Y_{aleta} \right) + \frac{d^2}{8} * tw \right) * 4 = 64.678 \text{ in}^3$$

$$Zy = A * \left(X_{cg} + \frac{t}{2} \right) * 2 = 17.257 \text{ in}^3$$

5.1.20.6. Radios de giro.

$$rx = \sqrt{\frac{Ix2C}{A2C}} = 4.261 \text{ in} \qquad ry = \sqrt{\frac{Iy2C}{A2C}} = 1.247 \text{ in}$$

5.1.20.7. Constante torsional de Saint Venant.

En el cálculo de las constantes torsionales, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$J = \left(\frac{2 * bf * tf^3 + (d - 2 * tf) * tw^3}{3} + 2 * \alpha_3 * D_3^4 - 2 * 0.105 * tf^4 \right) * 2 = 1.555 \text{ in}^4$$

5.1.20.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$Cw = d'^2 * b'^3 * tf * \left(\frac{1 - 3 * \alpha_1}{6} + \frac{\alpha_1^2}{2} * \left(1 + \frac{d' * tw}{6 * b' * tf} \right) \right) * 2 = 255.802 \text{ in}^6$$

A causa de que Section designer no de un valor de Cw, no es posible comparar; sin embargo, ya se mostró el cálculo de un solo perfil, por lo que el resultado será la sumatoria de los perfiles que se unan.

Tabla 291

Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS

Propiedades	Valores ETABS	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	17	17	0.00
Xcg (in)	3.375	3.375	0.00
Ycg (in)	6	6	0.00
Ix (in ⁴)	308.62	308.621	0.00
Zx (in ³)	64.68	64.678	0.00
Sx (in ³)	51.44	51.437	0.01
rx (in)	4.2608	4.261	0.00
Iy (in ⁴)	26.43	26.431	0.00
Zy (in ³)	17.26	17.257	0.02
Sy (in ³)	7.83	7.831	0.01
ry (in)	1.2469	1.247	0.01
J (in ⁴)	1.59	1.555	2.20

Para tener un margen de cuánta diferencia hay entre las fórmulas y ETABS, se hará con 4 muestras, para obtener el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 292

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A ETABS (in ²)	A Fórmulas (in ²)	%Variación
2CBB	2CB10x5x0.5x0.3x0.7x10%	15.4	15.4	0.00
2CBB	2CB8x10x0.5x0.3x0.8x5%	27	27	0.00
2CBB	2CB15x6x0.5x0.3x0.9x16%	37	37	0.00
2CBB	2CB7x7x0.5x0.3x0x5%	33	33	0.00

Tabla 293

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	Xcg ETABS (in)	Xcg Fórmulas (in)	%Variación
2CBB	2CB10x5x0.5x0.3x0.7x10%	5.35	5.35	0.00
2CBB	2CB8x10x0.5x0.3x0.8x5%	10.4	10.4	0.00
2CBB	2CB15x6x0.5x0.3x0.9x16%	6.45	6.45	0.00
2CBB	2CB7x7x0.5x0.3x0x5%	7	7	0.00

Tabla 294*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Ycg ETABS (in)	Ycg Fórmulas (in)	%Variación
2CBB	2CB10x5x0.5x0.3x0.7x10%	5	5	0.00
2CBB	2CB8x10x0.5x0.3x0.8x5%	4	4	0.00
2CBB	2CB15x6x0.5x0.3x0.9x16%	7.5	7.5	0.00
2CBB	2CB7x7x0.5x0.3x0x5%	3.5	3.5	0.00

Tabla 295*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	Ix ETABS (in ⁴)	Ix Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2CBB	2CB10x5x0.5x0.3x0.7x10%	208.97	208.968	0.00
2CBB	2CB8x10x0.5x0.3x0.8x5%	307.75	307.749	0.00
2CBB	2CB15x6x0.5x0.3x0.9x16%	1351.07	1351.07	0.00
2CBB	2CB7x7x0.5x0.3x0x5%	264.18	264.178	0.00

Tabla 296*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Zx ETABS (in ³)	Zx Fórmulas (in ³)	%Variación
2CBB	2CB10x5x0.5x0.3x0.7x10%	51.04	51.038	0.00
2CBB	2CB8x10x0.5x0.3x0.8x5%	86.89	86.893	0.00
2CBB	2CB15x6x0.5x0.3x0.9x16%	209.48	209.48	0.00
2CBB	2CB7x7x0.5x0.3x0x5%	90.14	90.136	0.00

Tabla 297*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Sx ETABS (in ³)	Sx Fórmulas (in ³)	%Variación
2CBB	2CB10x5x0.5x0.3x0.7x10%	41.79	41.794	0.01
2CBB	2CB8x10x0.5x0.3x0.8x5%	76.94	76.937	0.00
2CBB	2CB15x6x0.5x0.3x0.9x16%	180.14	180.143	0.00
2CBB	2CB7x7x0.5x0.3x0x5%	75.48	75.479	0.00

Tabla 298*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r_x ETABS (in)	r_x Fórmulas (in)	%Variación
2CBB	2CB10x5x0.5x0.3x0.7x10%	3.6837	3.684	0.01
2CBB	2CB8x10x0.5x0.3x0.8x5%	3.3761	3.376	0.00
2CBB	2CB15x6x0.5x0.3x0.9x16%	6.0428	6.043	0.00
2CBB	2CB7x7x0.5x0.3x0x5%	2.8294	2.829	0.01

Tabla 299*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I_y ETABS (in ⁴)	I_y Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2CBB	2CB10x5x0.5x0.3x0.7x10%	45.98	45.982	0.00
2CBB	2CB8x10x0.5x0.3x0.8x5%	591.5	591.498	0.00
2CBB	2CB15x6x0.5x0.3x0.9x16%	295.9	295.902	0.00
2CBB	2CB7x7x0.5x0.3x0x5%	425.32	423.422	0.45

Tabla 300*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z_y ETABS (in ³)	Z_y Fórmulas (in ³)	%Variación
2CBB	2CB10x5x0.5x0.3x0.7x10%	19.7	19.702	0.01
2CBB	2CB8x10x0.5x0.3x0.8x5%	98.26	98.26	0.00
2CBB	2CB15x6x0.5x0.3x0.9x16%	82.66	82.657	0.00
2CBB	2CB7x7x0.5x0.3x0x5%	95	94.673	0.34

Tabla 301*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S_y ETABS (in ³)	S_y Fórmulas (in ³)	%Variación
2CBB	2CB10x5x0.5x0.3x0.7x10%	8.59	8.595	0.06
2CBB	2CB8x10x0.5x0.3x0.8x5%	56.87	56.875	0.01
2CBB	2CB15x6x0.5x0.3x0.9x16%	45.88	45.876	0.01
2CBB	2CB7x7x0.5x0.3x0x5%	60.67	60.489	0.30

Tabla 302

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y

Tipo	Nombre perfil	r_y ETABS (in)	r_y Fórmulas (in)	%Variación
2CBB	2CB10x5x0.5x0.3x0.7x10%	1.728	1.728	0.00
2CBB	2CB8x10x0.5x0.3x0.8x5%	4.6805	4.681	0.01
2CBB	2CB15x6x0.5x0.3x0.9x16%	2.828	2.828	0.00
2CBB	2CB7x7x0.5x0.3x0x5%	3.59	3.582	0.22

Tabla 303

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J ETABS (in ⁴)	J Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2CBB	2CB10x5x0.5x0.3x0.7x10%	1.21	1.118	7.60
2CBB	2CB8x10x0.5x0.3x0.8x5%	2.86	2.738	4.27
2CBB	2CB15x6x0.5x0.3x0.9x16%	10.1	9.674	4.22
2CBB	2CB7x7x0.5x0.3x0x5%	9.74	10.34	6.16

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles 2C con pendiente espalda con espalda es:

$$A_{\% \text{Variación}} = 0.00\%$$

$$Xcg_{\% \text{Variación}} = 0.00\% \quad Ycg_{\% \text{Variación}} = 0.00\%$$

$$Ix_{\% \text{Variación}} = 0.00\% \quad Iy_{\% \text{Variación}} = 0.11\%$$

$$Sx_{\% \text{Variación}} = 0.00\% \quad Sy_{\% \text{Variación}} = 0.09\%$$

$$Zx_{\% \text{Variación}} = 0.00\% \quad Zy_{\% \text{Variación}} = 0.09\%$$

$$rx_{\% \text{Variación}} = 0.01\% \quad ry_{\% \text{Variación}} = 0.06\%$$

$$J_{\% \text{Variación}} = 5.56\%$$

5.1.21. Perfiles 2T Patín con patín sin pendiente (armados)

En este tipo de perfiles, no existe un catálogo, por lo que la comparación de fórmulas se hará con la aplicación ETABS en el apartado de section designer.

Puesto que, no existe catálogo de perfiles de este tipo se usará una nomenclatura local, por ejemplo, para nombrar el perfil 2TP12x12x0.5x1x0.75 primero indica el tipo de perfil (**2TP**), el siguiente número es la altura de un perfil (**12**), el siguiente número es la longitud de la aleta de un perfil (**12**), el siguiente número es el espesor del alma (**0.5**), el siguiente número es el espesor de la aleta (**1**) y por último la separación entre perfiles (**0.75**).

Tabla 304

Dimensiones 2TP12x12x0.5x1x0.75

Perfil	2TP12x12x0.5x1x0.75
d (in)	12
bf (in)	12
tw (in)	0.50
tf (in)	1
r (in)	0.50
t	0.75

5.1.21.1. Área.

$$A_{2T} = 2 * A = 35.215 \text{ in}^2$$

5.1.21.2. Centro geométrico.

$$X_{2T_{cg}} = X_{cg} = 6 \text{ in} \quad Y_{2T_{cg}} = d + \frac{t}{2} = 12.375 \text{ in}$$

5.1.21.3. Inercias.

$$I_{x2T} = \left(I_x + A * \left(Y_{cg} + \frac{t}{2} \right)^2 \right) * 2 = 651.69 \text{ in}^4$$

$$I_{y2T} = I_y * 2 = 288.259 \text{ in}^4$$

5.1.21.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_{x2T}}{Y_{2T}} = 52.662 \text{ in}^3$$

$$S_y = \frac{I_{y2T}}{X_{2T}} = 48.043 \text{ in}^3$$

5.1.21.5. Módulos plásticos.

$$Zy = \left(\frac{bf^2}{8} * tf + (d - tf) * \frac{tw^2}{8} + \left(r^2 - \pi * \frac{r^2}{4} \right) * \left(\frac{tw}{2} + r - \frac{2 * r}{3 * (4 - \pi)} \right) \right) * 4$$

$$= 73.453 \text{ in}^3$$

$$Zx = A * \left(Ycg + \frac{t}{2} \right) * 2 = 96.944 \text{ in}^3$$

5.1.21.6. Radios de giro.

$$rx = \sqrt{\frac{Ix2T}{A2T}} = 4.302 \text{ in}$$

$$ry = \sqrt{\frac{Iy2T}{A2T}} = 2.861 \text{ in}$$

5.1.21.7. Constante torsional de Saint Venant.

En el cálculo de las constantes torsionales, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$J = \left(\frac{bf * tf^3 + (d - tf) * tw^3}{3} + \alpha * D^4 - 2 * 0.105 * tf^4 - 0.105 * tw^4 \right) * 2 = 9.002 \text{ in}^4$$

5.1.21.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$Cw = \left(\frac{tf^3 * bf^3}{144} + \frac{1}{36} * \left(d - \frac{tf}{2} \right)^3 * tw^3 \right) * 2 = 34.562 \text{ in}^6$$

A causa de que Section designer no de un valor de Cw, no es posible comparar; sin embargo, ya se mostró el cálculo de un solo perfil, por lo que el resultado será la sumatoria de los perfiles que se unan.

Tabla 305

Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS

Propiedades	Valores ETABS	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	35.22	35.215	0.01
Xcg (in)	6	6	0.00
Ycg (in)	12.375	12.375	0.00
Ix (in ⁴)	651.71	651.69	0.00
Zx (in ³)	96.96	96.944	0.02
Sx (in ³)	52.66	52.662	0.00
rx (in)	4.3014	4.302	0.01
Iy (in ⁴)	288.26	288.259	0.00
Zy (in ³)	73.46	73.453	0.01
Sy (in ³)	48.04	48.043	0.01
ry (in)	2.8607	2.861	0.01
J (in ⁴)	9.05	9.002	0.53

Para tener un margen de cuánta diferencia hay entre las fórmulas y ETABS, se hará con 4 muestras, para obtener el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 306

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A ETABS (in ²)	A Fórmulas (in ²)	%Variación
2TPP	2TP10x5x0.5x0.3x0.7	12.92	12.915	0.04
2TPP	2TP8x10x0.5x0.5x0.8	17.72	17.715	0.03
2TPP	2TP15x6x0.5x1x0.9	26.89	26.858	0.12
2TPP	2TP7x7x0.5x1x0	20.22	20.215	0.02

Tabla 307

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	Xcg ETABS (in)	Xcg Fórmulas (in)	%Variación
2TPP	2TP10x5x0.5x0.3x0.7	2.5	2.5	0.00
2TPP	2TP8x10x0.5x0.5x0.8	5	5	0.00
2TPP	2TP15x6x0.5x1x0.9	3	3	0.00
2TPP	2TP7x7x0.5x1x0	3.5	3.5	0.00

Tabla 308*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Ycg ETABS (in)	Ycg Fórmulas (in)	%Variación
2TPP	2TP10x5x0.5x0.3x0.7	10.35	10.35	0.00
2TPP	2TP8x10x0.5x0.5x0.8	8.4	8.4	0.00
2TPP	2TP15x6x0.5x1x0.9	15.45	15.45	0.00
2TPP	2TP7x7x0.5x1x0	7	7	0.00

Tabla 309*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	I _x ETABS (in ⁴)	I _x Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2TPP	2TP10x5x0.5x0.3x0.7	370.39	370.38	0.00
2TPP	2TP8x10x0.5x0.5x0.8	201.99	201.98	0.00
2TPP	2TP15x6x0.5x1x0.9	1242.69	1242.566	0.01
2TPP	2TP7x7x0.5x1x0	119.57	118.934	0.53

Tabla 310*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z _x ETABS (in ³)	Z _x Fórmulas (in ³)	%Variación
2TPP	2TP10x5x0.5x0.3x0.7	34.91	34.942	0.09
2TPP	2TP8x10x0.5x0.5x0.8	41.6	41.592	0.02
2TPP	2TP15x6x0.5x1x0.9	131.2	131.136	0.05
2TPP	2TP7x7x0.5x1x0	31.45	31.239	0.67

Tabla 311*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x ETABS (in ³)	S _x Fórmulas (in ³)	%Variación
2TPP	2TP10x5x0.5x0.3x0.7	21.6	21.6	0.00
2TPP	2TP8x10x0.5x0.5x0.8	24.05	24.045	0.02
2TPP	2TP15x6x0.5x1x0.9	80.43	80.425	0.01
2TPP	2TP7x7x0.5x1x0	17.06	16.991	0.40

Tabla 312*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x ETABS (in)	r _x Fórmulas (in)	%Variación
2TPP	2TP10x5x0.5x0.3x0.7	4.5797	4.571	0.19
2TPP	2TP8x10x0.5x0.5x0.8	3.3759	3.377	0.03
2TPP	2TP15x6x0.5x1x0.9	6.7975	6.802	0.07
2TPP	2TP7x7x0.5x1x0	2.4316	2.426	0.23

Tabla 313*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I _y ETABS (in ⁴)	I _y Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2TPP	2TP10x5x0.5x0.3x0.7	9.21	9.313	1.12
2TPP	2TP8x10x0.5x0.5x0.8	83.52	83.52	0.00
2TPP	2TP15x6x0.5x1x0.9	36.53	36.514	0.04
2TPP	2TP7x7x0.5x1x0	57.32	57.322	0.00

Tabla 314*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z _y ETABS (in ³)	Z _y Fórmulas (in ³)	%Variación
2TPP	2TP10x5x0.5x0.3x0.7	6.19	6.245	0.89
2TPP	2TP8x10x0.5x0.5x0.8	26.02	26.015	0.02
2TPP	2TP15x6x0.5x1x0.9	20.18	20.156	0.12
2TPP	2TP7x7x0.5x1x0	25.33	25.328	0.01

Tabla 315*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S _y ETABS (in ³)	S _y Fórmulas (in ³)	%Variación
2TPP	2TP10x5x0.5x0.3x0.7	3.69	3.725	0.95
2TPP	2TP8x10x0.5x0.5x0.8	16.7	16.704	0.02
2TPP	2TP15x6x0.5x1x0.9	12.18	12.171	0.07
2TPP	2TP7x7x0.5x1x0	16.38	16.378	0.01

Tabla 316*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y*

Tipo	Nombre perfil	r _y ETABS (in)	r _y Fórmulas (in)	%Variación
2TPP	2TP10x5x0.5x0.3x0.7	0.9298	0.933	0.34
2TPP	2TP8x10x0.5x0.5x0.8	2.1708	2.171	0.01
2TPP	2TP15x6x0.5x1x0.9	1.1655	1.166	0.04
2TPP	2TP7x7x0.5x1x0	1.6836	1.684	0.02

Tabla 317

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J ETABS (in ⁴)	J Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2TPP	2TP10x5x0.5x0.3x0.7	0.571	0.62	8.58
2TPP	2TP8x10x0.5x0.5x0.8	1.61	1.601	0.56
2TPP	2TP15x6x0.5x1x0.9	6.38	6.256	1.94
2TPP	2TP7x7x0.5x1x0	5.29	5.252	0.72

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles 2T sin pendiente unidos patín con patín es:

$$A_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.05\%}$$

$$Xcg_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.00\%} \quad Ycg_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.00\%}$$

$$Ix_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.14\%} \quad Iy_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.29\%}$$

$$Sx_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.21\%} \quad Sy_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.26\%}$$

$$Zx_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.11\%} \quad Zy_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.26\%}$$

$$rx_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.13\%} \quad ry_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{0.11\%}$$

$$J_{\% \text{ Variación}} = \mathbf{2.95\%}$$

5.1.22. Perfiles 2TS Patín con patín con pendiente (armados)

En este tipo de perfiles, no existe un catálogo, por lo que la comparación de fórmulas se hará con la aplicación ETABS en el apartado de section designer.

Puesto que, no existe catálogo de perfiles de este tipo se usará una nomenclatura local, por ejemplo, para nombrar el perfil 2TSP12x12x0.5x1x0.75x16%, primero indica el tipo de perfil (**2TSP**), el siguiente número es la altura de un perfil (**12**), el siguiente número es la longitud de la aleta de un perfil (**12**), el siguiente número es el espesor del alma (**0.5**), el siguiente número es el espesor de la aleta (**1**), el siguiente número la separación entre perfiles (**0.75**) y por último es la pendiente de la aleta de un perfil (**16%**).

Tabla 318

Dimensiones 2TSP12x12x0.5x1x0.75X16%

Perfil	2TSP12x12x0.5x1x0.75X16%
d (in)	12
bf (in)	12
tw (in)	0.50
tf (in)	1
r (in)	1.1
P %	16.6667
t (in)	0.75

5.1.22.1. Área.

$$A_{2T} = 2 * A = 35 \text{ in}^2$$

5.1.22.2. Centroide geométrico.

$$X_{2T_{cg}} = X_{cg} = 6 \text{ in} \qquad Y_{2T_{cg}} = d + \frac{t}{2} = 12.375 \text{ in}$$

5.1.22.3. Inercias.

$$I_{x_{2T}} = \left(I_x + A * \left(Y_{cg} + \frac{t}{2} \right)^2 \right) * 2 = 653.634 \text{ in}^4$$

$$I_{y_{2T}} = 2 * I_y = 222.219 \text{ in}^4$$

5.1.22.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_{x_{2T}}}{Y_{2T_{cg}}} = 52.819 \text{ in}^3 \qquad S_y = \frac{I_{y_{2T}}}{X_{2T_{cg}}} = 37.036 \text{ in}^3$$

5.1.22.5. Módulos plásticos.

$$Z_y = \left(\frac{bf^2}{8} * (tf - h_2) + h_1 * \frac{bf - tw}{4} + \left(\frac{bf - tw}{6} + \frac{tw}{2} \right) + (d - (tf - h_2) * \frac{tw^2}{8}) \right) * 4$$

$$= 62.813 \text{ in}^3$$

$$Z_x = A * \left(Y_{cg} + \frac{t}{2} \right) * 2 = 97.505 \text{ in}^3$$

5.1.22.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x 2T}{A 2T}} = 4.321 \text{ in} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y 2T}{A 2T}} = 2.52 \text{ in}$$

5.1.22.7. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = \left(\frac{bf * tf^3 + (d - tf) * tw^3}{3} + \alpha * D^4 - 2 * 0.105 * tf^4 - 0.105 * tw^4 \right) * 2 = 10.323 \text{ in}^4$$

5.1.22.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

En el cálculo de las constantes torsionales, se obtiene el de un perfil y este se multiplica por la cantidad de perfiles, en este caso 2.

$$C_w = \left(\frac{tf^3 * bf^3}{144} + \frac{1}{36} * \left(d - \frac{tf}{2} \right)^3 * tw^3 \right) * 2 = 34.562 \text{ in}^6$$

A causa de que Section designer no de un valor de C_w , no es posible comparar; sin embargo, ya se mostró el cálculo de un solo perfil, por lo que el resultado será la sumatoria de los perfiles que se unan.

