



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE CERCHAS
METÁLICAS CON CARGA AXIAL VARIABLE**

Autor
Daniel Alejandro Arboleda Barrera

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2019



Capacidad Estructural de Cerchas Metálicas con Carga Axial Variable

Daniel Alejandro Arboleda Barrera