Tabla 319

Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS

Propiedades	Valores ETABS	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	35	35	0.00
Xcg (in)	6	6	0.00
Ycg (in)	12.375	12.375	0.00
Ix (in ⁴)	653.63	653.634	0.00
Zx (in ³)	97.51	97.505	0.01
Sx (in ³)	52.82	52.819	0.00
rx (in)	4.3215	4.321	0.01
Iy (in ⁴)	222.22	222.219	0.00
Zy (in ³)	62.81	62.813	0.00
Sy (in ³)	37.04	37.036	0.01
ry (in)	2.5197	2.52	0.01
J (in ⁴)	11.78	10.323	12.37

Para tener un margen de cuánta diferencia hay entre las fórmulas y ETABS, se hará con 4 muestras, para obtener el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 320

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A ETABS (in ²)	A Fórmulas (in ²)	%Variación
2TSPP	2TSP10x5x0.5x0.3x0.7X10%	12.7	12.7	0.00
2TSPP	2TSP8x10x0.5x0.5x0.8x5%	17.5	17.5	0.00
2TSPP	2TSP15x6x0.5x1x0.9x16%	26	26	0.00
2TSPP	2TSP7x7x0.5x1x0x5%	20	20	0.00

Tabla 321

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	Xcg ETABS (in)	Xcg Fórmulas (in)	%Variación
2TSPP	2TSP10x5x0.5x0.3x0.7X10%	2.5	2.5	0.00
2TSPP	2TSP8x10x0.5x0.5x0.8x5%	5	5	0.00
2TSPP	2TSP15x6x0.5x1x0.9x16%	3	3	0.00
2TSPP	2TSP7x7x0.5x1x0x5%	3.5	3.5	0.00

Tabla 322

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y

Tipo	Nombre perfil	Ycg ETABS (in)	Ycg Fórmulas (in)	%Variación
2TSPP	2TSP10x5x0.5x0.3x0.7X10%	10.35	10.35	0.00
2TSPP	2TSP8x10x0.5x0.5x0.8x5%	8.4	8.4	0.00
2TSPP	2TSP15x6x0.5x1x0.9x16%	15.45	15.45	0.00
2TSPP	2TSP7x7x0.5x1x0x5%	7	7	0.00

Tabla 323

Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X

Tipo	Nombre perfil	I _x ETABS (in ⁴)	I _x Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2TSPP	2TSP10x5x0.5x0.3x0.7X10%	370.31	370.278	0.01
2TSPP	2TSP8x10x0.5x0.5x0.8x5%	201.84	201.839	0.00
2TSPP	2TSP15x6x0.5x1x0.9x16%	1240.41	1240.411	0.00
2TSPP	2TSP7x7x0.5x1x0x5%	119.32	118.985	0.28

Tabla 324*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z _x ETABS (in ³)	Z _x Fórmulas (in ³)	%Variación
2TSPP	2TSP10x5x0.5x0.3x0.7X10%	54.9	54.869	0.06
2TSPP	2TSP8x10x0.5x0.5x0.8x5%	41.42	41.42	0.00
2TSPP	2TSP15x6x0.5x1x0.9x16%	129.8	129.796	0.00
2TSPP	2TSP7x7x0.5x1x0x5%	31.21	31.159	0.16

Tabla 325*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x ETABS (in ⁴)	S _x Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2TSPP	2TSP10x5x0.5x0.3x0.7X10%	35.78	35.776	0.01
2TSPP	2TSP8x10x0.5x0.5x0.8x5%	24.03	24.028	0.01
2TSPP	2TSP15x6x0.5x1x0.9x16%	80.29	80.285	0.01
2TSPP	2TSP7x7x0.5x1x0x5%	17.02	16.998	0.13

Tabla 326*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x ETABS (in)	r _x Fórmulas (in)	%Variación
2TSPP	2TSP10x5x0.5x0.3x0.7X10%	5.3908	5.4	0.17
2TSPP	2TSP8x10x0.5x0.5x0.8x5%	3.3961	3.396	0.00
2TSPP	2TSP15x6x0.5x1x0.9x16%	6.9071	6.907	0.00
2TSPP	2TSP7x7x0.5x1x0x5%	2.4425	2.439	0.14

Tabla 327*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I _y ETABS (in ⁴)	I _y Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2TSPP	2TSP10x5x0.5x0.3x0.7X10%	5.41	5.408	0.04
2TSPP	2TSP8x10x0.5x0.5x0.8x5%	74.11	74.112	0.00
2TSPP	2TSP15x6x0.5x1x0.9x16%	32.54	32.537	0.01
2TSPP	2TSP7x7x0.5x1x0x5%	55.15	55.003	0.27

Tabla 328*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z _y ETABS (in ³)	Z _y Fórmulas (in ³)	%Variación
2TSPP	2TSP10x5x0.5x0.3x0.7X10%	4.6	4.583	0.37
2TSPP	2TSP8x10x0.5x0.5x0.8x5%	24.15	24.151	0.00
2TSPP	2TSP15x6x0.5x1x0.9x16%	18.59	18.595	0.03
2TSPP	2TSP7x7x0.5x1x0x5%	24.68	24.64	0.16

Tabla 329

Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y

Tipo	Nombre perfil	S _y ETABS (in ³)	S _y Fórmulas (in ³)	%Variación
2TSPP	2TSP10x5x0.5x0.3x0.7X10%	2.16	2.163	0.14
2TSPP	2TSP8x10x0.5x0.5x0.8x5%	14.82	14.822	0.01
2TSPP	2TSP15x6x0.5x1x0.9x16%	10.85	10.846	0.04
2TSPP	2TSP7x7x0.5x1x0x5%	15.76	15.715	0.29

Tabla 330

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y

Tipo	Nombre perfil	r _y ETABS (in)	r _y Fórmulas (in)	%Variación
2TSPP	2TSP10x5x0.5x0.3x0.7X10%	0.6517	0.653	0.20
2TSPP	2TSP8x10x0.5x0.5x0.8x5%	2.0579	2.058	0.00
2TSPP	2TSP15x6x0.5x1x0.9x16%	1.1187	1.119	0.03
2TSPP	2TSP7x7x0.5x1x0x5%	1.6605	1.658	0.15

Tabla 331

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J ETABS (in ⁴)	J Fórmulas (in ⁴)	%Variación
2TSPP	2TSP10x5x0.5x0.3x0.7X10%	0.95	0.945	0.53
2TSPP	2TSP8x10x0.5x0.5x0.8x5%	1.61	1.601	0.56
2TSPP	2TSP15x6x0.5x1x0.9x16%	5.8	6.25	7.76
2TSPP	2TSP7x7x0.5x1x0x5%	5.3	5.252	0.91

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles 2TS con pendiente unidos patín con patín es:

$$A_{\% \text{ Variación}} = 0.00\%$$

$$Xcg_{\% \text{ Variación}} = 0.00\% \quad Ycg_{\% \text{ Variación}} = 0.00\%$$

$$Ix_{\% \text{ Variación}} = 0.07\% \quad Iy_{\% \text{ Variación}} = 0.08\%$$

$$Sx_{\% \text{ Variación}} = 0.06\% \quad Sy_{\% \text{ Variación}} = 0.12\%$$

$$Zx_{\% \text{ Variación}} = 0.04\% \quad Zy_{\% \text{ Variación}} = 0.14\%$$

$$rx_{\% \text{ Variación}} = 0.08\% \quad ry_{\% \text{ Variación}} = 0.10\%$$

$$J_{\% \text{ Variación}} = 2.44\%$$

5.1.23. Perfiles en IR reforzado con placas en las aletas (armados)

En este tipo de perfiles, no existe un catálogo, por lo que la comparación de fórmulas se hará con la aplicación ETABS en el apartado de section designer.

Puesto que, no existe catálogo de perfiles de este tipo se usará una nomenclatura local, por ejemplo, para nombrar el perfil IR24x12x16x1 primero indica el tipo de perfil (**IR**), el siguiente número es la altura del perfil (**24**), el siguiente número es la longitud de la aleta del perfil (**12**), el siguiente número es la longitud de la placa (**16**), el siguiente número es el espesor de la placa (**1**).

Tabla 332

Dimensiones IR24x12x16x1

Perfil	IR24x12x16x1
d (in)	24
bf (in)	12
tw (in)	0.5
tf (in)	1
r (in)	1.275
L (in)	16
t (in)	1

5.1.23.1. Área.

$$A = 2 * bf * tf + (d - 2 * tf) * tw + 4 * r^2 - \pi * r^2$$

$$A_{IR} = A + L * t * 2 = 68.395 \text{ in}^2$$

5.1.23.2. Centroides geométricos.

$$Y_{IR_{cg}} = \frac{d}{2} + t = 13 \text{ in} \quad X_{IR_{cg}} = \frac{L}{2} = 8 \text{ in}$$

5.1.23.3. Inercias.

$$I_{X_{IR}} = I_{x_{Total}} + 2 * \left(\frac{L * t^3}{12} + L * t \left(\frac{d}{2} + \frac{t}{2} \right)^2 \right) = 8782.632 \text{ in}^4$$

$$I_{yIR} = I_{yTotal} + 2 * \left(\frac{L^3 * t}{12} \right) = 971.375 \text{ in}^4$$

5.1.23.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{\left(\frac{d}{2} + t\right)} = 675.587 \text{ in}^3 \quad S_y = \frac{I_y}{(L/2)} = 121.422 \text{ in}^3$$

5.1.23.5. Módulos plásticos.

$$Z_{xPlaca} = L * t * \left(\frac{d}{2} + \frac{t}{2} \right) * 2$$

$$Z_x = Z_{xI} + Z_{xS} + Z_{xPlaca} = 751.453 \text{ in}^3$$

$$Z_{yPlaca} = \frac{L}{2} * t * \left(\frac{L}{4} \right) * 4$$

$$Z_y = Z_{yI} + Z_{yS} + Z_{yPlaca} = 202.121 \text{ in}^3$$

5.1.23.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_{xIR}}{A_{IR}}} = 11.332 \text{ in}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_{yIR}}{A_{IR}}} = 3.769 \text{ in}$$

5.1.23.7. Constante torsional de Saint Venant.

Como la placa es más largo que bf entonces la fórmula para el cálculo de J es la siguiente.

$$J = \frac{2 * bf * t_{Total}^3 + (H_{Total} - 2 * t_{Total}) * tW^3}{3} + 2 * \alpha_1 * D_1^4 - 4 * 0.105 * t_{Total}^4$$

$$+ \frac{2 * (l - bf + t^3)}{3} = 67.985 \text{ in}^4$$

5.1.23.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

En este caso al C_w no se le suma un factor más ya que el aumento esta dado por la inercia total y el Brazo.

$$C_w = (d + t)^2 * \frac{I_{yIR}}{4} = 52617.038 \text{ in}^6$$

A causa de que Section designer no de un valor de C_w , no es posible comparar; sin embargo, ya se mostró el cálculo se hará con las consideraciones de inercia total y con un brazo que cubra la respectiva sección.

Tabla 333

Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS

Propiedades	Valores ETABS	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	68.45	68.395	0.08
Xcg (in)	8	8	0.00
Ycg (in)	13	13	0.00
Ix (in ⁴)	8789.09	8782.632	0.07
Sx (in ³)	676.08	675.587	0.07
Zx (in ³)	752.07	751.453	0.08
rx (in)	11.3311	11.332	0.01
Iy (in ⁴)	971.41	971.375	0.00
Sy (in ³)	121.43	121.422	0.01
Zy (in ³)	202.16	202.121	0.02
ry (in)	3.7671	3.769	0.05
J (in ⁴)	69.55	67.985	2.25

Para tener un margen de cuánta diferencia hay entre las fórmulas y ETABS, se hará con 4 muestras, para obtener el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 334

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A ETABS (in ²)	A Fórmulas (in ²)	%Variación
IR	IR24x12x12x2	84.45	84.395	0.07
IR	IR24x12x8x3	84.45	84.395	0.07
IR	IR24x12x20x1	76.45	76.395	0.07
IR	IR8x12x20x1	68.45	68.395	0.08

Tabla 335

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	Xcg ETABS (in)	Xcg Fórmulas (in)	%Variación
IR	IR24x12x12x2	6	6	0.00
IR	IR24x12x8x3	6	6	0.00
IR	IR24x12x20x1	10	10	0.00
IR	IR8x12x20x1	10	10	0.00

Tabla 336*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Ycg ETABS (in)	Ycg Fórmulas (in)	%Variación
IR	IR24x12x12x2	14	14	0.00
IR	IR24x12x8x3	15	15	0.00
IR	IR24x12x20x1	13	13	0.00
IR	IR8x12x20x1	5	5	0.00

Tabla 337*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	I _x ETABS (in ⁴)	I _x Fórmulas (in ⁴)	%Variación
IR	IR24x12x12x2	11914.43	11907.966	0.05
IR	IR24x12x8x3	12570.43	12563.966	0.05
IR	IR24x12x20x1	10039.76	10033.299	0.06
IR	IR8x12x20x1	1129.08	1128.701	0.03

Tabla 338*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z _x ETABS (in ³)	Z _x Fórmulas (in ³)	%Variación
IR	IR24x12x12x2	976.07	975.453	0.06
IR	IR24x12x8x3	1000.07	999.453	0.06
IR	IR24x12x20x1	852.07	851.453	0.07
IR	IR8x12x20x1	272.44	272.289	0.06

Tabla 339*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x ETABS (in ³)	S _x Fórmulas (in ³)	%Variación
IR	IR24x12x12x2	851.03	850.569	0.05
IR	IR24x12x8x3	838.03	837.598	0.05
IR	IR24x12x20x1	772.29	771.792	0.06
IR	IR8x12x20x1	225.82	225.74	0.04

Tabla 340*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x ETABS (in)	r _x Fórmulas (in)	%Variación
IR	IR24x12x12x2	11.8776	11.878	0.00
IR	IR24x12x8x3	12.2002	12.201	0.01
IR	IR24x12x20x1	11.4594	11.46	0.01
IR	IR8x12x20x1	4.0613	4.062	0.02

Tabla 341*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I _y ETABS (in ⁴)	I _y Fórmulas (in ⁴)	%Variación
IR	IR24x12x12x2	864.75	864.708	0.00
IR	IR24x12x8x3	544.75	544.708	0.01
IR	IR24x12x20x1	1622.08	1622.041	0.00
IR	IR8x12x20x1	1621.91	1621.875	0.00

Tabla 342*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z _y ETABS (in ³)	Z _y Fórmulas (in ³)	%Variación
IR	IR24x12x12x2	218.16	218.121	0.02
IR	IR24x12x8x3	170.16	170.121	0.02
IR	IR24x12x20x1	274.16	274.121	0.01
IR	IR8x12x20x1	273.16	273.121	0.01

Tabla 343*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S _y ETABS (in ³)	S _y Fórmulas (in ³)	%Variación
IR	IR24x12x12x2	144.12	144.118	0.00
IR	IR24x12x8x3	90.79	90.785	0.01
IR	IR24x12x20x1	162.21	162.204	0.00
IR	IR8x12x20x1	162.19	162.187	0.00

Tabla 344*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y*

Tipo	Nombre perfil	r _y ETABS (in)	r _y Fórmulas (in)	%Variación
IR	IR24x12x12x2	3.1999	3.201	0.03
IR	IR24x12x8x3	2.5397	2.541	0.05
IR	IR24x12x20x1	4.6061	4.608	0.04
IR	IR8x12x20x1	4.8676	4.87	0.05

Tabla 345*Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)*

Tipo	Nombre perfil	J ETABS (in ⁴)	J Fórmulas (in ⁴)	%Variación
IR	IR24x12x12x2	197.82	200.304	1.26
IR	IR24x12x8x3	261.99	255.446	2.50
IR	IR24x12x20x1	72.22	70.651	2.17
IR	IR8x12x20x1	71.55	69.985	2.19

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles IR reforzado con placas en las aletas sin pendiente es:

$$\begin{aligned}
 A_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.07\%} \\
 Xcg_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.00\%} & Ycg_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.00\%} \\
 Ix_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.05\%} & Iy_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.00\%} \\
 Sx_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.05\%} & Sy_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.00\%} \\
 Zx_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.06\%} & Zy_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.02\%} \\
 rx_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.01\%} & ry_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{0.04\%} \\
 J_{\% \text{ Variación}} &= \mathbf{2.03\%}
 \end{aligned}$$

5.1.24. Perfiles en ISR con pendiente con placas en las aletas (armados)

En este tipo de perfiles, no existe un catálogo, por lo que la comparación de fórmulas se hará con la aplicación ETABS en el apartado de section designer.

Puesto que, no existe catálogo de perfiles de este tipo se usará una nomenclatura local, por ejemplo, para nombrar el perfil ISR24x12x16x1x16% primero indica el tipo de perfil (**ISR**), el siguiente número es la altura del perfil (**24**), el siguiente número es la longitud de la aleta del perfil (**12**), el siguiente número es la longitud de la placa (**16**), el siguiente número es el espesor de la placa (**1**) y por último la pendiente del perfil (**16%**).

Tabla 346

Dimensiones ISR24x12x16x1x16%

Perfil	ISR24x12x16x1x16%
d (in)	24
bf (in)	12
tw (in)	0.5
tf (in)	1
r (in)	1.275
L (in)	16
t (in)	1
P (%)	16.67

5.1.24.1. Área.

$$A = A_{aleta} * 4 + d * tw$$

$$A_{IR} = A + L * t * 2 = 67 \text{ in}^2$$

5.1.24.2. Centroide geométrico.

$$X_{IRcg} = \frac{L}{2} = 8 \text{ in} \quad Y_{IRcg} = \frac{d}{2} + t = 13 \text{ in}$$

5.1.24.3. Inercias.

$$I_{x_{IR}} = I_x + 2 * \left(\frac{L * t^3}{12} + L * t * \left(\frac{d}{2} + \frac{t}{2} \right)^2 \right) = 8620.59 \text{ in}^3$$

$$I_{y_{IR}} = I_y + 2 * \left(\frac{L^3 * t}{12} \right) = 904.884 \text{ in}^3$$

5.1.24.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{IRcg}} = 663.122 \text{ in}^3 \quad S_y = \frac{I_y}{X_{IRcg}} = 118.887 \text{ in}^3$$

5.1.24.5. Módulos plásticos.

$$Z_x = \left(A_{aleta} * \left(\frac{d}{2} - Y_{aleta} \right) * 2 + \frac{d^2}{8} * tw + L * t * \left(\frac{d}{2} + \frac{t}{2} \right) \right) * 2 = 736.421 \text{ in}^3$$

$$Z_y = \left(\frac{tw^2 * d}{8} + \left(A_{aleta} * \left(X_{aleta} + \frac{tw}{2} \right) \right) * 2 + \frac{L^2}{8} * t \right) * 2 = 198.207 \text{ in}^3$$

5.1.24.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_{x_{IR}}}{A_{IR}}} = 11.343 \text{ in} \quad r_y = \sqrt{\frac{I_{y_{IR}}}{A_{IR}}} = 3.768 \text{ in}$$

5.1.24.7. Constante torsional de Saint Venant.

Como la placa es más larga que bf la fórmula para el cálculo de J es la siguiente.

$$J = 2 * (bf - 0.63 * t_{Total}) \frac{t_{Total}^3}{3} + (d - 2 * t_{total}) * \frac{tw^3}{3} + 2 * \frac{tw}{t_{Total}}$$

$$* \left(0.145 + 0.1 * \frac{r}{t_{Total}} \right) * \left(\frac{\left(r + \frac{tw}{2} \right)^2 + (r + t_{Total})^2 - r^2}{2 * r + t_{Total}} \right)^4 + \frac{2}{3}$$

$$* (L - bf) * t^3)) = 65.809 \text{ in}^3$$

5.1.24.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

En este caso al C_w no se le suma un factor más ya que el aumento esta dado por la inercia total y el Brazo

$$C_w = (d + t)^2 * \frac{I_{yIR}}{4} = 48920.658 \text{ in}^6$$

A causa de que Section designer no de un valor de C_w , no es posible comparar; sin embargo, ya se mostró el cálculo se hará con las consideraciones de Inercia total y con un brazo que cubra la respectiva sección.

Tabla 347

Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS

Propiedades	Valores ETABS	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	67	67	0.00
Xcg (in)	8	8	0.00
Ycg (in)	13	13	0.00
Ix (in ⁴)	8602.97	8620.591	0.20
Sx (in ³)	661.77	663.122	0.20
Zx (in ³)	735.62	736.421	0.11
rx (in)	11.3315	11.343	0.10
Iy (in ⁴)	951.093	904.884	4.8
Sy (in ³)	113.11	118.887	5.11
Zy (in ³)	190.81	198.207	3.88
ry (in)	3.675	3.768	2.53
J (in ⁴)	70.66	65.809	6.87

Para tener un margen de cuánta diferencia hay entre las fórmulas y ETABS, se hará con 4 muestras, para obtener el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 348*Muestras para porcentaje de variación en área*

Tipo	Nombre perfil	A ETABS (in ²)	A Fórmulas (in ²)	%Variación
ISR	IR24x12x12x2x16%	83	83	0.00
ISR	ISR24x12x8x3x5%	83	83	0.00
ISR	ISR24x12x20x1x10%	75	75	0.00
ISR	ISR8x12x20x1x16%	67	67	0.00

Tabla 349*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X*

Tipo	Nombre perfil	Xcg ETABS (in)	Xcg Fórmulas (in)	%Variación
ISR	IR24x12x12x2x16%	6	6	0.00
ISR	ISR24x12x8x3x5%	6	6	0.00
ISR	ISR24x12x20x1x10%	10	10	0.00
ISR	ISR8x12x20x1x16%	10	10	0.00

Tabla 350*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Ycg ETABS (in)	Ycg Fórmulas (in)	%Variación
ISR	IR24x12x12x2x16%	14	14	0.00
ISR	ISR24x12x8x3x5%	15	15	0.00
ISR	ISR24x12x20x1x10%	13	13	0.00
ISR	ISR8x12x20x1x16%	5	5	0.00

Tabla 351*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	I _x ETABS (in ⁴)	I _x Fórmulas (in ⁴)	%Variación
ISR	IR24x12x12x2x16%	11728.3	11745.924	0.15
ISR	ISR24x12x8x3x5%	12401.92	12401.924	0.00
ISR	ISR24x12x20x1x10%	9866.03	9866.029	0.00
ISR	ISR8x12x20x1x16%	1113.05	1113.053	0.00

Tabla 352*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z _x ETABS (in ³)	Z _x Fórmulas (in ³)	%Variación
ISR	IR24x12x12x2x16%	959.62	960.421	0.08
ISR	ISR24x12x8x3x5%	984.42	984.421	0.00
ISR	ISR24x12x20x1x10%	836.18	836.183	0.00
ISR	ISR8x12x20x1x16%	267.62	267.62	0.00

Tabla 353*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x ETABS (in ³)	S _x Fórmulas (in ³)	%Variación
ISR	IR24x12x12x2x16%	837.74	838.995	0.15
ISR	ISR24x12x8x3x5%	826.79	826.795	0.00
ISR	ISR24x12x20x1x10%	758.93	758.925	0.00
ISR	ISR8x12x20x1x16%	222.61	222.611	0.00

Tabla 354*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x ETABS (in)	r _x Fórmulas (in)	%Variación
ISR	IR24x12x12x2x16%	11.8872	11.896	0.07
ISR	ISR24x12x8x3x5%	12.2238	12.224	0.00
ISR	ISR24x12x20x1x10%	11.4694	11.469	0.00
ISR	ISR8x12x20x1x16%	4.0759	4.076	0.00

Tabla 355*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I _y ETABS (in ⁴)	I _y Fórmulas (in ⁴)	%Variación
ISR	IR24x12x12x2x16%	798.22	844.426	5.79
ISR	ISR24x12x8x3x5%	524.43	524.426	0.00
ISR	ISR24x12x20x1x10%	1581.96	1581.956	0.00
ISR	ISR8x12x20x1x16%	1555.39	1555.386	0.00

Tabla 356*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z _y ETABS (in ³)	Z _y Fórmulas (in ³)	%Variación
ISR	IR24x12x12x2x16%	206.81	214.207	3.58
ISR	ISR24x12x8x3x5%	166.21	166.207	0.00
ISR	ISR24x12x20x1x10%	267.04	267.038	0.00
ISR	ISR8x12x20x1x16%	261.81	261.813	0.00

Tabla 357*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S _y ETABS (in ³)	S _y Fórmulas (in ³)	%Variación
ISR	IR24x12x12x2x16%	133.04	140.738	5.79
ISR	ISR24x12x8x3x5%	87.4	87.404	0.00
ISR	ISR24x12x20x1x10%	158.2	158.196	0.00
ISR	ISR8x12x20x1x16%	155.54	155.539	0.00

Tabla 358

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y

Tipo	Nombre perfil	r _y ETABS (in)	r _y Fórmulas (in)	%Variación
ISR	IR24x12x12x2x16%	3.1011	3.19	2.87
ISR	ISR24x12x8x3x5%	2.5136	2.514	0.02
ISR	ISR24x12x20x1x10%	4.5927	4.593	0.01
ISR	ISR8x12x20x1x16%	4.8182	4.818	0.00

Tabla 359

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J ETABS (in ⁴)	J Fórmulas (in ⁴)	%Variación
ISR	IR24x12x12x2x16%	204.47	196.196	4.05
ISR	ISR24x12x8x3x5%	257.49	248.335	3.56
ISR	ISR24x12x20x1x10%	70.82	69.195	2.29
ISR	ISR8x12x20x1x16%	72.95	68.527	6.06

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles IS con pendiente reforzado en las aletas con placas es:

$$A_{\% \text{ Variación}} = 0.00\%$$

$$Xcg_{\% \text{ Variación}} = 0.00\% \quad Ycg_{\% \text{ Variación}} = 0.00\%$$

$$Ix_{\% \text{ Variación}} = 0.04\% \quad Iy_{\% \text{ Variación}} = 1.45\%$$

$$Sx_{\% \text{ Variación}} = 0.04\% \quad Sy_{\% \text{ Variación}} = 1.45\%$$

$$Zx_{\% \text{ Variación}} = 0.02\% \quad Zy_{\% \text{ Variación}} = 0.09\%$$

$$rx_{\% \text{ Variación}} = 0.12\% \quad ry_{\% \text{ Variación}} = 0.72\%$$

$$J_{\% \text{ Variación}} = 3.6\%$$

5.1.25. Perfiles en I armado con placas (armados)

En este tipo de perfiles, no existe un catálogo, por lo que la comparación de fórmulas se hará con el software ETABS. Puesto que, no existe catálogo de perfiles de este tipo se usará una nomenclatura local, por ejemplo, para nombrar el perfil IA15x0.5x10x2x5x1 primero indica el tipo de perfil (**IA**), el siguiente número es la altura de la placa central (**15**), el siguiente número es el espesor de la placa central (**0.5**), el siguiente número es la longitud de la placa superior (**10**),

el siguiente número es el espesor de la placa superior (2) el siguiente número es la longitud de la placa inferior (5), el siguiente número es el espesor de la placa inferior (1).

Tabla 360

Dimensiones IA15x0.5x10x2x5x1

Perfil	IA15x0.5x10x2x5x1
H (in)	15
L1 (in)	10
L2 (in)	5
tw (in)	0.5
t1 (in)	2
t2 (in)	1

5.1.25.1. Área.

$$A = H * tw + L2 * t2 + L1 * t1 = 32.5 \text{ in}^2$$

5.1.25.2. Centro geométrico.

$$X_{cg} = \frac{L1}{2} = 5 \text{ in}$$

$$Y_{cg} = \frac{L2 * t2^2 / 2 + H * tw * (t2 + H/2) + L1 * t1 * (t2 + H + t1/2)}{A} = 12.5 \text{ in}$$

5.1.25.3. Inercias.

$$I_x = L1 * \frac{t1^3}{12} + L1 * t1 * \left(H + \frac{t1}{2} + t2 - Y_{cg} \right)^2 + L2 * \frac{t2^3}{12} + L2 * t2 * \left(Y_{cg} - \frac{t2}{2} \right)^2 + tw * \frac{H^3}{12} + H * tw * \left(Y_{cg} - t2 - \frac{H}{2} \right)^2 = 1392.708 \text{ in}^4$$

$$I_y = L1^3 * \frac{t1}{12} + L2^3 * \frac{t2}{12} + tw^3 * \frac{H}{12} = 177.24 \text{ in}^4$$

5.1.25.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{cg}} = 111.417 \text{ in}^3$$

$$S_y = \frac{I_y}{X_{cg}} = 35.448 \text{ in}^3$$

5.1.25.5. Módulos plásticos.

El módulo plástico en dirección X dependerá de la ubicación del centro plástico (X_p), el cual se calcula mediante un ciclo.

Para el módulo plástico en Y, no habría ese inconveniente.

$$Z_y = \left(\frac{L1^2}{8} * t1 + \frac{L2^2}{8} * t2 + H * \frac{tw^2}{8} \right) * 2 = 57.188 \text{ in}^3$$

$$Z_x = 152.344 \text{ in}^3$$

5.1.25.6. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 6.546 \text{ in} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 2.335 \text{ in}$$

5.1.25.7. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = \frac{1}{3} (L1 * t1^3 + L2 * t2^3 + tw^3 * H) = 28.958 \text{ in}^3$$

5.1.25.8. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = \left(H + \frac{t1 + t2}{2} \right)^2 * \frac{L1^3 * \frac{t1}{12} * L2^3 * \frac{t2}{12}}{I_y} = 2666.765 \text{ in}^6$$

A causa de que Section designer no de un valor de C_w , no es posible comparar; sin embargo, para los perfiles en I se mostró que la ecuación es funcional.

Tabla 361

Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS

Propiedades	Valores ETABS	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	32.5	32.5	0.00
Xcg (in)	5	5	0.00
Ycg (in)	12.5	12.5	0.00
Ix (in ⁴)	1392.71	1392.708	0.00
Sx (in ³)	111.42	111.417	0.00
Zx (in ³)	152.34	152.344	0.00
rx (in)	6.5462	6.546	0.00
Iy (in ⁴)	177.24	177.24	0.00
Sy (in ³)	35.45	35.448	0.01
Zy (in ³)	57.19	57.188	0.00
ry (in)	2.3353	2.335	0.01
J (in ⁴)	29.02	28.958	0.21
Cw (in ⁶)	2669.12	2666.765	0.09

Para tener un margen de cuánta diferencia hay entre las fórmulas y el catálogo, se hará con todos los demás perfiles; sin embargo, se mostrará una muestra por la gran cantidad de perfiles y el promedio de error de cada propiedad.

Tabla 362

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A ETABS (in ²)	A Fórmulas (in ²)	%Variación
IA	IA14x0.5x15x2x10x2	57	57	0.00
IA	IA5x0.5x15x2x15x2	62.5	62.5	0.00
IA	IA37x2x12x2x15x1	113	113	0.00
IA	IA6x2x10x2x10x2	52	52	0.00

Tabla 363

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	Xcg ETABS (in)	Xcg Fórmulas (in)	%Variación
IA	IA14x0.5x15x2x10x2	7.5	7.5	0.00
IA	IA5x0.5x15x2x15x2	7.5	7.5	0.00
IA	IA37x2x12x2x15x1	7.5	7.5	0.00
IA	IA6x2x10x2x10x2	5	5	0.00

Tabla 364*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Ycg ETABS (in)	Ycg Fórmulas (in)	%Variación
IA	IA14x0.5x15x2x10x2	10.40	10.404	0.00
IA	IA5x0.5x15x2x15x2	4.50	4.5	0.00
IA	IA37x2x12x2x15x1	21.12	21.119	0.00
IA	IA6x2x10x2x10x2	5.00	5	0.00

Tabla 365*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	Ix ETABS (in ⁴)	Ix Fórmulas (in ⁴)	%Variación
IA	IA14x0.5x15x2x10x2	3218.72	3218.719	0.00
IA	IA5x0.5x15x2x15x2	760.21	760.208	0.00
IA	IA37x2x12x2x15x1	22696.05	22696.054	0.00
IA	IA6x2x10x2x10x2	689.33	689.333	0.00

Tabla 366*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Zx ETABS (in ³)	Zx Fórmulas (in ³)	%Variación
IA	IA14x0.5x15x2x10x2	378.85	378.85	0.00
IA	IA5x0.5x15x2x15x2	213.13	213.125	0.00
IA	IA37x2x12x2x15x1	1427.38	1427.375	0.00
IA	IA6x2x10x2x10x2	178	178	0.00

Tabla 367*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Sx ETABS (in ³)	Sx Fórmulas (in ³)	%Variación
IA	IA14x0.5x15x2x10x2	309.39	309.388	0.00
IA	IA5x0.5x15x2x15x2	168.94	168.935	0.00
IA	IA37x2x12x2x15x1	1074.65	1074.651	0.00
IA	IA6x2x10x2x10x2	137.87	137.867	0.00

Tabla 368*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	rx ETABS (in)	rx Fórmulas (in)	%Variación
IA	IA14x0.5x15x2x10x2	7.5146	7.515	0.01
IA	IA5x0.5x15x2x15x2	3.4876	3.488	0.01
IA	IA37x2x12x2x15x1	14.1722	14.172	0.00
IA	IA6x2x10x2x10x2	3.6409	3.641	0.00

Tabla 369*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I _y ETABS (in ⁴)	I _y Fórmulas (in ⁴)	%Variación
IA	IA14x0.5x15x2x10x2	729.31	729.312	0.00
IA	IA5x0.5x15x2x15x2	1125.05	1125.052	0.00
IA	IA37x2x12x2x15x1	593.92	593.917	0.00
IA	IA6x2x10x2x10x2	337.33	337.333	0.00

Tabla 370*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z _y ETABS (in ³)	Z _y Fórmulas (in ³)	%Variación
IA	IA14x0.5x15x2x10x2	163.38	163.375	0.00
IA	IA5x0.5x15x2x15x2	225.31	225.312	0.00
IA	IA37x2x12x2x15x1	165.25	165.25	0.00
IA	IA6x2x10x2x10x2	106	106	0.00

Tabla 371*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S _y ETABS (in ³)	S _y Fórmulas (in ³)	%Variación
IA	IA14x0.5x15x2x10x2	97.24	97.242	0.00
IA	IA5x0.5x15x2x15x2	150.01	150.007	0.00
IA	IA37x2x12x2x15x1	79.19	79.189	0.00
IA	IA6x2x10x2x10x2	67.47	67.467	0.00

Tabla 372*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y*

Tipo	Nombre perfil	r _y ETABS (in)	r _y Fórmulas (in)	%Variación
IA	IA14x0.5x15x2x10x2	3.577	3.577	0.00
IA	IA5x0.5x15x2x15x2	4.2427	4.243	0.01
IA	IA37x2x12x2x15x1	2.2926	2.293	0.02
IA	IA6x2x10x2x10x2	2.547	2.547	0.00

Tabla 373*Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)*

Tipo	Nombre perfil	J ETABS (in ⁴)	J Fórmulas (in ⁴)	%Variación
IA	IA14x0.5x15x2x10x2	67.33	67.25	0.12
IA	IA5x0.5x15x2x15x2	80.29	80.208	0.10
IA	IA37x2x12x2x15x1	139.67	135.667	2.87
IA	IA6x2x10x2x10x2	74.67	69.333	7.15

Tabla 374

Muestras para porcentaje de variación de la constante de alabeo (C_w)

Tipo	Nombre perfil	C_w Catálogo (in^6)	C_w Fórmulas (in^6)	%Variación
IA	IA14x0.5x15x2x10x2	32914.29	32907.704	0.02
IA	IA5x0.5x15x2x15x2	13781.25	13780.612	0.00
IA	IA37x2x12x2x15x1	210913.04	202153.36	4.15
IA	IA6x2x10x2x10x2	5333.33	5270.092	1.19

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles Tubulares estructurales es:

$$A_{\% \text{Variación}} = 0.00\%$$

$$Xcg_{\% \text{Variación}} = 0.00\% \quad Ycg_{\% \text{Variación}} = 0.00\%$$

$$Ix_{\% \text{Variación}} = 0.00\% \quad Iy_{\% \text{Variación}} = 0.00\%$$

$$Sx_{\% \text{Variación}} = 0.00\% \quad Sy_{\% \text{Variación}} = 0.00\%$$

$$Zx_{\% \text{Variación}} = 0.00\% \quad Zy_{\% \text{Variación}} = 0.00\%$$

$$rx_{\% \text{Variación}} = 0.01\% \quad ry_{\% \text{Variación}} = 0.01\%$$

$$J_{\% \text{Variación}} = 2.56\% \quad Cw_{\% \text{Variación}} = 1.34\%$$

5.1.26. Perfiles Tubular armado con placas (armados)

En este tipo de perfiles, no existe un catálogo, por lo que la comparación de fórmulas se hará con la aplicación ETABS. Puesto que, no existe catálogo de perfiles de este tipo se usará una nomenclatura local, por ejemplo, para nombrar el perfil TUBREC12x0.5x12x0.5 primero indica el tipo de perfil (**TUBREC**), el siguiente número es la altura de las placas laterales (**12**), el siguiente número es el espesor de las placas laterales (**0.5**), el siguiente número es la longitud de la placas superior e inferior (**12**), el siguiente número es el espesor de las placas superior e inferior (**0.5**).

Tabla 375

Dimensiones TUBREC 12x0.5x12x0.5

Perfil	TUBREC 12x0.5x12x0.5
L1 (in)	11
L2 (in)	12
t1 (in)	0.5
t2 (in)	0.5

5.1.26.1. Área.

$$A = (L1 * t1 + L2 * t2) * 2 = 24 \text{ in}^2$$

5.1.26.2. Centroide geométrico.

$$X_{cg} = \frac{L2}{2} = 6 \text{ in}$$

$$Y_{cg} = \frac{L1 + t2 * 2}{2} = 6 \text{ in}$$

5.1.26.3. Inercias.

$$I_x = \left(L2 * \frac{t2^3}{12} + L2 * t2 * \left(Y_{cg} - \frac{t2}{2} \right)^2 + t1 * \frac{L1^3}{12} \right) * 2 = 507.917 \text{ in}^4$$

$$I_y = \left(t2 * \frac{L2^3}{12} + L1 * \frac{t1^3}{12} + L1 * t1 * \left(X_{cg} - \frac{t1}{2} \right)^2 \right) * 2 = 507.917 \text{ in}^4$$

5.1.26.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x}{Y_{cg}} = 84.653 \text{ in}^3$$

$$S_y = \frac{I_y}{X_{cg}} = 84.653 \text{ in}^3$$

5.1.26.5. Módulos plásticos.

$$Z_x = \left(L2 * t2 * \left(Y_{cg} - \frac{t2}{2} \right) + \frac{L1^2}{8} * t1 * 2 \right) * 2 = 99.25 \text{ in}^3$$

$$Z_y = \left(\frac{L2^2}{8} * t2 * 2 + L1 * t1 * \left(X_{cg} - \frac{t1}{2} \right) \right) * 2 = 99.25 \text{ in}^3$$

5.1.26.6. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = 4 * A p^2 * \frac{t_{prom}}{p} = 776.634 \text{ in}^4$$

5.1.26.7. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = (L1 + t2)^2 * (L2 * t1) * \frac{t_{prom}}{24} * \frac{((L1 + t2) - (L2 - t1))^2}{L1 + t2 + L2 - t1} + \frac{2 * ((L2 - t1)^3 + (L1 + t2)^3) * t_{prom}^3}{144} = 5.281 \text{ in}^6$$

A causa de que Section designer no de un valor de C_w , no es posible comparar; sin embargo, ya se mostró el cálculo se hará con las consideraciones de inercia total y con un brazo que cubra la respectiva sección.

Tabla 376

Comparaciones de propiedades con fórmulas y ETABS

Propiedades	Valores ETABS	Valores Fórmulas	% Variación
Área (in ²)	23	23	0.00
Xcg (in)	6	6	0.00
Ycg (in)	6	6	0.00
Ix (in ⁴)	507.92	507.917	0.00
Sx (in ³)	84.65	84.653	0.00
Zx (in ³)	99.25	99.25	0.00
rx (in)	4.6993	4.699	0.01
Iy (in ⁴)	507.92	507.917	0.00
Sy (in ³)	84.65	84.653	0.00
Zy (in ³)	99.25	99.25	0.00
ry (in)	4.6993	4.699	0.01
J (in ⁴)	760.44	776.634	2.13

Para tener un margen de cuánta diferencia hay entre las fórmulas y el catálogo, se hará con todos los demás perfiles; sin embargo, se mostrará una muestra por la gran cantidad de perfiles y el promedio de error de cada propiedad.

Tabla 377

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A ETABS (in ²)	A Fórmulas (in ²)	%Variación
TUBREC	TUBREC 12x2x10x1	60	60	0.00
TUBREC	TUBREC 12x1.5x24x1	78	78	0.00
TUBREC	TUBREC 2x0.2x3x0.1	1.32	1.32	0.00
TUBREC	TUBREC 5x0.2x3x0.1	2.52	2.52	0.00

Tabla 378*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X*

Tipo	Nombre perfil	Xcg ETABS (in)	Xcg Fórmulas (in)	%Variación
TUBREC	TUBREC 12x2x10x1	5	5	0.00
TUBREC	TUBREC 12x1.5x24x1	12	12	0.00
TUBREC	TUBREC 2x0.2x3x0.1	1.5	1.5	0.00
TUBREC	TUBREC 5x0.2x3x0.1	1.5	1.5	0.00

Tabla 379*Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Ycg ETABS (in)	Ycg Fórmulas (in)	%Variación
TUBREC	TUBREC 12x2x10x1	6	6	0.00
TUBREC	TUBREC 12x1.5x24x1	6	6	0.00
TUBREC	TUBREC 2x0.2x3x0.1	1	1	0.00
TUBREC	TUBREC 5x0.2x3x0.1	2.5	2.5	0.00

Tabla 380*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	I _x ETABS (in ⁴)	I _x Fórmulas (in ⁴)	%Variación
TUBREC	TUBREC 12x2x10x1	940	940	0.00
TUBREC	TUBREC 12x1.5x24x1	1706	1706	0.00
TUBREC	TUBREC 2x0.2x3x0.1	0.74	0.736	0.54
TUBREC	TUBREC 5x0.2x3x0.1	7.29	7.288	0.03

Tabla 381*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en X*

Tipo	Nombre perfil	Z _x ETABS (in ³)	Z _x Fórmulas (in ³)	%Variación
TUBREC	TUBREC 12x2x10x1	210	210	0.00
TUBREC	TUBREC 12x1.5x24x1	339	339	0.00
TUBREC	TUBREC 2x0.2x3x0.1	0.89	0.894	0.45
TUBREC	TUBREC 5x0.2x3x0.1	3.77	3.774	0.11

Tabla 382*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x ETABS (in ³)	S _x Fórmulas (in ³)	%Variación
TUBREC	TUBREC 12x2x10x1	156.67	156.667	0.00
TUBREC	TUBREC 12x1.5x24x1	284.33	284.333	0.00
TUBREC	TUBREC 2x0.2x3x0.1	0.74	0.736	0.54
TUBREC	TUBREC 5x0.2x3x0.1	2.92	2.915	0.17

Tabla 383*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r_x ETABS (in)	r_x Fórmulas (in)	%Variación
TUBREC	TUBREC 12x2x10x1	3.9581	3.958	0.00
TUBREC	TUBREC 12x1.5x24x1	4.6767	4.677	0.01
TUBREC	TUBREC 2x0.2x3x0.1	0.7469	0.747	0.01
TUBREC	TUBREC 5x0.2x3x0.1	1.7007	1.701	0.02

Tabla 384*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I_y ETABS (in ⁴)	I_y Fórmulas (in ⁴)	%Variación
TUBREC	TUBREC 12x2x10x1	820	820	0.00
TUBREC	TUBREC 12x1.5x24x1	6106.5	6106.5	0.00
TUBREC	TUBREC 2x0.2x3x0.1	1.86	1.864	0.22
TUBREC	TUBREC 5x0.2x3x0.1	4.22	4.22	0.00

Tabla 385*Muestras para porcentaje de variación del módulo plástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	Z_y ETABS (in ³)	Z_y Fórmulas (in ³)	%Variación
TUBREC	TUBREC 12x2x10x1	210	210	0.00
TUBREC	TUBREC 12x1.5x24x1	625.5	625.5	0.00
TUBREC	TUBREC 2x0.2x3x0.1	1.46	1.458	0.14
TUBREC	TUBREC 5x0.2x3x0.1	3.14	3.138	0.06

Tabla 386*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S_y ETABS (in ³)	S_y Fórmulas (in ³)	%Variación
TUBREC	TUBREC 12x2x10x1	164	164	0.00
TUBREC	TUBREC 12x1.5x24x1	508.88	508.875	0.00
TUBREC	TUBREC 2x0.2x3x0.1	1.24	1.242	0.16
TUBREC	TUBREC 5x0.2x3x0.1	2.81	2.813	0.11

Tabla 387*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y*

Tipo	Nombre perfil	r_y ETABS (in)	r_y Fórmulas (in)	%Variación
TUBREC	TUBREC 12x2x10x1	3.6968	3.697	0.01
TUBREC	TUBREC 12x1.5x24x1	8.8481	8.848	0.00
TUBREC	TUBREC 2x0.2x3x0.1	1.1882	1.188	0.02
TUBREC	TUBREC 5x0.2x3x0.1	1.294	1.294	0.00

Tabla 388

Muestras para porcentaje de variación de constante torsional de Saint Venant (J)

Tipo	Nombre perfil	J ETABS (in ⁴)	J Fórmulas (in ⁴)	% Variación
TUBREC	TUBREC 12x2x10x1	1147.26	1229.987	7.21
TUBREC	TUBREC 12x1.5x24x1	4271.92	4685.686	9.69
TUBREC	TUBREC 2x0.2x3x0.1	1.57	1.853	18.03
TUBREC	TUBREC 5x0.2x3x0.1	7.37	7.475	1.42

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles tubulares rectangulares armados con placas:

$$A_{\% \text{ Variación}} = 0.29\%$$

$$Xcg_{\% \text{ Variación}} = 0.00\% \quad Ycg_{\% \text{ Variación}} = 0.00\%$$

$$Ix_{\% \text{ Variación}} = 0.14\% \quad Iy_{\% \text{ Variación}} = 0.05\%$$

$$Sx_{\% \text{ Variación}} = 0.18\% \quad Sy_{\% \text{ Variación}} = 0.07\%$$

$$Zx_{\% \text{ Variación}} = 0.14\% \quad Zy_{\% \text{ Variación}} = 0.05\%$$

$$rx_{\% \text{ Variación}} = 0.01\% \quad ry_{\% \text{ Variación}} = 0.01\%$$

$$J_{\% \text{ Variación}} = 9.09\%$$

5.1.27. Perfiles 2G enfrentados (armados)

Tabla 389

Dimensiones PHR C 100 x50 -2.0

Perfil	PHR C 100 x50 -2.0
b (mm)	50
d (mm)	100
c (mm)	15
r (mm)	5
t (mm)	2

5.1.27.1. Área.

$$A_{2G} = 2 * A = 846.8 \text{ mm}^2$$

5.1.27.2. Centroide geométrico.

$$X2G_{cg} = b = 50 \text{ mm}$$

$$Y2G_{cg} = Y_{cg} = 50 \text{ mm}$$

5.1.27.3. Inercias.

$$I_x2G = I_x * 2 = 1332894.98 \text{ mm}^4$$

$$I_y2G = (I_y + A * (b - X_{cg})^2) * 2 = 1204072.42 \text{ mm}^4$$

5.1.27.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x2G}{Y2G_{cg}} = 26657.90 \text{ mm}^3$$

$$S_y = \frac{I_y2G}{X2G_{cg}} = 24116.84 \text{ mm}^4$$

5.1.27.5. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x2G}{A2G}} = 39.67 \text{ mm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y2G}{A2G}} = 37.74 \text{ mm}$$

5.1.27.6. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = \frac{t^3}{3} * (a' + 2 * (b' + u) + 2 * \alpha * (c' + u)) * 2 = 0.133 \text{ cm}^4$$

5.1.27.7. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = \frac{ar^2 * br^2 * t}{12} * \left(\frac{2 * ar^3 * br + 3 * ar^2 * br^2 + \alpha * \xi}{6 * ar^2 * br + (ar + 2 * cr * \alpha)^3 - 24 * ar * cr^2 * \alpha} \right) * 2$$

$$= 683.28 \text{ cm}^6$$

A causa de que el catálogo no de un valor de C_w ni J , no es posible comparar; sin embargo, ya se mostró el cálculo de un solo perfil, por lo que el resultado será la sumatoria de los perfiles que se unan.

Tabla 390

Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo

Propiedades	Valores Catálogo	Valores Fórmulas	% Variación
Área (mm ²)	846.80	846.80	0.000
Xcg (mm)	50.00	50.00	0.00
Ycg (mm)	50.00	50.00	0.00
Ix (mm ⁴)	1332895.00	1332894.98	0.00
Sx (mm ³)	26658.00	26657.90	0.00
rx (mm)	39.67	39.67	0.01
Iy (mm ⁴)	1204072.00	1205842.42	0.15
Sy (mm ³)	24081.00	24116.84	0.15
ry (mm)	37.71	37.74	0.07

Para tener un margen de cuánta diferencia hay entre las fórmulas y el catálogo, se hará con todos los demás perfiles; sin embargo, se mostrará una muestra por la gran cantidad de perfiles y el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 391

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A Catálogo (mm ²)	A Fórmulas (mm ²)	%Variación
Cajón	PHR C 120 x 60 - 2.5	1246.30	1246.35	0.00
Cajón	PHR C 203 x 67 - 3.0	2111.00	2111.04	0.00
Cajón	PHR C 254 x 67 - 3.0	2405.00	2405.04	0.00
Cajón	PHR C 355 x 110 - 2.5	3021.30	3021.35	0.00

Tabla 392

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	Xcg Catálogo (mm)	Xcg Fórmulas (mm)	%Variación
Cajón	PHR C 120 x 60 - 2.5	60.00	60.00	0.00
Cajón	PHR C 203 x 67 - 3.0	67.00	67.00	0.00
Cajón	PHR C 254 x 67 - 3.0	67.00	67.00	0.00
Cajón	PHR C 355 x 110 - 2.5	110.00	110.00	0.00

Tabla 393

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y

Tipo	Nombre perfil	Ycg Catálogo (mm)	Ycg Fórmulas (mm)	%Variación
Cajón	PHR C 120 x 60 - 2.5	60.00	60.00	0.00
Cajón	PHR C 203 x 67 - 3.0	101.50	101.50	0.00
Cajón	PHR C 254 x 67 - 3.0	127.00	127.00	0.00
Cajón	PHR C 355 x 110 - 2.5	177.50	177.50	0.00

Tabla 394*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X*

Tipo	Nombre perfil	I _x Catálogo (mm ⁴)	I _x Fórmulas (mm ⁴)	%Variación
Cajón	PHR C 120 x 60 - 2.5	2842677.00	2842676.87	0.00
Cajón	PHR C 203 x 67 - 3.0	12754272.00	12754273.64	0.00
Cajón	PHR C 254 x 67 - 3.0	21661908.00	21661907.52	0.00
Cajón	PHR C 355 x 110 - 2.5	56390424.00	56390417.31	0.00

Tabla 395*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x Catálogo (mm ³)	S _x Fórmulas (mm ³)	%Variación
Cajón	PHR C 120 x 60 - 2.5	47378.00	47377.95	0.00
Cajón	PHR C 203 x 67 - 3.0	125658.00	125657.87	0.00
Cajón	PHR C 254 x 67 - 3.0	170566.00	170566.20	0.00
Cajón	PHR C 355 x 110 - 2.5	317693.00	317692.49	0.00

Tabla 396*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x Catálogo (mm)	r _x Fórmulas (mm)	%Variación
Cajón	PHR C 120 x 60 - 2.5	47.76	47.76	0.00
Cajón	PHR C 203 x 67 - 3.0	77.73	77.73	0.00
Cajón	PHR C 254 x 67 - 3.0	94.90	94.90	0.00
Cajón	PHR C 355 x 110 - 2.5	136.62	136.62	0.00

Tabla 397*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I _y Catálogo (mm ⁴)	I _y Fórmulas (mm ⁴)	%Variación
Cajón	PHR C 120 x 60 - 2.5	2609168.00	2522036.95	3.34
Cajón	PHR C 203 x 67 - 3.0	6126791.00	6021160.51	1.72
Cajón	PHR C 254 x 67 - 3.0	7439803.00	7242773.94	2.65
Cajón	PHR C 355 x 110 - 2.5	24810804.00	24068314.96	2.99

Tabla 398*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S _y Catálogo (mm ³)	S _y Fórmulas (mm ³)	%Variación
Cajón	PHR C 120 x 60 - 2.5	43486.00	42033.95	3.34
Cajón	PHR C 203 x 67 - 3.0	91445.00	89868.07	1.72
Cajón	PHR C 254 x 67 - 3.0	111042.00	108101.10	2.65
Cajón	PHR C 355 x 110 - 2.5	225553.00	218802.86	2.99

Tabla 399

Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y

Tipo	Nombre perfil	r_y Catálogo (mm)	r_y Fórmulas (mm)	%Variación
Cajón	PHR C 120 x 60 - 2.5 mm	45.76	44.98	1.70
Cajón	PHR C 203 x 67 - 3.0 mm	53.87	53.41	0.86
Cajón	PHR C 254 x 67 - 3.0 mm	55.62	54.88	1.34
Cajón	PHR C 355 x 110 - 2.5 mm	90.62	89.25	1.51

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles en 2G enfrentados es:

$$A_{\% \text{Variación}} = 0.002\%$$

$$X_{cg\% \text{Variación}} = 0.000\% \quad Y_{cg\% \text{Variación}} = 0.000\%$$

$$I_{x\% \text{Variación}} = 0.00\% \quad I_{y\% \text{Variación}} = 1.674\%$$

$$S_{x\% \text{Variación}} = 0.00\% \quad S_{y\% \text{Variación}} = 1.674\%$$

$$r_{x\% \text{Variación}} = 0.004\% \quad r_{y\% \text{Variación}} = 0.84\%$$

5.1.28. Perfiles 2G espalda con espalda (armados)

Tabla 400

Dimensiones PHR C 254 x 67 - 2.5 mm

Perfil	PHR C 254 x 67 - 2.5 mm
b (mm)	67
d (mm)	254
c (mm)	18
r (mm)	5
t (mm)	2.5

5.1.28.1. Área.

$$A_{2G} = 2 * A = 2016.35 \text{ mm}^2$$

5.1.28.2. Centroides geométrico.

$$X_{2G_{cg}} = b = 67 \text{ mm}$$

$$Y_{2G_{cg}} = Y_{cg} = 127 \text{ mm}$$

5.1.28.3. Inercias.

$$I_{x2G} = I_x * 2 = 18280016 \text{ mm}^4$$

$$I_y 2G = (I_y + A * (X_{cg})^2) * 2 = 1555449.76 \text{ mm}^4$$

5.1.28.4. Módulos elásticos.

$$S_x = \frac{I_x 2G}{Y 2G_{cg}} = 143937 \text{ mm}^3$$

$$S_y = \frac{I_y 2G}{X 2G_{cg}} = 23215.67 \text{ mm}^3$$

5.1.28.5. Radios de giro.

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x 2G}{A 2G}} = 95.21 \text{ mm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y 2G}{A 2G}} = 27.77 \text{ mm}$$

5.1.28.6. Constante torsional de Saint Venant.

$$J = \frac{t^3}{3} * (\alpha' + 2 * (b' + u) + 2 * \alpha * (c' + u)) * 2 = 0.42 \text{ cm}^4$$

5.1.28.7. Módulo de alabeo o constante de alabeo.

$$C_w = \frac{ar^2 * br^2 * t}{12} * \left(\frac{2 * ar^3 * br + 3 * ar^2 * br^2 + \alpha * \xi}{6 * ar^2 * br + (ar + 2 * cr * \alpha)^3 - 24 * ar * cr^2 * \alpha} \right) * 2$$

$$= 13698.7 \text{ cm}^6$$

A causa de que el catálogo no de un valor de Cw ni J, no es posible comparar; sin embargo, ya se mostró el cálculo de un solo perfil, por lo que el resultado será la sumatoria de los perfiles que se unan.

Tabla 401

Comparaciones de propiedades con fórmulas y catálogo

Propiedades	Valores Catálogo	Valores Fórmulas	% Variación
Área (mm ²)	2016.3	2016.35	0.00
Xcg (mm)	67	67.00	0.00
Ycg (mm)	127	127.00	0.00
Ix (mm ⁴)	18569595.2	18280016	1.58
Sx (mm ³)	145643.9	143937	1.19
rx (mm)	95.22	95.21	0.01
Iy (mm ⁴)	1555450	1555449.8	0.00
Sy (mm ³)	23216	23215.67	0.00
ry (mm)	27.77	27.77	0.02

Para tener un margen de cuánta diferencia hay entre las fórmulas y el catálogo, se hará con todos los demás perfiles; sin embargo, se mostrará una muestra por la gran cantidad de perfiles y el promedio de variación de cada propiedad.

Tabla 402

Muestras para porcentaje de variación en área

Tipo	Nombre perfil	A Catálogo (mm ²)	A Fórmulas (mm ²)	%Variación
C BB	PHR C 100 x 50 - 1.5	642.38	642.39	0.00
C BB	PHR C 160 x 60 - 2.0	1206.8	1206.80	0.00
C BB	PHR C 254 x 67 - 2.5	2016.3	2016.35	0.00
C BB	PHR C 355 x 110 - 2.5	3021.3	3021.35	0.00

Tabla 403

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en X

Tipo	Nombre perfil	Xcg Catálogo (mm)	Xcg Fórmulas (mm)	%Variación
C BB	PHR C 100 x 50 - 1.5	50	50.00	0.00
C BB	PHR C 160 x 60 - 2.0	60	60.00	0.00
C BB	PHR C 254 x 67 - 2.5	67	67.00	0.00
C BB	PHR C 355 x 110 - 2.5	110	110.00	0.00

Tabla 404

Muestras para porcentaje de variación en centro geométrico en Y

Tipo	Nombre perfil	Ycg Catálogo (mm)	Ycg Fórmulas (mm)	%Variación
C BB	PHR C 100 x 50 - 1.5	50	50.00	0.00
C BB	PHR C 160 x 60 - 2.0	80	80.00	0.00
C BB	PHR C 254 x 67 - 2.5	127	127.00	0.00
C BB	PHR C 355 x 110 - 2.5	177.5	177.50	0.00

Tabla 405

Muestras para porcentaje de variación de la inercia en X

Tipo	Nombre perfil	I _x Catálogo (mm ⁴)	I _x Fórmulas (mm ⁴)	%Variación
C BB	PHR C 100 x 50 - 1.5	1023644	1039860.4	1.58
C BB	PHR C 160 x 60 - 2.0	4686828	4761071.9	1.58
C BB	PHR C 254 x 67 - 2.5	18280016	18569595.2	1.58
C BB	PHR C 355 x 110 - 2.5	56390424	57283713.3	1.58

Tabla 406*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en X*

Tipo	Nombre perfil	S _x Catálogo (mm ³)	S _x Fórmulas (mm ³)	%Variación
C BB	PHR C 100 x 50 - 1.5	20,473	20715.7	1.19
C BB	PHR C 160 x 60 - 2.0	58,585	59280.0	1.19
C BB	PHR C 254 x 67 - 2.5	143,937	145643.9	1.19
C BB	PHR C 355 x 110 - 2.5	317,693	321459.6	1.19

Tabla 407*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en X*

Tipo	Nombre perfil	r _x Catálogo (mm)	r _x Fórmulas (mm)	%Variación
C BB	PHR C 100 x 50 - 1.5 mm	39.92	39.92	0.00
C BB	PHR C 160 x 60 - 2.0 mm	62.32	62.32	0.00
C BB	PHR C 254 x 67 - 2.5 mm	95.22	95.21	0.00
C BB	PHR C 355 x 110 - 2.5 mm	136.62	136.62	0.00

Tabla 408*Muestras para porcentaje de variación de la inercia en Y*

Tipo	Nombre perfil	I _y Catálogo (mm ⁴)	I _y Fórmulas (mm ⁴)	%Variación
C BB	PHR C 100 x 50 - 1.5	409406	409406.1	0.00
C BB	PHR C 160 x 60 - 2.0	1003947	1003947.3	0.00
C BB	PHR C 254 x 67 - 2.5	1555450	1555449.8	0.00
C BB	PHR C 355 x 110 - 2.5	6777680	6777678.2	0.00

Tabla 409*Muestras para porcentaje de variación del módulo elástico en Y*

Tipo	Nombre perfil	S _y Catálogo (mm ³)	S _y Fórmulas (mm ³)	%Variación
C BB	PHR C 100 x 50 - 1.5	8188	8188.12	0.00
C BB	PHR C 160 x 60 - 2.0	16732	16732.45	0.00
C BB	PHR C 254 x 67 - 2.5	23216	23215.67	0.00
C BB	PHR C 355 x 110 - 2.5	61615	61615.26	0.00

Tabla 410*Muestras para porcentaje de variación del radio de giro en Y*

Tipo	Nombre perfil	r _y Catálogo (mm)	r _y Fórmulas (mm)	%Variación
C BB	PHR C 100 x 50 - 1.5	25.25	25.25	0.02
C BB	PHR C 160 x 60 - 2.0	28.84	28.84	0.01
C BB	PHR C 254 x 67 - 2.5	27.77	27.77	0.02
C BB	PHR C 355 x 110 - 2.5	47.36	47.36	0.01

El porcentaje de variación promedio de todos los perfiles en 2G espalda con espalda es:

$$A_{\% \text{ variación}} = 0.002\%$$

$$X_{cg\% \text{ variación}} = 0.000\% \quad Y_{cg\% \text{ variación}} = 0.000\%$$

$$Ix_{\% \text{ variación}} = 1.584\% \quad Iy_{\% \text{ variación}} = 0.00\%$$

$$Sx_{\% \text{ variación}} = 1.186\% \quad Sy_{\% \text{ variación}} = 0.001\%$$

$$rx_{\% \text{ variación}} = 0.004\% \quad ry_{\% \text{ variación}} = 0.009\%$$

5.2. Comprobación Q (pandeo local)

Para el cálculo de Q es necesario conocer Qs y Qa que depende de si es un elemento no atiesado o atiesado respectivamente.

5.2.1. Comprobación Qs

Se comprueba cada caso para el cálculo de elementos no atiesados.

5.2.1.1. Caso 1.

Se utilizará las siguientes dimensiones de un perfil en I laminado en caliente.

$$d = 44 \text{ in} \quad tf = 1.77 \text{ in} \quad tw = 1.03 \text{ in} \quad bf = 60 \text{ in} \quad r = 0.66 \text{ in}$$

5.2.1.1.1. Comprobación manual.

Se comprueba en que caso está la esbeltez del elemento.

$$\gamma_{ala} = \frac{60/2}{1.77} = 16.95$$

$$\gamma_r = 0.56 * \sqrt{\frac{200000}{344.77}} = 13.488 \quad \gamma_{sup} = 1.03 * \sqrt{\frac{200000}{344.74}} = 24.81$$

Como $\gamma_r < \gamma_{ala} < \gamma_{sub}$, entonces se obtiene el valor de Qs para este perfil.

$$Qs = 1.415 - 0.74 * (16.95) * \sqrt{\frac{344.74}{200000}} = 0.894$$

5.2.1.1.2. Comprobación CYPE 3D.

Figura 78

Dimensiones y propiedades del perfil en I CYPE 3D

The screenshot shows a software window titled 'Perfil' with a close button (X) in the top right corner. On the left, there is a technical drawing of an I-beam profile with dimensions: total height 1117.6 mm, total width 1524 mm, flange width 1524 mm, web thickness 26.2 mm, flange thickness 44.958 mm, and a fillet radius of 16.764 mm. The drawing also shows a fillet radius of 26.2 mm at the bottom flange. The main area is divided into two panels: 'Dimensiones' and 'Propiedades'.

Dimensiones		Propiedades	
Referencia	CASO1	<input checked="" type="checkbox"/> Área	1641.59 cm ²
Canto total	1117.6 mm	<input checked="" type="checkbox"/> Inercia a flexión I _{yy}	4186805.53 cm ⁴
Anchura del ala	1524 mm	<input checked="" type="checkbox"/> Inercia a flexión I _{zz}	2652387.06 cm ⁴
Espesor del alma	26.2 mm	<input checked="" type="checkbox"/> Módulo plástico Z _{yy}	80523.83 cm ³
Espesor del ala	44.958 mm	<input checked="" type="checkbox"/> Módulo plástico Z _{zz}	52389.09 cm ³
<input type="checkbox"/> Inclinación de las alas		<input checked="" type="checkbox"/> Inercia a torsión	9887.48 cm ⁴
<input checked="" type="checkbox"/> Radio de acuerdo entre ala y alma	16.764 mm	<input checked="" type="checkbox"/> Módulo de alabeo	7629311525.7 cm ⁶
<input type="checkbox"/> Radio de acuerdo del ala			

At the bottom of the window, there are two buttons: 'Aceptar' (Accept) on the left and 'Cancelar' (Cancel) on the right.

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

Figura 79

Resultado Q_s CYPE 3D

3) para secciones formadas por elementos rigidizados y no rigidizados:

Q_s: se calcula de la siguiente forma:

a) para alas en pilares laminados u otras barras comprimidas que incluyan elementos no rigidizados

ii) Cuando: $0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b}{t} < 1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$Q_s = 1.415 - 0.74 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

Donde:

b: Ancho del elemento comprimido no rigidizado

t: Espesor del ala

E: Módulo de elasticidad del acero

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

Q_s : 0.89

Q_s : 0.89

b : 762.00 mm

t : 44.96 mm

E : 200000.00 MPa

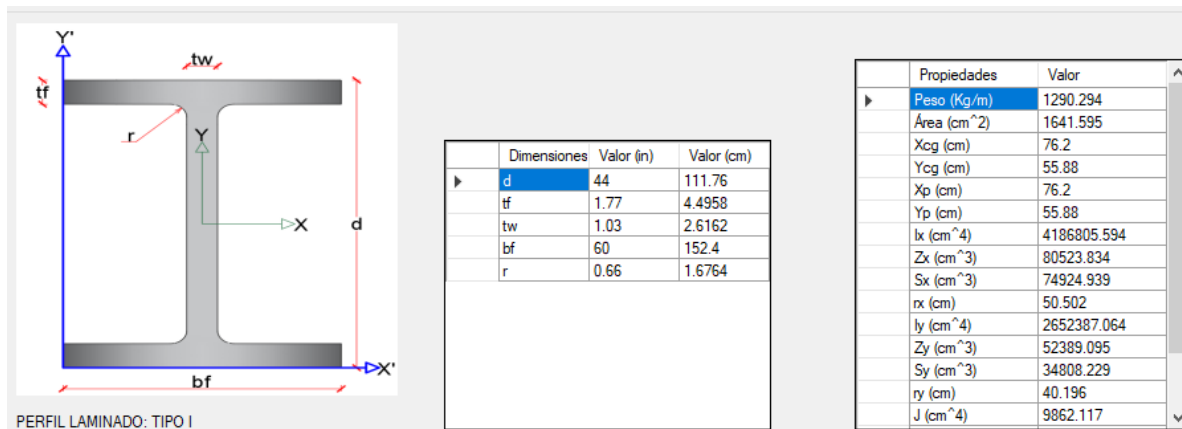
F_y : 344.74 MPa

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

5.2.1.1.3. Comprobación software Koutetsu.

Figura 80

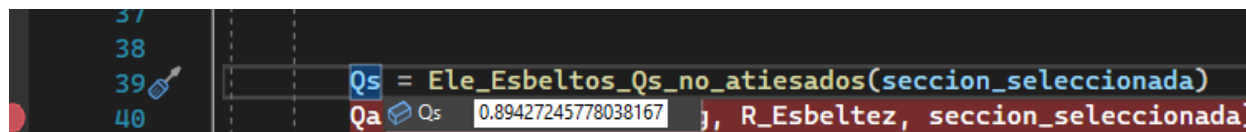
Dimensiones y Propiedades Perfil I laminado en caliente



Realizando el respectivo proceso

Figura 81

Resultado Qs Koutetsu



Se obtiene el mismo valor de las 3 formas presentadas, por lo tanto, el valor calculado sería el adecuado.

5.2.1.2. Caso 2.

Se utilizará las siguientes dimensiones de un perfil en I armado con placas.

$$H = 44 \text{ in } L1 = 30 \text{ in } L2 = 40 \text{ in } tw = 1.03 \text{ in } t1 = 1.77 \text{ in } t2 = 1 \text{ in}$$

5.2.1.2.1. Comprobación manual.

Se comprueba en que caso de esbeltez se encuentran las 2 placas (inferior y superior) y se trabaja con la más alta.

$$\gamma_{t1} = \frac{40/2}{1} = 20$$

$$\gamma_{t2} = \frac{30/2}{1.03} = 14.56$$

$$Kc = \frac{4}{\sqrt{\frac{44}{1.03}}} = 0.612$$

$$\gamma_r = 0.64 * \sqrt{0.612 * \frac{200000}{344.74}} = 12.0588$$

$$\gamma_{sub} = 1.17 * \sqrt{0.612 * \frac{200000}{344.74}} = 22.064$$

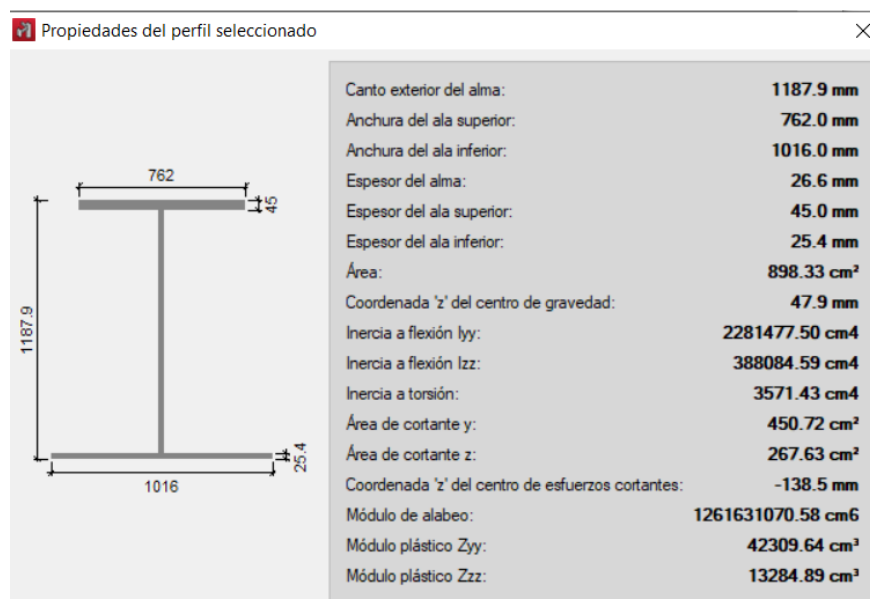
Como $\gamma_r < \gamma_{t1} < \gamma_{sub}$, el valor de Q_s es el siguiente.

$$Q_s = 1.415 - 0.65 * (20) * \sqrt{\frac{344.74}{0.612 * 200000}} = 0.725$$

5.2.1.2.2. Comprobación CYPE 3D.

Figura 82

Dimensiones y propiedades del perfil en I CYPE 3D



Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

Figura 83

Resultado Qs CYPE 3D

Q_s: se calcula de la siguiente forma:

b) para alas, angulares, y chapas en pilares u otras barras comprimidas compuestas

ii) si $0.64 \sqrt{\frac{Ek_c}{F_y}} < \frac{b}{t} \leq 1.17 \sqrt{\frac{Ek_c}{F_y}}$

$$Q_s = 1.415 - 0.65 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{Ek_c}} \quad (E7-8)$$

Donde:

b: La mitad del ancho total del ala

t: Espesor del ala

E: Módulo de elasticidad del acero

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

$$0.35 \leq k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \leq 0.76$$

Donde:

h: Distancia libre entre alas, menos el radio de acuerdo

t_w: Espesor del alma

Q_s : 0.73

Q_s : 0.73

b : 508.00 mm

t : 25.40 mm

E : 200000.00 MPa

F_y : 344.74 MPa

k_c : 0.62

h : 1117.50 mm

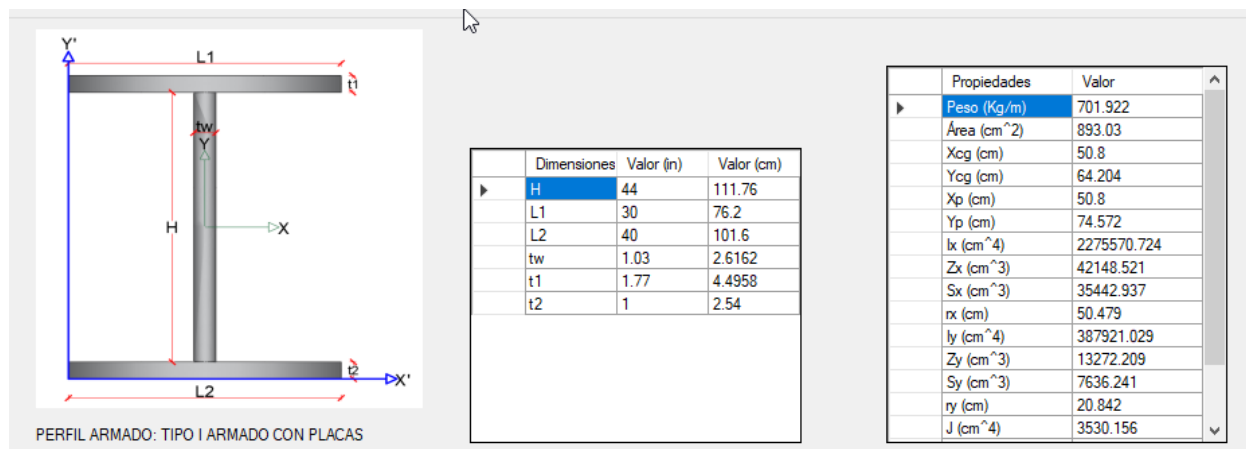
t_w : 26.61 mm

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

5.2.1.2.3. Comprobación software Koutetsu.

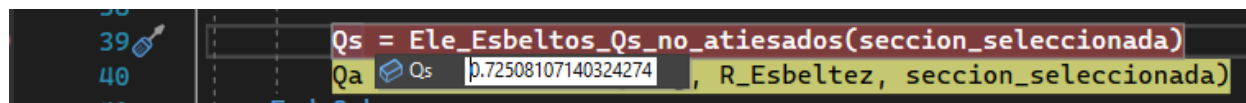
Figura 84

Dimensiones y propiedades de I armados con placas



Realizando el respectivo proceso

Figura 85

Resultado Q_s Koutetsu


```

39
40
41
Qs = Ele_Esbeltos_Qs_no_atiesados(seccion_seleccionada)
Qa Qs 0.72508107140324274 R_Esbeltez seccion_seleccionada

```

Se obtiene el mismo valor de las 3 formas presentadas, por lo tanto, el valor calculado sería el adecuado.

5.2.1.3. Caso 3.

Se utiliza las siguientes dimensiones para perfil en 2L armado con perfiles laminados en caliente

$$L1 = 15 \text{ in } L2 = 10 \text{ in } tf = 1.13 \text{ in } t = 2 \text{ in } r = 0.5 \text{ in}$$

5.2.1.3.1. Comprobación manual.

Se comprueba en que caso está la esbeltez del elemento.

$$\gamma_{t1} = \frac{15}{1.13} = 13.274$$

$$\gamma_{t2} = \frac{10}{1.13} = 8.85$$

$$\gamma_r = 0.45 * \sqrt{\frac{200000}{344.74}} = 10.84$$

$$\gamma_{sub} = 0.91 * \sqrt{\frac{200000}{344.74}} = 21.918$$

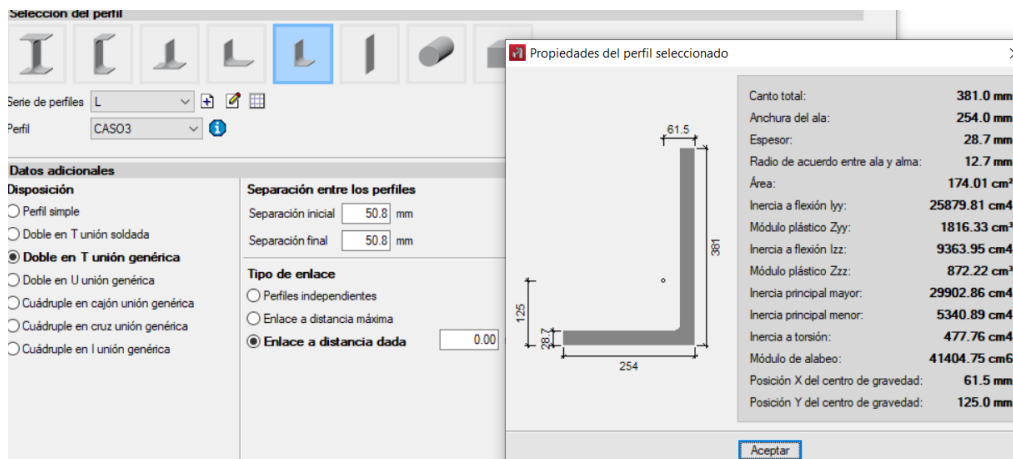
Como $\gamma_r < \gamma_{ala} < \gamma_{sub}$, el caso Q_s es el siguiente

$$Q_s = 1.34 - 0.76 * (13.274) * \sqrt{\frac{344.74}{200000}} = 0.921151$$

5.2.1.3.2. Comprobación CYPE 3D.

Figura 86

Dimensiones y Propiedades de perfil L CYPE 3D



Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

Figura 87

Resultado Q_s CYPE 3D

1) en secciones formadas únicamente por elementos no rigidizados:

$$Q_s = 1.0$$

Q_s : El menor valor de los siguientes:

c) para angulares simples:

$$\text{ii) Cuando: } 0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{b}{t} \leq 0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$Q_s = 1.34 - 0.76 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

Donde:

b: Ancho total del lado mayor del angular

t: Espesor del ala del angular

E: Módulo de elasticidad del acero

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

$$Q_s : \underline{1.00}$$

$$Q_s : \underline{0.92}$$

$$Q_s : \underline{0.92}$$

$$b : \underline{381.00} \text{ mm}$$

$$t : \underline{28.70} \text{ mm}$$

$$E : \underline{200000.00} \text{ MPa}$$

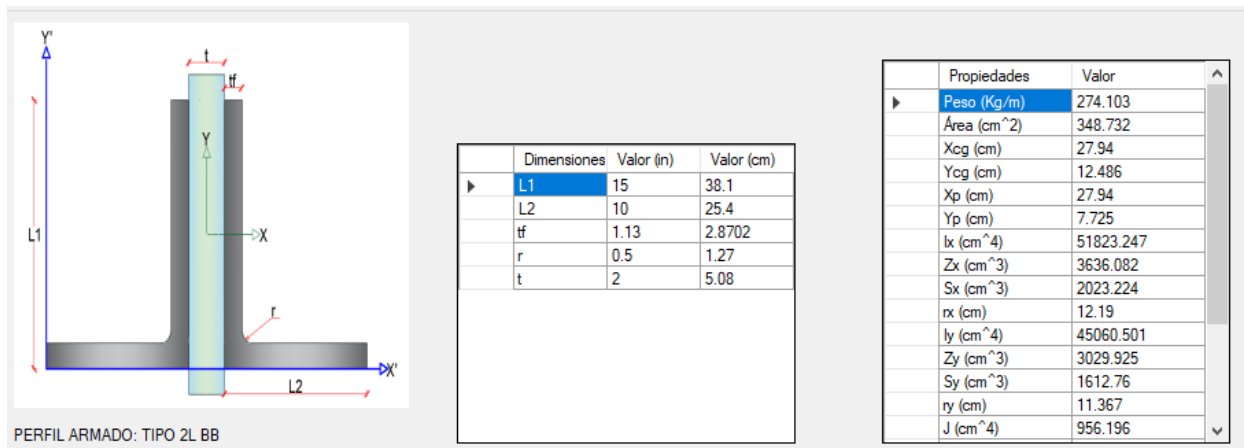
$$F_y : \underline{344.74} \text{ MPa}$$

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

5.2.1.3.3. Comprobación software Koutetsu.

Figura 88

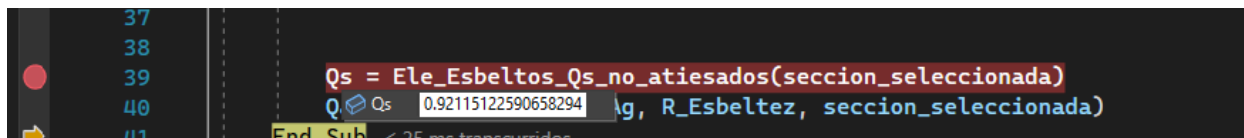
Propiedades y dimensiones de 2L



Realizando el respectivo proceso.

Figura 89

Resultado Qs Koutetsu



Se obtiene el mismo valor de las 3 formas presentadas, por lo tanto, el valor calculado sería el adecuado.

5.2.1.4. Caso 4.

Se utiliza las siguientes dimensiones de un perfil en T sin pendiente.

$$d = 22 \text{ in } \quad t_f = 1.77 \text{ in } \quad t_w = 1.03 \text{ in } \quad b_f = 30 \text{ in } \quad r = 0.66 \text{ in}$$

5.2.1.4.1. Comprobación manual.

Se comprueba en que caso está la esbeltez del elemento.

$$\gamma_{alma} = \frac{22}{1.03} = 21.3592$$

$$\gamma_{r\ alma} = 0.45 * \sqrt{\frac{200000}{344.74}} = 10.8388$$

$$\gamma_{sub\ alma} = 1.03 * \sqrt{\frac{200000}{344.74}} = 24.8088$$

Como $\gamma_{r\ alma} < \gamma_{ala} < \gamma_{sub\ alma}$, el valor de Q_s es.

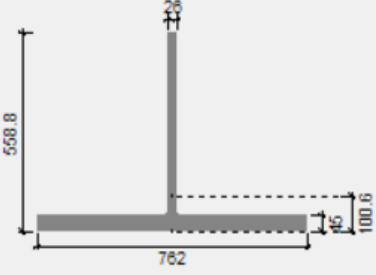
$$Q_s = 1.908 - 1.22 * (21.3592) * \sqrt{\frac{344.74}{200000}} = 0.826$$

5.2.1.4.2. Comprobación CYPE 3D.

Figura 90

Dimensiones y Propiedades perfil T en CYPE 3D

Propiedades del perfil seleccionado



Canto total:	558.8 mm
Anchura del ala:	762.0 mm
Espesor del alma:	26.0 mm
Espesor del ala:	45.0 mm
Radio de acuerdo entre ala y alma:	16.8 mm
Área:	477.69 cm ²
Inercia a flexión I _{yy} :	105638.78 cm ⁴
Módulo plástico Z _{yy} :	4059.66 cm ³
Inercia a flexión I _{zz} :	165997.78 cm ⁴
Módulo plástico Z _{zz} :	6619.08 cm ³
Inercia a torsión:	2471.43 cm ⁴
Módulo de alabeo:	355296.32 cm ⁶
Posición Y del centro de gravedad:	100.6 mm

Aceptar

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

Figura 91

Resultado Qs CYPE 3D

para almas de secciones en T:

ii) Cuando: $0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{d}{t} \leq 1.03 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$Q_s = 1.908 - 1.22 \left(\frac{d}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

Donde:

d: Canto nominal total de la T

t: Espesor del elemento

E: Módulo de elasticidad del acero

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

Q_s : 0.82

d : 558.80 mm

t : 26.00 mm

E : 200000.00 MPa

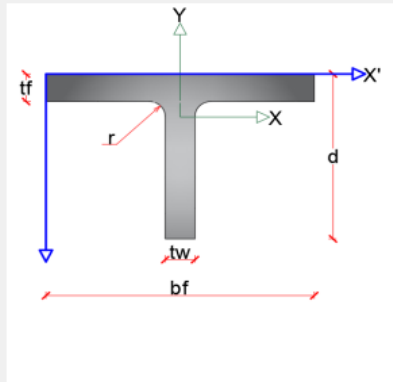
F_y : 344.74 MPa

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

5.2.1.4.3. Comprobación software Koutetsu.

Figura 92

Propiedades Y dimensiones del Perfil en T



PERFIL LAMINADO: TIPO T

Dimensiones	Valor(in)	Valor (cm)
d	22	55.88
tf	1.77	4.4958
tw	1.03	2.6162
bf	30	76.2
r	0.66	1.6764

Propiedades	Valor
Peso (Kg/m)	375.879
Área (cm ²)	478.218
Xcg (cm)	38.1
Ycg (cm)	10.109
Xp (cm)	38.1
Yp (cm)	3.138
Ix (cm ⁴)	105556.925
Zx (cm ³)	4083.858
Sx (cm ³)	2306.182
rx (cm)	14.857
Iy (cm ⁴)	165844.375
Zy (cm ³)	6616.103
Sy (cm ³)	4352.871
ry (cm)	18.622
J (cm ⁴)	2618.039

Realizando el respectivo proceso

Figura 93

Resultado Qs Koutetsu

```
Qs = Ele_Esbeltos_Qs_no_atiesados(seccion_seleccionada)
Qa Qs 0.82612738551915643 , R_Esbeltez, seccion_seleccionada
```

5.2.2. Comprobación Q_a

Se comprueba cada caso para el cálculo de elementos atiesados.

5.2.2.1. Caso 5.

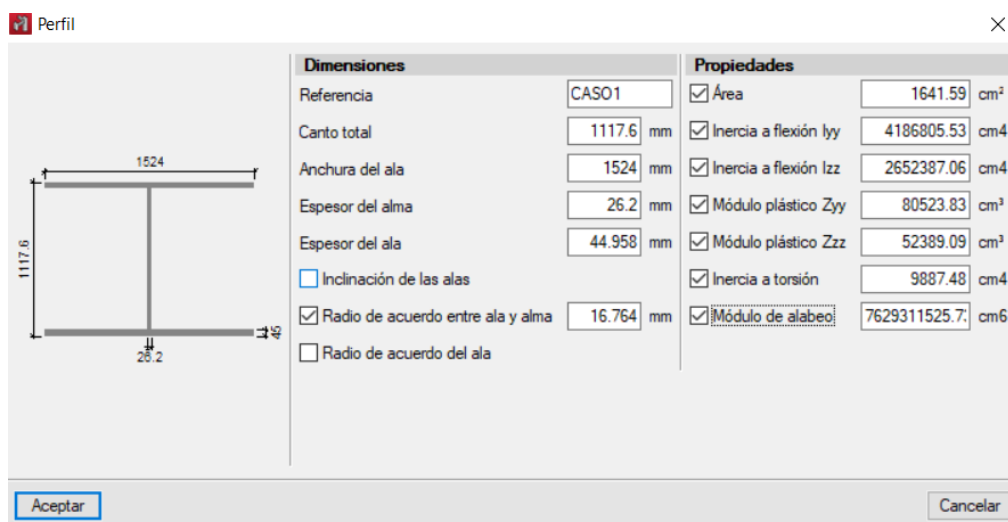
5.2.2.1.1. Comprobación valor *CYPE 3D*.

Se utiliza para estos casos los perfiles de caso 1 y caso 2.

➤ Ejemplo 1

Figura 94

Dimensiones y Propiedades del perfil en I



The screenshot shows the 'Perfil' dialog box with the following data:

Dimensiones		Propiedades	
Referencia	CASO1	<input checked="" type="checkbox"/> Área	1641.59 cm ²
Canto total	1117.6 mm	<input checked="" type="checkbox"/> Inercia a flexión I _{yy}	4186805.53 cm ⁴
Anchura del ala	1524 mm	<input checked="" type="checkbox"/> Inercia a flexión I _{zz}	2652387.06 cm ⁴
Espesor del alma	26.2 mm	<input checked="" type="checkbox"/> Módulo plástico Z _{yy}	80523.83 cm ³
Espesor del ala	44.958 mm	<input checked="" type="checkbox"/> Módulo plástico Z _{zz}	52389.09 cm ³
<input type="checkbox"/> Inclinación de las alas		<input checked="" type="checkbox"/> Inercia a torsión	9887.48 cm ⁴
<input checked="" type="checkbox"/> Radio de acuerdo entre ala y alma	16.764 mm	<input checked="" type="checkbox"/> Módulo de alabeo	7629311525.7 cm ⁶
<input type="checkbox"/> Radio de acuerdo del ala			

Buttons: Aceptar, Cancelar

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

Figura 95

Resultado Qa CYPE 3D

$$Q_s = \frac{A_{\text{eff}}}{A}$$

Donde:

A: Área total de la sección transversal de la barra.**A_{eff}:** Suma de las áreas eficaces de la sección transversal basadas en el ancho eficaz reducido 'h_e'.

a) en elementos esbeltos uniformemente comprimidos, excepto alas de secciones cuadradas y rectangulares de espesor uniforme

$$i) \text{ Cuando: } \frac{h}{t} \geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{f}}$$

$$h_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0.34}{\left(\frac{h}{t}\right)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq h$$

Donde:

$$f = F_{cr}$$

Donde:

F_{cr} es calculada asumiendo que Q = 1.0**h:** Ancho del elemento comprimido no rigidizado**t:** Espesor del alma**E:** Módulo de elasticidad del acero

$$Q_s : \underline{\underline{0.99}}$$

$$A : \underline{\underline{1641.59}} \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{eff}} : \underline{\underline{1627.46}} \text{ cm}^2$$

$$h_e : \underline{\underline{973.65}} \text{ mm}$$

$$f : \underline{\underline{329.49}} \text{ MPa}$$

$$h : \underline{\underline{1027.68}} \text{ mm}$$

$$t : \underline{\underline{26.16}} \text{ mm}$$

$$E : \underline{\underline{200000.00}} \text{ MPa}$$

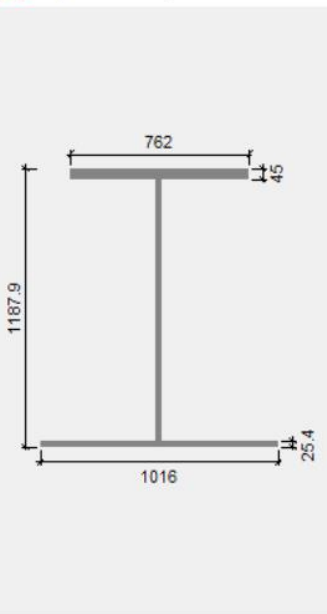
Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

➤ Ejemplo 2

Figura 96

Dimensiones y Propiedades del perfil en I armado con placas

Propiedades del perfil seleccionado



Canto exterior del alma:	1187.9 mm
Anchura del ala superior:	762.0 mm
Anchura del ala inferior:	1016.0 mm
Espesor del alma:	26.6 mm
Espesor del ala superior:	45.0 mm
Espesor del ala inferior:	25.4 mm
Área:	898.33 cm ²
Coordenada 'z' del centro de gravedad:	47.9 mm
Inercia a flexión I _{yy} :	2281477.50 cm ⁴
Inercia a flexión I _{zz} :	388084.59 cm ⁴
Inercia a torsión:	3571.43 cm ⁴
Área de cortante y:	450.72 cm ²
Área de cortante z:	267.63 cm ²
Coordenada 'z' del centro de esfuerzos cortantes:	-138.5 mm
Módulo de alabeo:	1261631070.58 cm ⁶
Módulo plástico Z _{yy} :	42309.64 cm ³
Módulo plástico Z _{zz} :	13284.89 cm ³

Aceptar

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

Figura 97

Resultado Qa CYPE 3D

$$Q_s = \frac{A_{eff}}{A}$$

Donde:

A: Área total de la sección transversal de la barra.

A_{eff}: Suma de las áreas eficaces de la sección transversal basadas en el ancho eficaz reducido 'h_e'.

a) en elementos esbeltos uniformemente comprimidos, excepto alas de secciones cuadradas y rectangulares de espesor uniforme

i) Cuando: $\frac{h}{t} \geq 1.49 \sqrt{\frac{E}{f}}$

$$h_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0.34}{\left(\frac{h}{t}\right)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq h$$

Donde:

f = F_{cr}

Donde:

F_{cr} es calculada asumiendo que Q = 1.0

h: Ancho del elemento comprimido no rigidizado

t: Espesor del alma

E: Módulo de elasticidad del acero

Q_s : 0.98

A : 898.33 cm²

A_{eff} : 881.71 cm²

h_e : 1055.02 mm

f : 291.08 MPa

h : 1117.50 mm

t : 26.61 mm

E : 200000.00 MPa

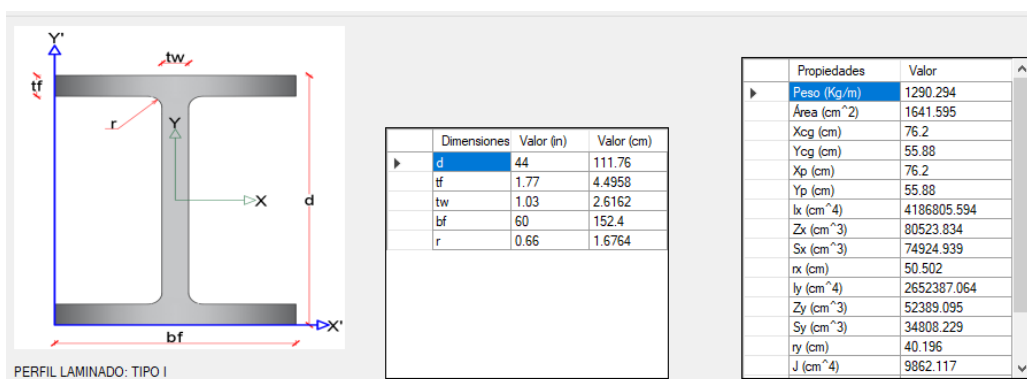
Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

5.2.2.1.2. Comprobación software Koutetsu.

➤ Ejemplo 1

Figura 98

Dimensiones y Propiedades de perfil en I



Realizando el respectivo proceso.

Figura 99

Valor Qa Koutetsu

```

39
40 Qs = Ele_Esbeltos_Qs_no_atiesados(seccion_seleccionada)
41 Qa = Ele_Esbeltos_Qa(Ag, R_Esbeltz, seccion_seleccionada)
42 End Sub
End Class
    
```


➤ Ejemplo 2

Figura 100

Dimensiones y propiedades perfil en I armado con placas

Dimensiones	Valor (in)	Valor (cm)
H	44	111.76
L1	30	76.2
L2	40	101.6
tw	1.03	2.6162
t1	1.77	4.4958
t2	1	2.54

Propiedades	Valor
Peso (Kg/m)	701.922
Área (cm ²)	893.03
Xcg (cm)	50.8
Ycg (cm)	64.204
Xp (cm)	50.8
Yp (cm)	74.572
Ix (cm ⁴)	2275570.724
Iy (cm ⁴)	387921.029
Iz (cm ⁴)	13272.209
Sx (cm ³)	35442.937
Sy (cm ³)	7636.241
Sz (cm ³)	20.842
J (cm ⁴)	3530.156

Realizando el respectivo proceso.

Figura 101

Resultado Qa software Koutetsu

Qa = Ele_Esbeltos_Qa(Ag, R_Esbeltz, seccion_seleccionada)

End Su Qa 0.97774568417372387

5.2.2.2. Caso 6.

5.2.2.2.1. Comprobación CYPE 3D.

➤ Ejemplo 1

Figura 102

Dimensiones y Propiedades del perfil tubular rectangular

Propiedades del perfil seleccionado

Dimensión vertical del perfil:	355.6 mm
Dimensión horizontal del perfil:	508.0 mm
Espesor:	6.4 mm
Radio de acuerdo interior:	6.4 mm
Área:	107.00 cm ²
Inercia a flexión Iy:	23603.79 cm ⁴
Inercia a flexión Iz:	40584.14 cm ⁴
Inercia a torsión:	46236.95 cm ⁴
Área de cortante y:	53.09 cm ²
Área de cortante z:	36.96 cm ²
Módulo de alabeo:	223800.45 cm ⁶
Módulo plástico Zyy:	1480.96 cm ³
Módulo plástico Zzz:	1884.54 cm ³

Aceptar

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

Figura 103

Resultado Qa CYPE 3D

2) en secciones formadas únicamente por elementos no rigidizados:

$$Q_s = 1.0$$

$$Q_s = \frac{A_{eff}}{A}$$

Donde:

A: Área total de la sección transversal de la barra.

A_{eff}: Suma de las áreas eficaces de la sección transversal basadas en el ancho eficaz reducido 'b_e' y en la altura eficaz reducida 'h_e', donde sea de aplicación.

b) para alas de secciones cuadradas y rectangulares con elementos esbeltos de espesor uniforme:

$$i) \text{ Cuando: } \frac{b}{t} \geq 1.40 \sqrt{\frac{E}{f}}$$

$$b_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0.38}{\left(\frac{b}{t}\right)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b$$

Donde:

$$f = \frac{P_n}{A_{eff}}$$

$$Q_s : \underline{1.00}$$

$$Q_s : \underline{0.69}$$

$$A : \underline{107.00} \text{ cm}^2$$

$$A_{eff} : \underline{73.49} \text{ cm}^2$$

$$b_e : \underline{284.65} \text{ mm}$$

$$f : \underline{274.57} \text{ MPa}$$

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

➤ Ejemplo 2

Figura 104

Dimensiones y Propiedades del perfil tubular rectangular

Propiedades del perfil seleccionado	
Dimensión vertical del perfil:	203.2 mm
Dimensión horizontal del perfil:	508.0 mm
Espesor:	6.4 mm
Radio de acuerdo interior:	6.4 mm
Área:	87.64 cm ²
Inercia a flexión I _{yy} :	6872.04 cm ⁴
Inercia a flexión I _{zz} :	28407.42 cm ⁴
Inercia a torsión:	17923.75 cm ⁴
Área de cortante y:	53.09 cm ²
Área de cortante z:	20.83 cm ²
Módulo de alabeo:	345732.05 cm ⁶
Módulo plástico Z _{yy} :	739.39 cm ³
Módulo plástico Z _{zz} :	1399.08 cm ³

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

Figura 105

Resultado Qa CYPE 3D

$$Q_a = \frac{A_{\text{eff}}}{A}$$

Donde:

A: Área total de la sección transversal de la barra.**A_{eff}:** Suma de las áreas eficaces de la sección transversal basadas en el ancho eficaz reducido 'b_e' y en la altura eficaz reducida 'h_e', donde sea de aplicación.

b) para alas de secciones cuadradas y rectangulares con elementos esbeltos de espesor uniforme:

$$\text{i) Cuando: } \frac{b}{t} \geq 1.40 \sqrt{\frac{E}{f}}$$

$$b_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0.38}{\left(\frac{b}{t}\right)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b$$

Donde:

$$f = \frac{P_n}{A_{\text{eff}}}$$

b: Distancia libre entre almas menos el radio de acuerdo a cada lado

$$Q_a : \underline{0.81}$$

$$A : \underline{87.64} \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{eff}} : \underline{71.26} \text{ cm}^2$$

$$b_e : \underline{353.50} \text{ mm}$$

$$f : \underline{161.55} \text{ MPa}$$

$$b : \underline{482.50} \text{ mm}$$

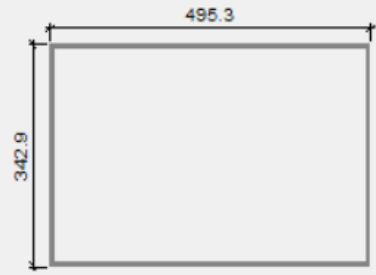
Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

➤ Ejemplo 3

Figura 106

Dimensiones y Propiedades del perfil tubular rectangular

Propiedades del perfil seleccionado
✕



Dimensión vertical del perfil: **342.9 mm**

Dimensión horizontal del perfil: **495.3 mm**

Espesor de las chapas verticales: **6.4 mm**

Espesor de las chapas horizontales: **6.4 mm**

Área: **104.84 cm²**

Inercia a flexión I_{yy}: **21624.31 cm⁴**

Inercia a flexión I_{zz}: **37924.97 cm⁴**

Inercia a torsión: **41670.13 cm⁴**

Área de cortante y: **61.29 cm²**

Área de cortante z: **41.94 cm²**

Módulo de alabeo: **369808614.41 cm⁶**

Módulo plástico Z_{yy}: **1404.68 cm³**

Módulo plástico Z_{zz}: **1804.11 cm³**

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

Figura 107

Resultado Qa CYPE 3D

2) en secciones formadas únicamente por elementos no rigidizados:

$$Q_e = 1.0$$

$$Q_e = \frac{A_{\text{eff}}}{A}$$

Donde:

A: Área total de la sección transversal de la barra.**A_{eff}:** Suma de las áreas eficaces de la sección transversal basadas en el ancho eficaz reducido 'b_e' y en la altura eficaz reducida 'h_e', donde sea de aplicación.

b) para alas de secciones cuadradas y rectangulares con elementos esbeltos de espesor uniforme:

$$\text{i) Cuando: } \frac{b}{t} \geq 1.40 \sqrt{\frac{E}{f}}$$

$$b_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0.38}{\left(\frac{b}{t}\right)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b$$

Donde:

$$f = \frac{P_o}{A_{\text{eff}}}$$

$$Q_e : \underline{\quad 1.00 \quad}$$

$$Q_e : \underline{\quad 0.68 \quad}$$

$$A : \underline{\quad 104.84 \quad} \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{eff}} : \underline{\quad 71.73 \quad} \text{ cm}^2$$

$$b_e : \underline{\quad 286.45 \quad} \text{ mm}$$

$$f : \underline{\quad 270.51 \quad} \text{ MPa}$$

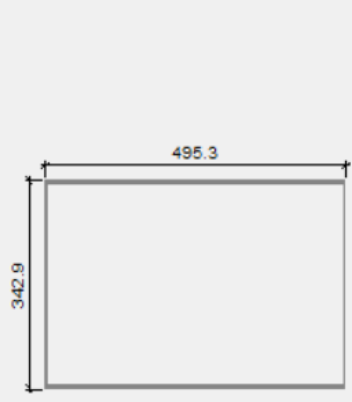
Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

➤ Ejemplo 4

Figura 108

Dimensiones y Propiedades del perfil tubular rectangular

Propiedades del perfil seleccionado



Dimensión vertical del perfil:	342.9 mm
Dimensión horizontal del perfil:	495.3 mm
Espesor de las chapas verticales:	3.2 mm
Espesor de las chapas horizontales:	6.4 mm
Área:	84.04 cm ²
Inercia a flexión I _{yy} :	19734.18 cm ⁴
Inercia a flexión I _{zz} :	25653.70 cm ⁴
Inercia a torsión:	30038.11 cm ⁴
Área de cortante y:	62.09 cm ²
Área de cortante z:	21.13 cm ²
Módulo de alabeo:	247829856.78 cm ⁶
Módulo plástico Z _{yy} :	1232.95 cm ³
Módulo plástico Z _{zz} :	1298.87 cm ³

Aceptar

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

Figura 109

Resultado Qa CYPE 3D

2) en secciones formadas únicamente por elementos no rigidizados:

$$Q_s = 1.0$$

$$Q_a = \frac{A_{eff}}{A}$$

Donde:

A: Área total de la sección transversal de la barra.**A_{eff}:** Suma de las áreas eficaces de la sección transversal basadas en el ancho eficaz reducido 'b_e' y en la altura eficaz reducida 'h_e', donde sea de aplicación.

b) para alas de secciones cuadradas y rectangulares con elementos esbeltos de espesor uniforme:

$$i) \text{ Cuando: } \frac{b}{t} \geq 1.40 \sqrt{\frac{E}{f}}$$

$$b_e = 1.92t \sqrt{\frac{E}{f}} \left[1 - \frac{0.38}{\left(\frac{b}{t}\right)} \sqrt{\frac{E}{f}} \right] \leq b$$

Donde:

$$f = \frac{P_n}{A_{eff}}$$

$$Q_s : \underline{1.00}$$

$$Q_a : \underline{0.54}$$

$$A : \underline{84.04} \text{ cm}^2$$

$$A_{eff} : \underline{45.45} \text{ cm}^2$$

$$b_e : \underline{278.14} \text{ mm}$$

$$f : \underline{291.33} \text{ MPa}$$

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

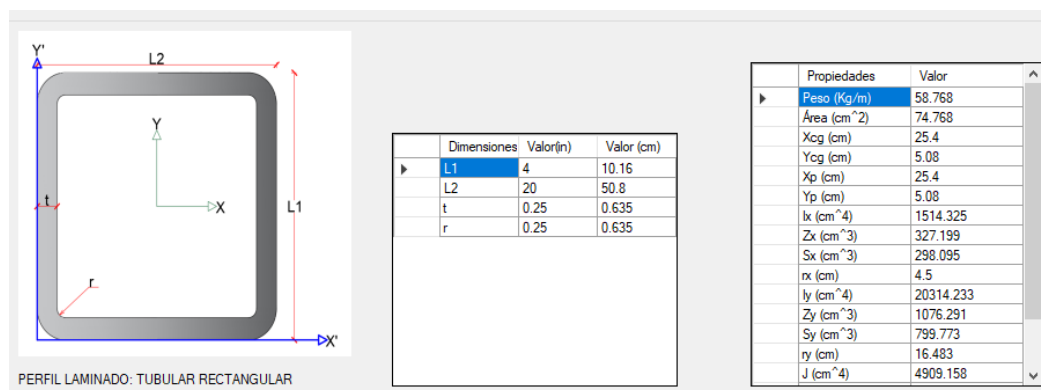
5.2.2.2.2. Comprobación Koutetsu.

➤ Ejemplo 1

En este ejemplo todos los lados son esbeltos.

Figura 110

Dimensiones y propiedades perfil Tubular rectangular



Realizando el respectivo proceso.

Figura 111

Resultado Qa software Koutetsu

```

40 Qa = Ele_Esbeltos_Qa(Ag, R_Esbeltex, seccion_seleccionada)
41 End Sub
42 End Class
    
```

Qa 0.68669812466369351

➤ Ejemplo 2

Solo 2 lados esbeltos

Figura 112

Dimensiones y propiedades perfil Tubular rectangular

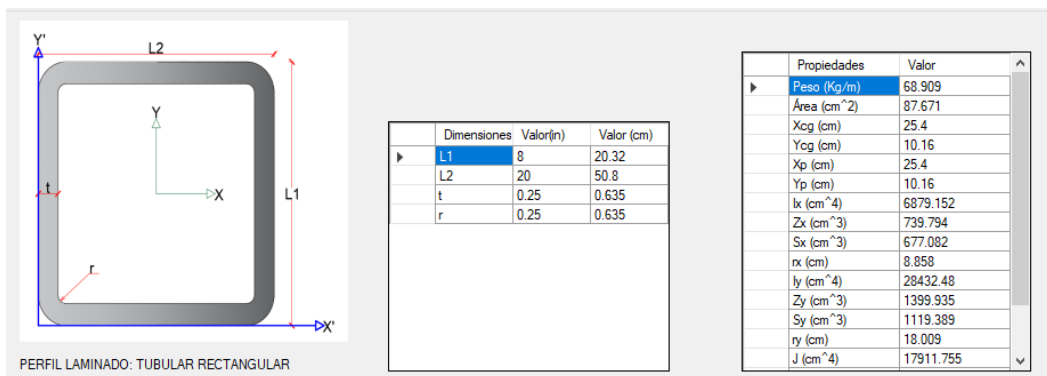


Figura 113

Resultado Qa software Koutetsu

```

49 Qa = Ele_Esbeltos_Qa(Ag, R_Esbeltex, seccion_seleccionada)
50 End Sub
    
```

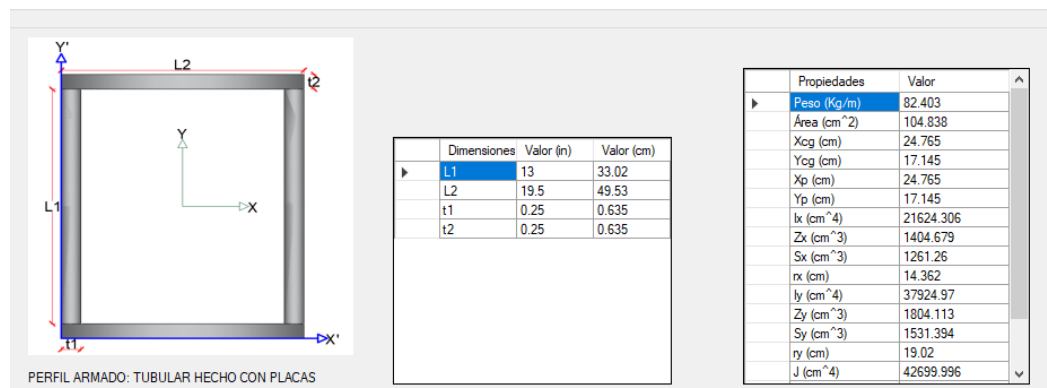
Qa 0.81290081447191376

➤ Ejemplo 3

Tubular armado con placas

Figura 114

Dimensiones y propiedades perfil Tubular rectangular armado con placas



Realizando el respectivo proceso.

Figura 115

Resultado Qa software Koutetsu

The screenshot shows a software interface with a dark background. On the left, there are vertical labels 49, 50, and 51. The main area displays a calculation: $Q_a = \text{Ele_Esbeltos_Qa}(\text{Ag}, \text{R_Esbeltez}, \text{seccion_seleccionada})$. Below this, a value is shown: $Q_a = 0.68416247816291587$.

➤ Ejemplo 4

Ambos lados esbeltos y espesores diferentes

Figura 116

Dimensiones y propiedades perfil Tubular rectangular armado con placas

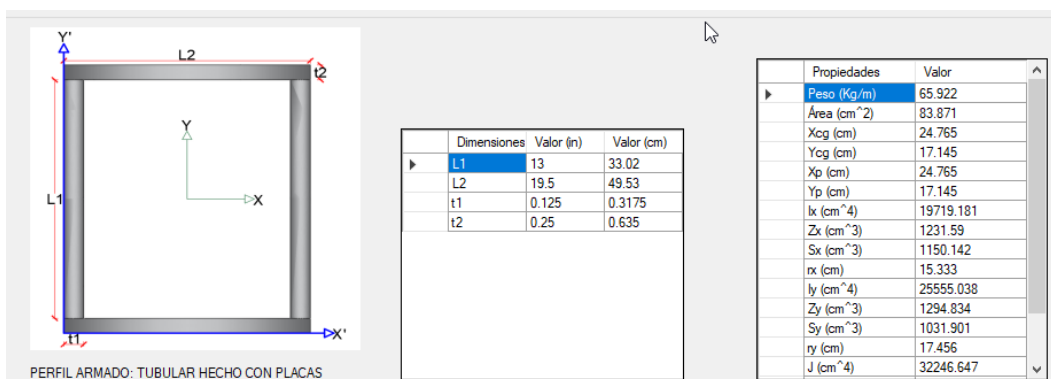


Figura 117

Resultado Qa software Koutetsu

The screenshot shows a software interface with a dark background. On the left, there are vertical labels 48, 49, and 50. The main area displays two calculations: $Q_s = \text{Ele_Esbeltos_Qs_no_atiesados}(\text{seccion_seleccionada})$ and $Q_a = \text{Ele_Esbeltos_Qa}(\text{Ag}, \text{R_Esbeltez}, \text{seccion_seleccionada})$. Below these, a value is shown: $Q_a = 0.54003751742563988$.

5.2.2.3. CASO 9.

5.2.2.3.1. Comprobación CYPE 3D.

Figura 118

Dimensiones y propiedades de perfil tubular circular



Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

Figura 119

Resultado Qa CYPE 3D

2) en secciones formadas únicamente por elementos no rigidizados:

$$Q_s = 1.0$$

c) para secciones circulares con carga axial:

$$\text{ii) Cuando: } 0.11 \frac{E}{F_y} < \frac{D}{t} < 0.45 \frac{E}{F_y}$$

$$Q_s = \frac{0.038E}{F_y \left(\frac{D}{t} \right)} + \frac{2}{3}$$

Donde:

D: Diámetro exterior

t: Espesor de la pared

E: Módulo de elasticidad del acero

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

$$Q_s : \underline{\quad 1.00 \quad}$$

$$Q_s : \underline{\quad 0.84 \quad}$$

$$D : \underline{\quad 1600.00 \quad} \text{ mm}$$

$$t : \underline{\quad 12.70 \quad} \text{ mm}$$

$$E : \underline{\quad 200000.00 \quad} \text{ MPa}$$

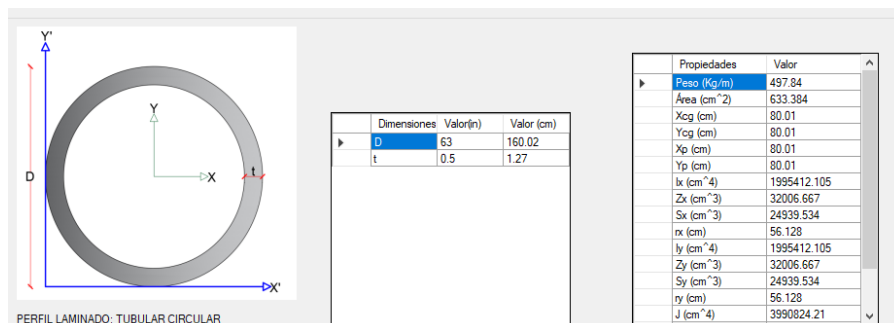
$$F_y : \underline{\quad 344.74 \quad} \text{ MPa}$$

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

5.2.2.3.1. Comprobación software Koutetsu.

Figura 120

Dimensiones y propiedades perfil Tubular circular



Realizando el respectivo proceso.

Figura 121

Resultado Qa software Koutetsu

```

8 Qs = Ele_Esbeltos_Qs_no_atiesados(seccion_seleccionada)
9 Qa = Ele_Esbeltos_Qa(Ag, R_Esbeltez, seccion_seleccionada)
10 Qa
11 End If

```

A continuación, tabla resumen de los casos presentados.

Tabla 411

Resultados Qs

Caso	Manual	CYPE 3D	Koutetsu
Caso 1	0.894	0.89	0.894
Caso 2	0.725	0.73	0.725
Caso 3	0.921	0.92	0.921
Caso 4	0.826	0.82	0.826

Tabla 412

Resultados Qa

Caso	CYPE 3D	Koutetsu
Caso 5 Eje 1	0.99	0.993
Caso 5 Eje 2	0.98	0.977
Caso 6 Eje 1	0.69	0.687
Caso 6 Eje 2	0.81	0.812
Caso 6 Eje 3	0.68	0.684
Caso 6 Eje 4	0.54	0.54
Caso 9	0.84	0.84

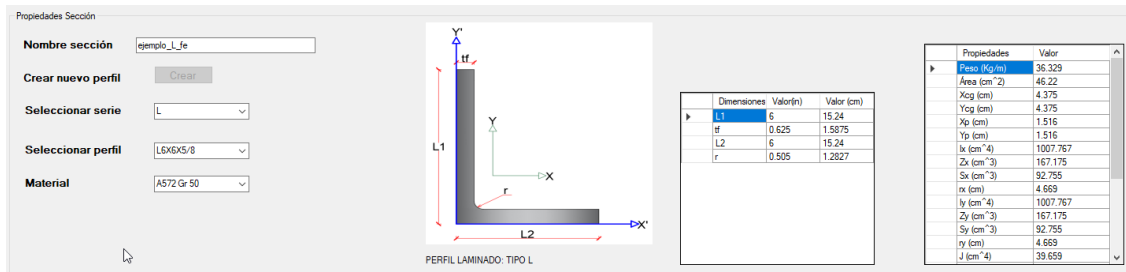
6. EJEMPLOS DE DISEÑO COMPRESIÓN

6.1. Ejemplos diseño

6.1.1. Perfil tipo L

Figura 122

Perfil diseño tipo L6x6x5/8



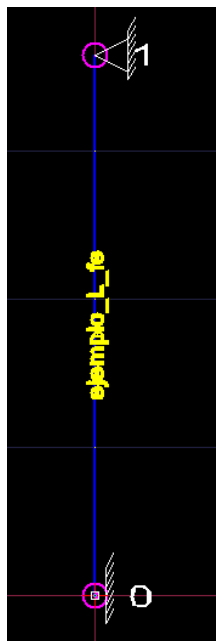
EL perfil a usar es un L6x6x5/8 y el material es A572 Gr 50 cuyas características son:

$$F_y = 350 \text{ Mpa} \quad G = 77200 \text{ Mpa}$$

La columna consta de un tramo que son las siguientes.

Figura 123

Plano YZ



Donde la columna tiene un apoyo empotrado en la base y uno fijo a 3.648 m de altura.

$$L_{1_{elemento}} = 3.648 \text{ m}$$

Y el otro plano tiene la siguiente distribución:

Figura 124

Plano XZ



Ambos planos tienen la misma configuración y como son simétricos, su resultado será igual, por lo tanto la resistencia en “x” será igual a “y”.

Tabla 413

Resistencia alrededor del eje X o y en Koutetsu

ID e	Nombre sección	Nombre perfil	L elemento (m)	L tramo X (m)	Kx	Qx	R_esb_x	Fcrx (Mpa)	φPnx (kN)
A	ejemplo_L	L6X6X5/8	3.648	3.648	0.8	1	97.356	173.212	720.527

Realizando los cálculos en CYPE 3D se obtiene lo siguiente.

Tabla 414

Propiedades calculadas por CYPE 3D

Limitación de esbeltez para compresión (Capítulo E)

La esbeltez máxima admisible en una barra sometida a compresión es*:

$$\lambda \leq 200$$

$$\lambda : \underline{98.0} \quad \checkmark$$

Donde:

λ : Coeficiente de esbeltez

$$\lambda = \frac{KL}{r}$$

$$\lambda : \underline{98.0}$$

Donde:

L: Longitud de la barra

$$\mathbf{L} : \underline{3648} \text{ mm}$$

K: Factor de longitud efectiva.

$$\mathbf{K} : \underline{0.80}$$

r_z: Radio de giro respecto al eje Z

$$\mathbf{r}_z : \underline{2.98} \text{ cm}$$

Donde:

$$r_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

$$\mathbf{r}_z : \underline{2.98} \text{ cm}$$

Donde:

I_z: Momento de inercia respecto al eje principal de menor inercia

$$\mathbf{I}_z : \underline{408.32} \text{ cm}^4$$

A: Área total de la sección transversal de la barra.

$$\mathbf{A} : \underline{46.00} \text{ cm}^2$$

Notas:

*: La esbeltez máxima admisible está basada en las Notas de Usuario de la sección E2.

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

Tabla 415

Resistencia alrededor del eje X o Y en

Todas las secciones deben cumplir con las especificaciones LRFD desarrolladas en Capítulo E de ANSI/AISC 360-05 (LRFD).

Se debe satisfacer el siguiente criterio:

$$\eta_r = \frac{P_r}{P_c} \leq 1$$

$$\eta_r : \underline{0.003} \quad \checkmark$$

El axil de compresión solicitante de cálculo pésimo P, se produce en el nudo N1, para la combinación de hipótesis 1.4-PP.

Donde:

P_r: Resistencia a compresión requerida para las combinaciones de carga LRFD

$$\mathbf{P}_r : \underline{1.81} \text{ kN}$$

P_c: Resistencia de diseño a compresión

$$\mathbf{P}_c : \underline{710.91} \text{ kN}$$

$$P_c = \phi_p P_n$$

La resistencia de diseño a compresión en secciones comprimidas es el menor valor de los obtenidos según los estados límite descritos en el Capítulo E.

Donde:

φ_p: Factor de resistencia a compresión, tomado como:

$$\phi_p : \underline{0.90}$$

P_n: Resistencia nominal a compresión, calculada según el Artículo E3-A:

$$\mathbf{P}_n : \underline{789.90} \text{ kN}$$

$$P_n = F_{cr} A$$

para el pandeo por flexión de secciones con elementos compactos y no compactos (ANSI/AISC 360-05 (LRFD), Capítulo E - E3-A).

Donde:

A: Área bruta de la sección de la barra.

$$\mathbf{A} : \underline{46.00} \text{ cm}^2$$

F_{cr}: Tensión de pandeo por flexión, tomada como:

$$\mathbf{F}_{cr} : \underline{171.72} \text{ MPa}$$

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

Tabla 416

Resistencia alrededor del eje X o Y en

i) Cuando: $F_e \geq 0.44F_y$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

Donde:

F_y: Límite elástico mínimo especificado del acero de las barras

F_y : 350.00 MPa

F_e: Tensión crítica elástica de pandeo respecto a los ejes principales, tomada como la menor de:

F_e : 205.72 MPa

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

F_{ew} : 805.07 MPa

F_{ez} : 205.72 MPa

Donde:

E: Módulo de elasticidad del acero

E : 200000.00 MPa

K: Factor de longitud efectiva.

K_w : 0.80

K_z : 0.80

L: Longitud de la barra

L : 3648 mm

r: Radio de giro dominante respecto a los ejes principales

r_w : 5.89 cm

r_z : 2.98 cm

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Donde:

I: Momento de inercia respecto a los ejes principales

I_w : 1597.91 cm⁴

I_z : 408.32 cm⁴

A: Área total de la sección transversal de la barra.

A : 46.00 cm²

Nota. Adaptado del software CYPE 3D.

Se observa que las diferencias son mínimas, por ejemplo, la relación de esbeltez en es de 98 y la de Koutetsu es de 97.35. En cuanto a la resistencia dada por CYPE es de 710.89 kN Y la de Koutetsu es de 720.527 kN, estas diferencias se deben al cálculo de las propiedades geométricas, sin embargo su variación es del 1.12%, y este valor no es significativo.

6.1.2. Perfil 2L

La distribución será de 5.486 m de altura en ambos planos con apoyos fijos.

Figura 125

Perfil diseño tipo 2L

Propiedades Sección

Nombre sección ejemplo_2L_BB_8x6x1/2

Crear nuevo perfil

Seleccionar serie 2L

Seleccionar perfil 2L8x6x1/2x3/8LLB

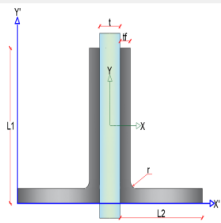
Material A572 Gr 50

Valor de a

Perfiles unidos solo en extremos a=L

Separación entre conectores (cm) 182.8678

Tipo de conexión Pernos pretensionados



PERFIL ARMADO: TIPO 2L BB

Dimensiones	Valor (in)	Valor (cm)
L1	8	20.32
L2	6	15.24
h	0.5	1.27
r	0.5	1.27
t	0.38	0.9652

Propiedades	Valor
Peso (Kg/m)	69.002
Area (cm ²)	87.789
Xog (cm)	15.723
Yog (cm)	6.242
Xp (cm)	15.723
Yp (cm)	3.038
Ix (cm ⁴)	3703.795
Iy (cm ⁴)	477.324
Sx (cm ³)	263.094
Sy (cm ³)	6.495
Iy (cm ⁴)	3360.434
Zy (cm ³)	369.135
Sy (cm ³)	213.733
ry (cm)	6.187
J (cm ⁴)	48.441

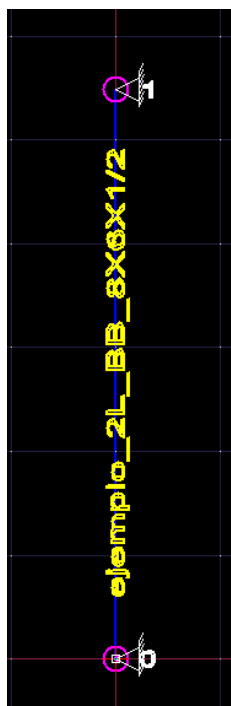
El perfil a usar es un 2L8x6x1/2x3/8 y el material es A36 cuyas características son:

$$F_y = 250 \text{ Mpa} \quad G = 77200 \text{ Mpa}$$

Tener en cuenta que se analizará con pernos pretensionados.

Figura 126

Columna a diseñar



$$\frac{L}{t} = 16 > 12.72 \Rightarrow \text{Se calcula } Q_s$$

Se considera una carga de 10 kN para calcular D/C.

Como solo tiene elementos no atiesados se calcula Q_s y $Q_a = 1$.

$$Q_s = 1.34 - 0.76 * \left(16 * \sqrt{\frac{250}{200000}} \right) = 0.91$$

Con esto se obtiene la resistencia alrededor del eje X.

Tabla 417

Resistencia alrededor del eje X cálculo a mano

Fe x (Mpa)	275.15
Fcr x (Mpa)	160.96
ϕ_{pnx} (KN)	1271.04
D/C	0.01

En Koutetsu se obtiene:

Tabla 418

Resistencia alrededor del eje X Koutetsu

ID e	Nombre sección	Nombre perfil	L elemento (m)	L tramo X (m)	Kx	Qx	R_esb_x	Fcrx (Mpa)	ϕP_{nx} (kN)
A	ejemplo_2L_B B_8X6X1/2	2L8X6X1/2X3/ 8LLBB	5.486	5.486	1	0.91	84.46	161.27	1274.20

Ahora en el eje Y es necesario modificar la relación de esbeltez:

$$\left(\frac{K * L}{r_y} \right)_0 = 88.882$$

Modificandola con una separación entre pernos de 1.829 m y con pernos pretencionados, se obtiene:

$$\left(\frac{K * L}{r_y} \right)_m = 92.241$$

Su resistencia alrededor del eje Y.

Tabla 419

Resistencia alrededor del eje Y cálculo a mano

Fe y (Mpa)	232.00
Fcr y (Mpa)	150.92
ϕPny (KN)	1191.79
D/C	0.01

En Koutetsu se obtiene:

L tramo Y (m)	Ky	Qy	R_esb_y	Fcry (Mpa)	ϕPny (kN)
5.486	1	0.91	92.072	151.149	1194.23

Y en flexotorsión

Tabla 420

Flexotorsión Caso a NSR-10 Cálculo a mano

ro in	4.16
H	0.718
Pandeo local	Si
Fcry (Mpa)	150.92
Cortante torsional J (plg ⁴)	1.168
Fcrz (Mpa)	383.120
Fcr (Mpa)	131.519
ϕPn (KN)	1038.574

Comparando con Koutetsu

Tabla 421

Resistencia a la torsión Koutetsu

fcr_tor (Mpa)	ϕPn_{tor} (kN)	ϕPn (kN)	Pu (kN)	D/C
131.615	1039.887	1039.887	10	0.01

Por lo tanto, comparando los resultados:

Tabla 422

Comparación resultados perfil 2L

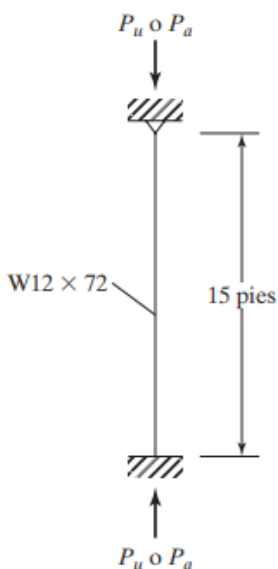
Resistencia	Mano	Koutetsu
Fcr x (Mpa)	160.96	161.272
$\phi_{pn}x$ (KN)	1271.04	1274.209
D/C	0.01	0.01
Fcr y (Mpa)	150.92	151.149
$\phi_{pn}y$ (KN)	1191.79	1194.226
D/C	0.01	0.01
Fcr (Mpa)	131.519	131.615
ϕ_{pn} (KN)	1038.574	1039.887
D/C	0.01	0.01

6.1.3. Perfil tipo I sin pendiente

Se tomó un ejemplo realizado en el libro de McCormac & Csernak (2013) para chequear los resultados del software Koutetsu.

Figura 127

Ejemplo de diseño 2 tomado de McCormac & Csernak (2013)



Nota. Adaptado de Figura 5.8, J.C McCormac & S, F Csernak, 2013. Alfaomega Grupo Editor.

Figura 128

Resultados del ejemplo 2 dados por McCormac & Csernak (2013)

Solución

- a) Usando una W12 × 72 ($A = 21.1 \text{ plg}^2$, $r_x = 5.31 \text{ plg}$, $r_y = 3.04 \text{ plg}$, $d = 12.3 \text{ plg}$, $b_f = 12.00 \text{ plg}$, $t_f = 0.670 \text{ plg}$, $k = 1.27 \text{ plg}$, $t_w = 0.430 \text{ plg}$)

$$\frac{b}{t} = \frac{12.00/2}{0.670} = 8.96 < 0.56\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.56\sqrt{\frac{29\,000}{50}} = 13.49$$

∴ Elemento de patín no rigidizado no esbelto

$$\frac{h}{t_w} = \frac{d - 2k}{t_w} = \frac{12.3 - 2(1.27)}{0.430} = 22.70 < 1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.49\sqrt{\frac{29\,000}{50}} = 35.88$$

∴ Elemento de alma rigidizada no esbelta

$K = 0.80$ de la Tabla 5.1.

Es obvio que $(KL/r)_y > (KL/r)_x$ por lo que rige

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_y = \frac{(0.80)(12 \times 15) \text{ plg}}{3.04 \text{ plg}} = 47.37$$

Por interpolación lineal, $\phi_c F_{rc} = 38.19 \text{ klb/plg}^2$ y $\frac{F_{cr}}{\Omega_c} = 25.43 \text{ klb/plg}^2$ de la Tabla 4-22 en el Manual usando acero con $F_y = 50 \text{ klb/plg}^2$.

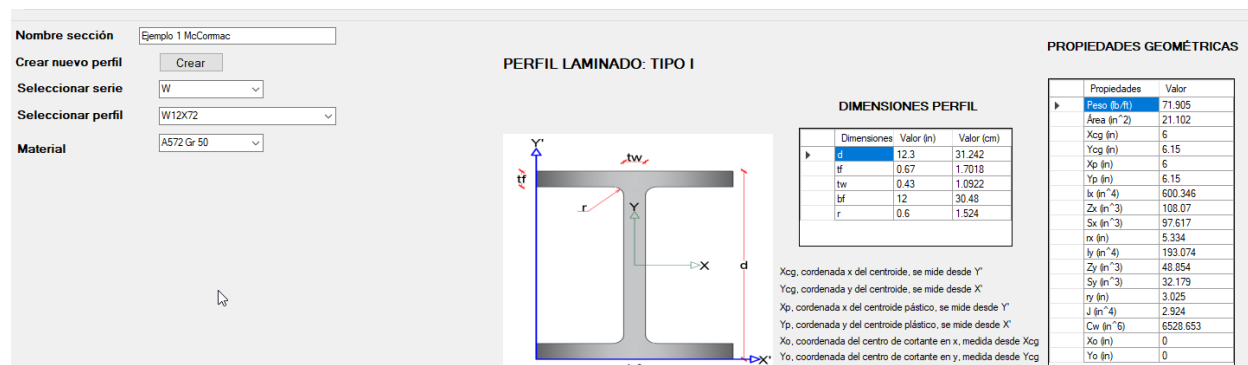
LRFD	ASD
$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g = (38.19)(21.1) = 805.8 \text{ k}$	$\frac{P_n}{\Omega_c} = \frac{F_{cr} A_g}{\Omega_c} = (25.43)(21.1) = 536.6 \text{ k}$

Nota. La figura muestra los cálculos dados en el libro. Adaptado de J.C McCormac & S, F Csernak, 2013. Alfaomega Grupo Editor.

Teniendo en cuenta el ejemplo, se realiza la sección en el programa Koutetsu, obteniendo lo siguiente:

Figura 129

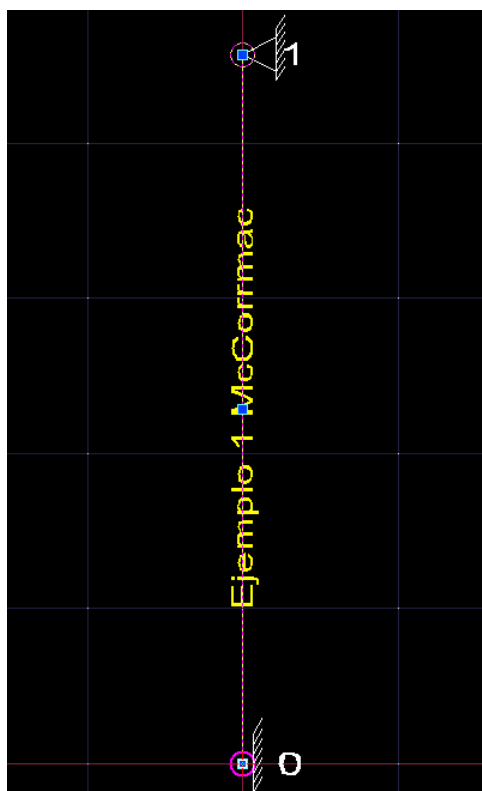
Resultados de las propiedades geométricas en el software Koutetsu para un perfil W12X72



Luego, se crea el modelo gráfico de la columna con sus respectivos apoyos.

Figura 130

Modelo gráfico de la columna del ejemplo 2



Es el mismo modelo en ambos planos, sin embargo los valores de relación de esbeltez y resistencia van a cambiar debido a su radio de giro. A continuación se muestran los resultados

obtenidos (cabe resaltar que Koutetsu muestra la relación de esbeltez final o corregida, de ser necesario, además muestra la resistencia debido a la torsión del elemento).

Tabla 423

Resultados obtenidos en el software Koutetsu para el ejemplo 2

ID e	Nombre seccion	Nombre perfil	L elemento (ft)	L tramo X (tf)	Kx	Qx	R_esb_x	Fcrx (ksi)	ϕP_{nx} (klb)	L tramo Y (tf)	Ky	Qy	R_esb_y	Fcry (ksi)	ϕP_{ny} (klb)	Qs	Qa_x	Qa_y	Q	fcr_tor (ksi)	ϕP_{n_tor} (klb)	ϕP_n (klb)
A	Ejemplo 1 McCormac	W12X72	15	15	0.80	1	27	48.09	913.32	15	0.80	1	47.61	42.91	814.83	1	1	1	1	44.26	840.50	814.83

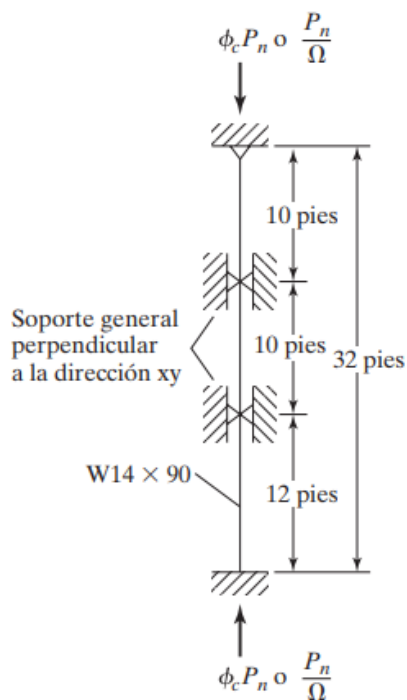
Se observa que la resistencia del ejemplo es de 805.8 kips y el de Koutetsu es de 814.833 kips, en consecuencia, la variación es del 1.12% y esto no es significativo.

6.1.4. Perfil tipo I sin pendiente

Se tomó un ejemplo realizado en el libro de McCormac & Csernak (2013) para chequear los resultados del software Koutetsu.

Figura 131

Ejemplo de diseño 3 tomado de McCormac & Csernak (2013)



Nota. Adaptado de Figura 5.10, J.C McCormac & S, F Csernak, 2013. Alfaomega Grupo Editor.

Figura 132

Resultados dados por McCormac & Csernak (2013)

Solución

- a) Usando W14 × 90 ($A = 26.5 \text{ plg}^2$, $r_x = 6.14 \text{ plg}$, $r_y = 3.70 \text{ plg}$)
Determinación de las longitudes efectivas

$$K_x L_x = (0.80)(32) = 25.6 \text{ pies}$$

$$K_y L_y = (1.0)(10) = 10 \text{ pies} \leftarrow \text{rige para } K_y L_y$$

$$K_y L_y = (0.80)(12) = 9.6 \text{ pies}$$

Cálculo de las relaciones de esbeltez

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_x = \frac{(12)(25.6)}{6.14} = 50.03 \leftarrow$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_y = \frac{(12)(10)}{3.70} = 32.43$$

$$\left. \begin{array}{l} \phi_c F_{cr} = 37.49 \text{ klb/plg}^2 \\ \frac{F_{cr}}{\Omega_c} = 24.90 \text{ klb/plg}^2 \end{array} \right\} \text{ del Manual, Tabla 4-22, } F_y = 50 \text{ klb/plg}^2$$

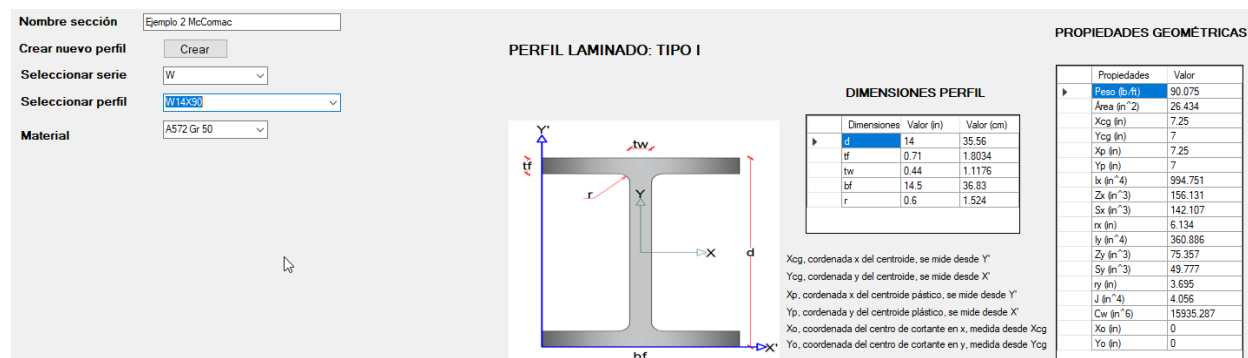
LRFD	ASD
$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A_g = (37.49)(26.5)$ <div style="border: 1px solid red; display: inline-block; padding: 2px;">= 993 k</div>	$\frac{P_n}{\Omega_c} = \frac{F_{cr} A_g}{\Omega_c} = (24.90)(26.5) = 660 \text{ k}$

Nota. La figura muestra los cálculos dados en el libro. Adaptado de J.C McCormac & S, F Csernak, 2013. Alfaomega Grupo Editor.

Teniendo en cuenta el ejemplo, se realiza la sección en el programa Koutetsu, obteniendo lo siguiente:

Figura 133

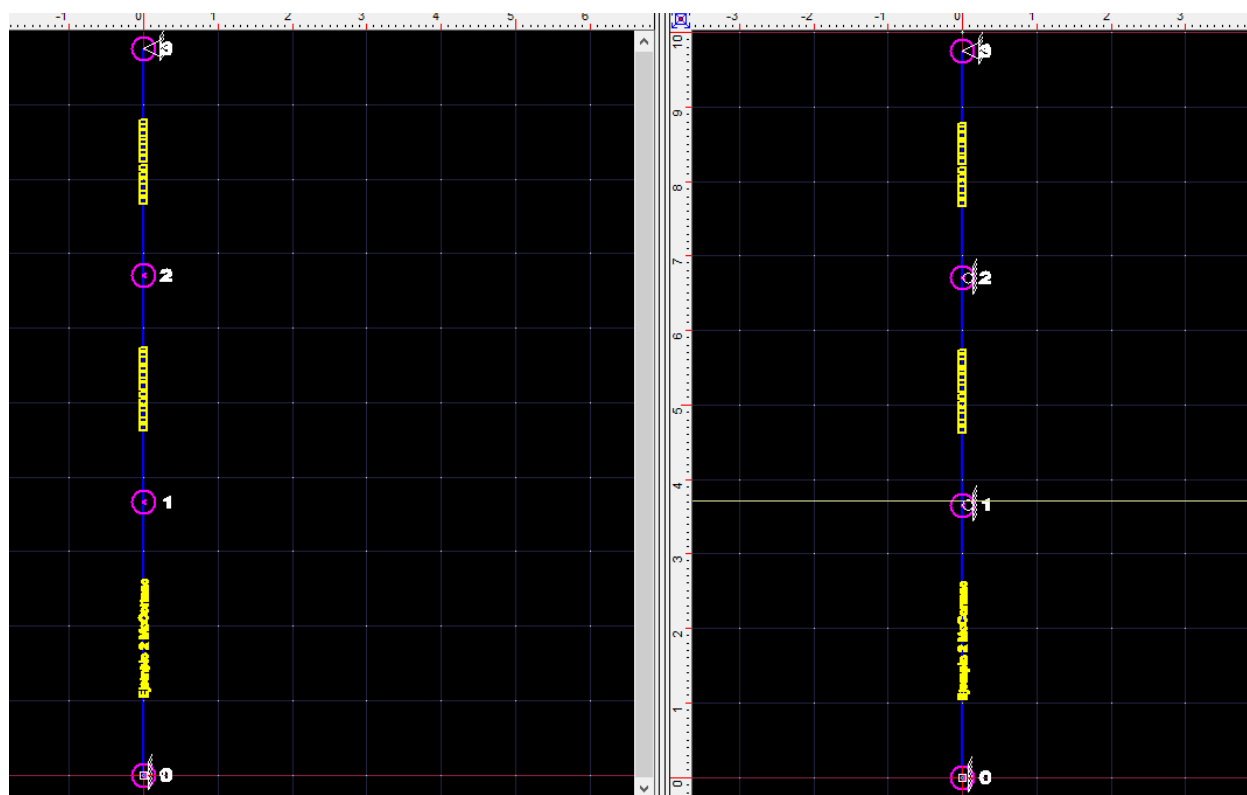
Resultados de las propiedades geométricas en el software Koutetsu para un perfil W14X90



Luego, se crea el modelo gráfico de la columna con sus respectivos apoyos. Se debe tener en cuenta que es el eje X quien no tiene apoyos intermedios que restrinjan el pandeo.

Figura 134

Modelo gráfico de la columna del ejemplo 3



En este ejemplo ya no es el mismo modelo en ambos planos, porque tienen condiciones de apoyo distintas. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 424

Resultados obtenidos en el software Koutetsu para el ejemplo 3

ID e	Nombre seccion	Nombre perfil	L elemento (ft)	L tramo X (tf)	Kx	Qx	R_esb_x	Fcrx (ksi)	ϕP_{nx} (klb)	L tramo Y (tf)	Ky	Qy	R_esb_y	Fcry (ksi)	ϕP_{ny} (klb)	Qs	Qa_x	Qa_y	Q	fcr_tor (ksi)	ϕP_{n_tor} (klb)	ϕP_n (klb)
A	Ejemplo 2 McCormac	W14X90	12	32	0.80	1.00	50.078	42.143	1002.609	12	0.80	1.00	31.178	47.23	1123.646	1.0	1.0	1.0	1.0	47.142	1121.55	1002.609
B	Ejemplo 2 McCormac	W14X90	10	32	0.80	1.00	50.078	42.143	1002.609	10	1.00	1.00	32.477	46.941	1116.771	1.0	1.0	1.0	1.0	46.883	1115.39	1002.609
C	Ejemplo 2 McCormac	W14X90	10	32	0.80	1.00	50.078	42.143	1002.609	10	1.00	1.00	32.477	46.941	1116.771	1.0	1.0	1.0	1.0	46.883	1115.39	1002.609

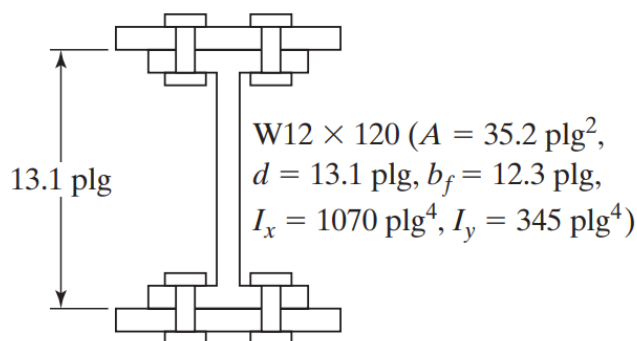
Se observa que la resistencia del ejemplo es de 993 kips y el de Koutetsu es de 1002.609 kips, en consecuencia, la variación es del 0.97% y esto no es significativo.

6.1.5. Perfil tipo IR sin pendiente

Se tomó un ejemplo realizado en el libro de McCormac & Csernak (2013) para chequear los resultados del software Koutetsu.

Figura 135

Ejemplo de diseño 4 tomado de McCormac & Csernak (2013)



Nota. Adaptado de Sección W usada como columna con cubre placas, J.C McCormac & S, F Csernak, 2013. Alfaomega Grupo Editor.

Datos: $F_y = \frac{50 \text{ klb}}{\text{plg}^2}$, $KL = 14 \text{ ft}$, Placa de $16 \times 1/2$, $P_u = 2500 \text{ Klb}$

Figura 136

Resultados dados por McCormac & Csernak (2013)

$$-A \text{ de } W12 \times 120 = -35.30$$

A estimada de 2 placas = 31.37 plg² o 15.69 plg² cada una

Ensaye una PL1 × 16 en cada patín

$$A = 35.20 + (2)(1)(16) = 67.20 \text{ plg}^2$$

$$I_x = 1070 + (2)(16)\left(\frac{13.1 + 1.00}{2}\right)^2 = 2660 \text{ plg}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{2660}{67.20}} = 6.29 \text{ plg}$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_x = \frac{(12 \text{ plg/pie})(14 \text{ pies})}{6.29 \text{ plg}} = 26.71$$

$$I_y = 345 + (2)\left(\frac{1}{12}\right)(1)(16)^3 = 1027.7 \text{ plg}^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{1027.7}{67.20}} = 3.91 \text{ plg}$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_y = \frac{(12 \text{ plg/pie})(14 \text{ pies})}{3.91 \text{ plg}} = 42.97 \leftarrow$$

Calculando la relación de esbeltez modificada se obtiene

$$r_i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{12}\right)(16)(1)^3}{(1)(16)}} = 0.289 \text{ plg}$$

$$\frac{a}{r_i} = \frac{6 \text{ plg}}{0.289 \text{ plg}} = 20.76$$

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_x = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_0^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2} = \sqrt{(26.71)^2 + (20.76)^2} \text{ (Ecuación E6-1 del AISC)}$$

$$= 33.83 < 42.97 \therefore \text{no controla}$$

Revisando la relación de esbeltez de las placas, tenemos

$$\frac{k_a}{r_i} = 20.76 < \frac{3}{4}\left(\frac{KL}{r}\right)_y = \left(\frac{3}{4}\right)(42.97) = 32.23$$

$$\text{Para } \left(\frac{KL}{r}\right)_y = 42.97.$$

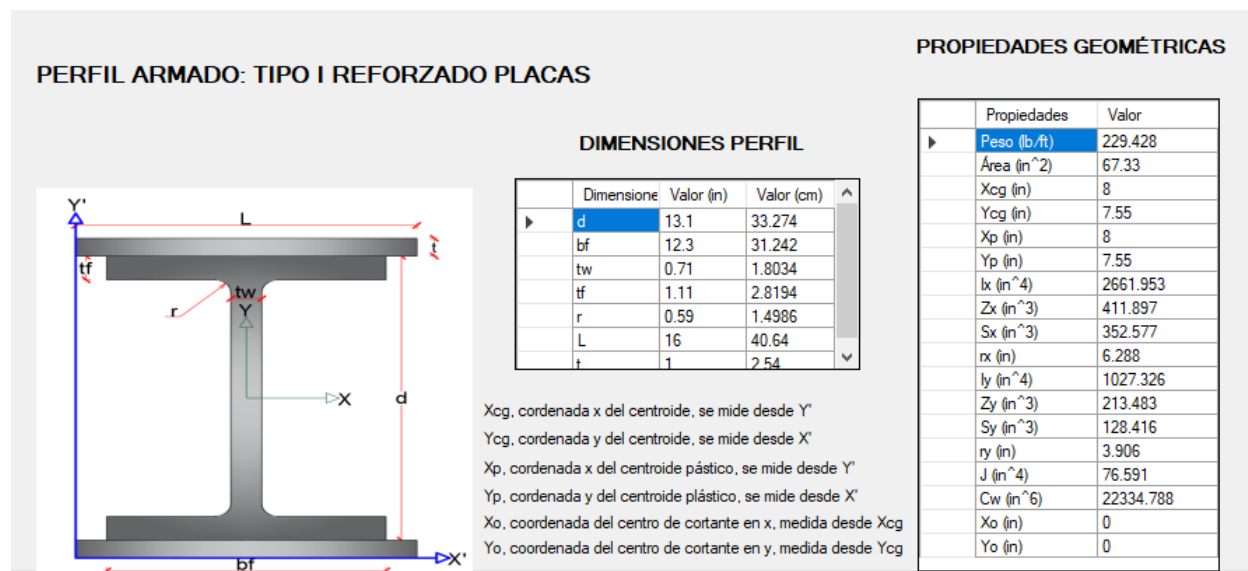
LRFD	ASD
$\phi_c F_{cr} = 39.31 \text{ klb/plg}^2$ de la Tabla 4-22, $F_y = 50 \text{ klb/plg}^2$	$F_{cr} = 26.2 \text{ klb/plg}^2$ de la Tabla 4-22, $F_y = 50 \text{ klb/plg}^2$
$\phi_c P_n = (39.31)(67.30) = 2646 \text{ klb} > 2500 \text{ klb}$	$P_n = (26.2)(67.30) = 1763 \text{ klb} > 1750 \text{ klb}$

Nota. La figura muestra los cálculos dados en el libro. Adaptado de J.C McCormac & S, F Csernak, 2013. Alfaomega Grupo Editor.

Teniendo en cuenta el ejemplo, se realiza la sección en el programa Koutetsu, obteniendo lo siguiente:

Figura 137

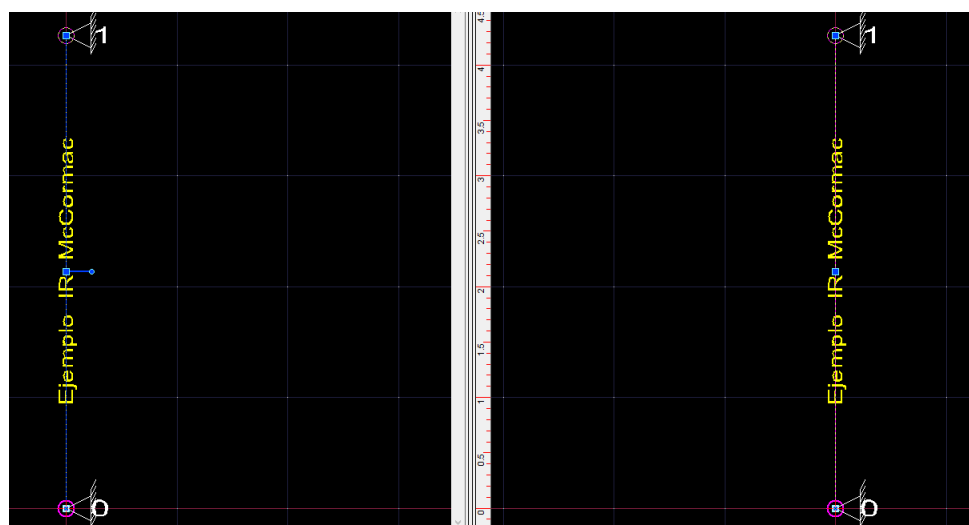
Resultados de las propiedades geométricas en el software Koutetsu para un perfil W12X12 y placa 16x1/2



Luego, se crea el modelo gráfico de la columna con sus respectivos apoyos. De tal manera que $KL=14$.

Figura 138

Modelo gráfico de la columna del ejemplo 4



En este sentido, los resultados dados por Koutetsu son:

Tabla 425

Resultados obtenidos en el software Koutetsu para el ejemplo 4

ID e	Nombre seccion	Nombre perfil	Lelemento (ft)	L tramo X (tf)	Kx	Qx	R_esb_x	Fcrx (ksi)	ϕP_{nx} (klb)	L tramo Y (tf)	Ky	Qy	R_esb_y	Fcry (ksi)	ϕP_{ny} (klb)
A	Ejemplo IR McCormac	Ejemplo IR	14	14	1	1	32.646	46.903	2842.167	14	1	1	43.009	44.252	2681.517

Qs	Qa_x	Qa_y	Q	fcr_tor (ksi)	ϕP_{n_tor} (klb)	ϕP_n (klb)	Pu (klb)	D/C
1	1	1	1	47.223	2861.579	2681.517	2500	0.932

Se observa que la resistencia del ejemplo es de 2646 klb y el de Koutetsu es de 2681.517 klb, en consecuencia, la variación es del 1.3% y esto no es significativo.

6.1.6. Perfil Tipo T sin pendiente

Figura 139

Ejemplo de diseño 5 tomado de McCormac & Csernak (2013)

Determine la resistencia nominal a la compresión, P_n , de una WT10.5 × 66 con $KL_x = 25$ pies y $KL_y = KL_z = 20$ pies. Use el enfoque general dado en la parte (b) de la Especificación E4(b) del AISC y acero A992.

Solución

Usando una WT10.5 × 66 ($A = 19.4 \text{ plg}^2$, $t_f = 1.04 \text{ plg}$, $I_x = 181 \text{ plg}^4$, $r_x = 3.06 \text{ plg}$,

$I_y = 166 \text{ plg}^4$, $r_y = 2.93 \text{ plg}$, $\bar{y} = 2.33 \text{ plg}$, $J = 5.62 \text{ plg}^4$, $C_w = 23.4 \text{ plg}^6$ y

$G = 11\,200 \text{ klb/plg}^2$)

Nota. Adaptado de Ejemplo 6-9, J.C McCormac & S, F Csernak, 2013. Alfaomega Grupo Editor.

Datos: $F_y = \frac{50 \text{ klb}}{\text{plg}^2}$

Tabla 426

Resultados dados por McCormac & Csernak (2013) ejemplo 5

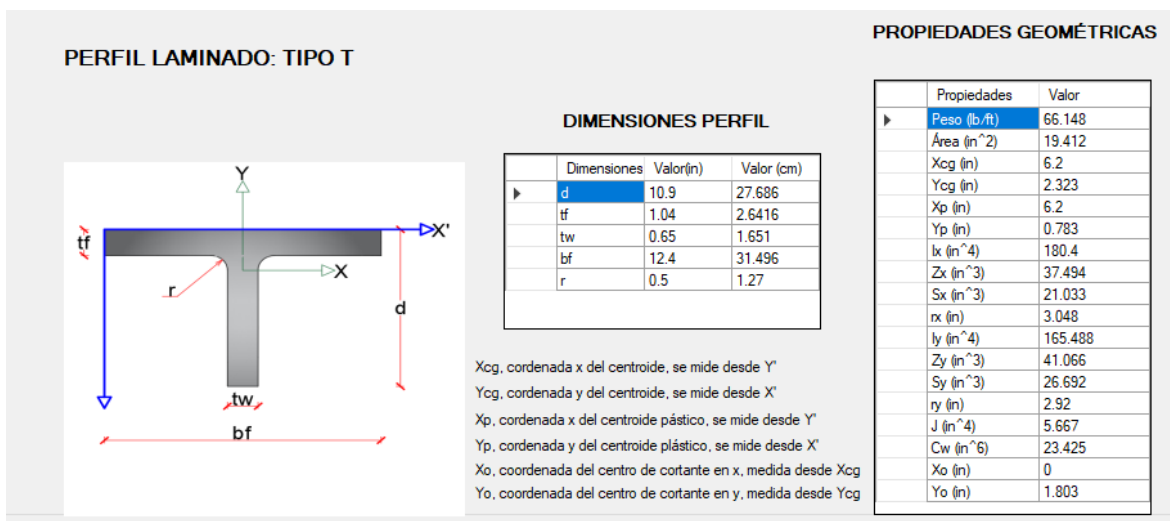
Nombre perfil	L*Kx	R_esb_x	Fcrx (ksi)	ϕP_{nx} (klb)	L*Ky	R_esb_y	Fcry (ksi)	ϕP_{ny} (klb)	fcr_tor (ksi)	ϕP_{n_tor} (klb)	ϕP_n (klb)
WT10.5X66	25	98.04	24.76	432.27	20	113.43	30.61	534.42	29.79	520.11	432.3

Nota. La tabla muestra un resumen de los datos calculados por McCormac & Csernak, 2013

Teniendo en cuenta el ejemplo, se realiza la sección en el programa Koutetsu, obteniendo lo siguiente:

Figura 140

Resultados de las propiedades geométricas en el software Koutetsu para un perfil WT10.5X66



En este sentido, los resultados dados por Koutetsu son:

Tabla 427

Resultados obtenidos en el software Koutetsu para el ejemplo 5

ID e	Nombre seccion	Nombre perfil	L elemento (ft)	L tramo X (tf)	Kx	Qx	R_esb_x	Fcrx (ksi)	ϕPn_x (klb)	L tramo Y (tf)	Ky	Qy	R_esb_y	Fcry (ksi)	ϕPn_y (klb)
A	Ejemplo WT McCormac	WT10.5X66	1	1	25	1	98.411	24.74	432.243	1	20	1	82.199	30.745	537.153

Qs	Qa_x	Qa_y	Q	fcr_tor (ksi)	ϕPn_{tor} (klb)	ϕPn (klb)
1	1	1	1	29.664	518.259	432.243

Se observa que la resistencia del ejemplo es de 432.3 klb y el de Koutetsu es de 432.243 klb, en consecuencia, la variación es del 0.0131% y esto no es significativo.

Cabe resaltar que el programa calcula la resistencia flexionante y la flexo-torsionate para cada elemento, considerando un K del tramo entre apoyos.

También se compararon columnas con CYPE 3D, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 428

Comparación con CYPE 3D

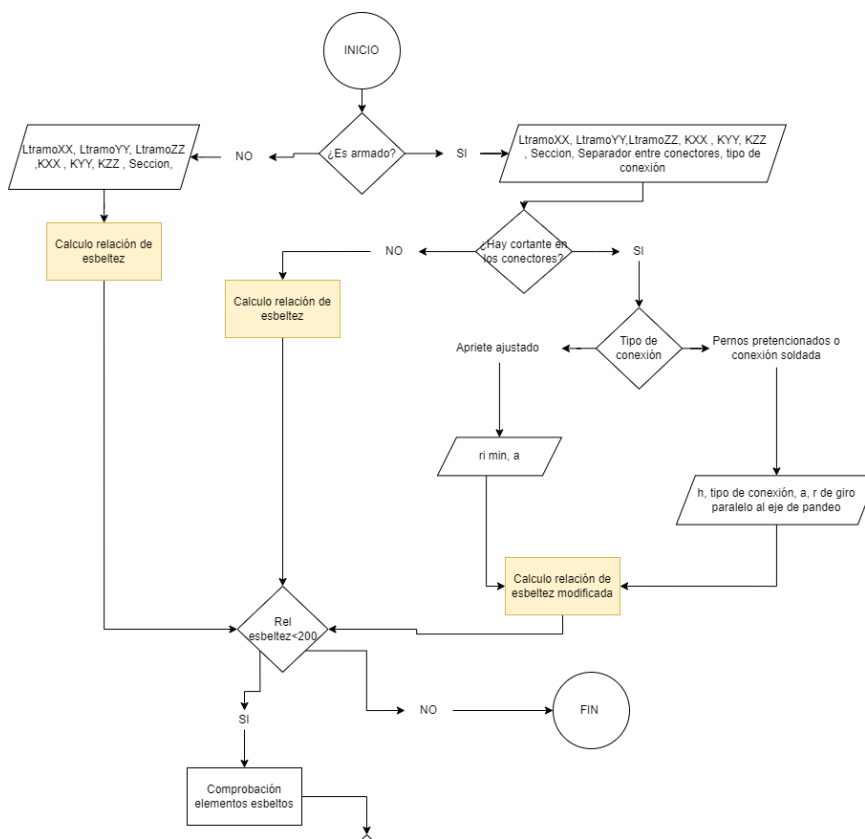
W30x108			WT18X91					
	Koutetsu	CYPE 3D	%Variación Cype		Koutetsu	CYPE 3D	%Variación Cype	
R_esb_y	53.371	53.50	0.241121495	R_esb_y	45.036	45.10	0.1419	R_esb_y
FCR Y	266.71	262.16	1.735581324	FCR Y	199.30	199.25	0.0251	FCR Y
ϕPny (kN)	4914.663	4825.5	1.847746348	ϕPny (kN)	3108.201	3100.65	0.2435	ϕPny (kN)

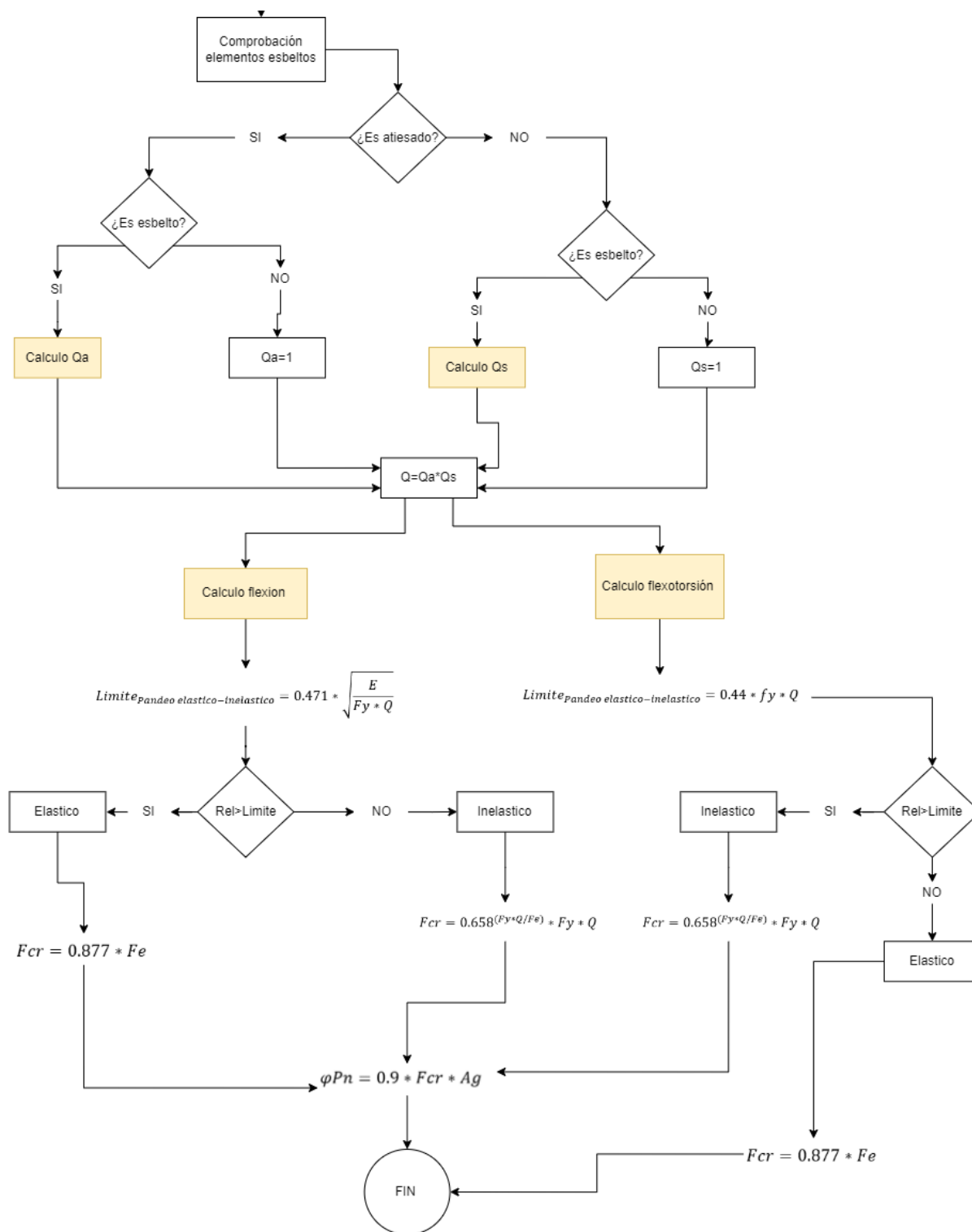
HSS14x6x5/16			PIPE 1-1/4STD				
	Koutetsu	CYPE 3D	%Variación Cype		Koutetsu	CYPE 3D	%Variación Cype
	45	45.2	0.4425	R_esb_y	26.09	26.1	0.0383
	286.06	278.35	2.7699	FCR Y	332.758	332.73	0.0084
	1836.00	1786	2.7996	ϕPny (kN)	2635.8	2689	1.9784

Para resumir, el software Koutetsu sigue el siguiente diagramas de flujo para el diseño de elementos a compresión pura.

Tabla 429

Diagrama de flujo diseño a Compresión pura





7. CONCLUSIONES

- Se creó un software para calcular las propiedades geométricas de los perfiles metálicos más usuales y el diseño a compresión pura para columnas.
- Se implementó un módulo para el ingreso de dimensiones de perfiles mediante plantillas definidas para cada tipo de perfil. El módulo permite el ingreso de dimensiones para perfiles individuales, además de catálogos acorde al usuario.
- Los tipos de perfiles que considera el programa son: perfiles laminados en caliente, conformados en frío, perfiles armados con perfiles laminados en caliente y con placas, y perfiles armados con perfiles conformados en frío.
- Se desarrolló una visualización gráfica de la columna con sus respectivas secciones y apoyos.
- Se calculó la resistencia a compresión con diferentes condiciones de apoyo en los planos XZ y YZ, automatizando el factor de longitud efectiva entre tramos, se considera pandeo flexionante, pandeo local y flexo-torsionante.
- Se realizó una búsqueda o se demostró las fórmulas para calcular las propiedades geométricas de los perfiles y se obtuvo un porcentaje de variación bajo con respecto a catálogos u otros programas.
- El programa permite la asignación de diferentes secciones en los elementos de la columna, la creación de nuevos materiales, el cambio de unidades.
- Si se presenta una columna donde su relación de esbeltez sea mayor a 200, la resistencia presentada por el software será de cero.

- El software permite calcular el esfuerzo crítico para perfiles angulares enfrentados, calculando el esfuerzo crítico mediante la solución de la ecuación cúbica que presenta la NSR-10.
- El programa permite determinar los coeficientes Q_s y Q_a de elementos atiesados y no atiesados.
- Para los perfiles armados con perfiles laminados en caliente y con placas que estén dispuestos frente a frente, la corrección de la relación de esbeltez en el eje “y” no se realiza, debido a que se considera que estos perfiles deben estar interconectados por cubre placas perforadas o por diagonales y presillas.

8. TRABAJOS FUTUROS

- Implementar un módulo para el análisis y diseño de cerchas y pórticos sometidos a compresión y tensión.
- Programar un diseñador de secciones para determinar las propiedades de los perfiles por medio de los elementos finitos.
- Realizar un código para determinar la resistencia a compresión y tensión de perfiles conformados en frío y perfiles armados con miembros armados en frío.
- Ampliar el código para poder diseñar miembros sometidos a flexión.
- Programar un código para determinar el coeficiente K de pórticos arriostrados contra el desplazamiento lateral y pórticos no arriostrados contra el desplazamiento lateral.
- Implementar un módulo que permita el diseño de las conexiones de los perfiles.
- Programar un módulo para el cálculo de la resistencia a cortante de los elementos.
- Implementar una visualización 3d del pandeo de los elementos.

9. BIBLIOGRAFÍA

AISC 2005/ ANSI 360–05. Specification for structural steel buildings. American Institute of Steel Construction, Chicago.

AISC360. (2016). Especificación para construcciones de acero. Estados Unidos: Alacero.

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo-Resistente, NSR-10. Bogotá, AIS, 2010

American Iron and Steel Institute, "AISI Manual -- Cold-Formed Steel Design, 2008 Edition" (2009). AISI-Specifications for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members. MISSOURI.

Barnes, D. J., Kölling, M., & Brenta, B. I. (2007). Programación orientada a objetos con Java. Pearson Educación.

Bahena, C. R. V., Muñoz, M. R. P., & Díaz, J. A. P. (2014). Determinación de los esfuerzos producidos por flexo-torsión. Caso de estudio: Análisis de las vigas metálicas de un puente grúa. Ingeniería y Región, 12, 105-127.

Beer F. P., Johnston R.E., DeWolf J. T. & Mazurek D. F. (2010). Mecánica de materiales. (J.E. Murrieta, Trad 5ª). Mc Graw Hill Education (Original work published 1982)

Benito Olmeda, J. L. & Carretero Pérez, J. (2010). Principios básicos de estructuras metálicas (2a. ed.). Delta Publicaciones. <https://elibro-net.acceso.unicauca.edu.co/es/lc/unicauca/titulos/170204>

Berrocal, L. O. (2007). Resistencia de materiales. McGraw-Hill.

Blanco, L. M. (2002). Programación en Visual Basic .NET. España. Visual Basic y .NET p, 29, 32-67.

- Björk, T., Ahola, A., & Skriko, T. (2020). On the distortion and warping of cantilever beams with hollow section. *Welding in the World*, 64, 1269-1278.
- Canadian Institute of Steel Construction. (2002). *Torsional Section Properties of Steel Shapes*. CISC.
- Ceballos Sierra, F. (2007). *Programación orientada a objetos con C++ (Vol. 3)*. Grupo Editorial RA-MA.
- Centro de e-Learning. (2022, agosto 25). ¿Cuántos lenguajes de programación existen? <https://blog.centrodelearning.com/2022/08/25/cuantos-lenguajes-de-programacion-existen/#:~:text=Hoy%20en%20d%C3%ADa%20existen%20cerca,solo%20lenguaje%20para%20su%20producto.>
- Cházaro Rosario, C. (2019). *DISEÑO BÁSICO DE ESTRUCTURAS DE ACERO métodos DEP/DFCR*. Valeria Giselle Uribe Pérez.
- Durán Francisco., Gutiérrez Francisco., & Pimentel Ernesto. (2007). *Programación orientada a objetos con Java*. Ediciones Paraninfo, SA.
- Eng-Tips Forums. (2019, July 18). Bearing steel 52100 SUJ2. Eng-Tips Forums. <https://www.eng-tips.com/viewthread.cfm?qid=455340>
- González Márquez, D. (2019). *Creación de una práctica de bases de datos relacionales con SQLite*.
- Hibbeler R.C. (2010). *Engineering mechanics: Statics*. (L.M. Cruz, Trad 12^a). Pearson Education, Inc. (Original work published 2010)
- Inca Chiroque, J. (2012). *Estudio del lenguaje de programación Haskell, ventajas y desventajas con respecto a otros lenguajes de programación*.

- Instituto nacional de Tecnología Industrial. (2005). REGLAMENTO ARGENTINO DE ESTRUCTURAS DE ACERO PARA EDIFICIOS. CIRSOC.
- Kraus, M., & Kindmann, R. (2009). St. Venants Torsion Constant of Hot Rolled Steel Profiles and Position of the Shear Centre. In Proceedings of 11th Nordic Steel Construction Conference (NSCC), Malmö, Sweden (pp. 454-461).
- Mackenzie, D., & Sharkey, K. (2003). Aprendiendo visual Basic. Net en 21 lecciones avanzadas. Pearson Educación.
- Marqués, A. M. (2011). Bases de Datos. Castellón de la Plana: Universitat Jaume I.
- McCormac, J. C., & Csernak, S. F. (2013). Diseño de estructuras de acero. México D.F: Alfaomega Grupo Editor, Quinta edición.
- Méndez Nava, E. M., & RAMÓN, G. (2006). Modelo de evaluación de metodologías para el desarrollo de software. Caracas, Venezuela.
- Monfort Lleonart, J. (2006). Estructuras metálicas para edificación, adaptado al CTE.
- Muradas, Y. (23 de marzo del 2018). SQLite para Android: la herramienta definitiva.
- Owens, Mike (2006). *The Definitive Guide to SQLite*. Apress. ISBN 1-59059-673-0.
- Pisco Gómez, Á., Regalado Jalca, J., Gutiérrez García, J., Quimis Sánchez, O., Marcillo Parrales, K., & Marcillo Merino, J. (2017). Fundamentos sobre la gestión de base de datos (Vol. 23). 3Ciencias.
- Rivas, C. I., Corona, V. P., Gutiérrez, J. F., & Hernández, L. (2015). Metodologías actuales de desarrollo de software. Revista de Tecnología e Innovación, 2(5), 980-986.
- Rodríguez Quiroz, W. X. (2018). Evaluación del comportamiento de una Estructura metálica Sismo resistente de siete niveles con Pórticos especiales a momento (pem), ubicando el proyecto en dos tipos de suelos “d” y “e” según la norma NEC 15 en la Ciudad de

- Guayaquil (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería Civil).
- Ruiz, M. C., & Díaz, E. B. (2015). Resistencia de materiales. CIMNE.
- R. Troglia, G. (2013). Estructuras metálicas: proyecto por estados límites: fundamentos, procedimientos y criterios de proyecto. Tomo I (7a. ed.). Jorge Sarmiento Editor - Universitas. <https://elibro-net.acceso.unicauca.edu.co/es/lc/unicauca/titulos/78894>
- Salazar Marín, E. A. (2006). Capacidad de carga de cilindros oleohidráulicos. Universitat Politècnica de Catalunya.
- SQLite. (s. f.). When to Use SQLite. Recuperado el 2 de marzo de 2023, de <https://www.sqlite.org/whentouse.html>
- TOMO15 Estructuras Tubulares. (s.f.). Instituto Técnico de la Estructura en Acero (ITEA). Recuperado de http://www.webaero.net/ingenieria/estructuras/metallica/bibliografia_documentacion/itea/TOMO15.pdf
- The Steel Construction Institute (SCI) (2011). Design of Steel Beams in Torsion in accordance with Eurocodes and the UK National Annexes
- The Steel Construction Institute (SCI). (2015). Steel Building Design: Design Data in accordance with Eurocodes and the UK National Annexes
- Urbán Brotóns, P. (2010). Construcción de estructuras metálicas (4a. ed.). ECU. <https://elibro-net.acceso.unicauca.edu.co/es/lc/unicauca/titulos/55066>
- Vasquez, I. (2005). Tipos de estudio y métodos de investigación. Tipos de estudio y métodos de investigación4.

Zambrano Salazar, L. L. (2022). Desarrollo de un software para el diseño de vigas y columnas metálicas de acero conforme a la normativa AISC 360-16 (Master's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas).

10. CITAS SECUNDARIAS

Beedle, L. S., & Tall, L. (1959). Basic column strength. Original manuscript for " Basic Column Strength," September 1959 and publications Proc. ASCE, 86 (ST7), p. 139,(July 1960).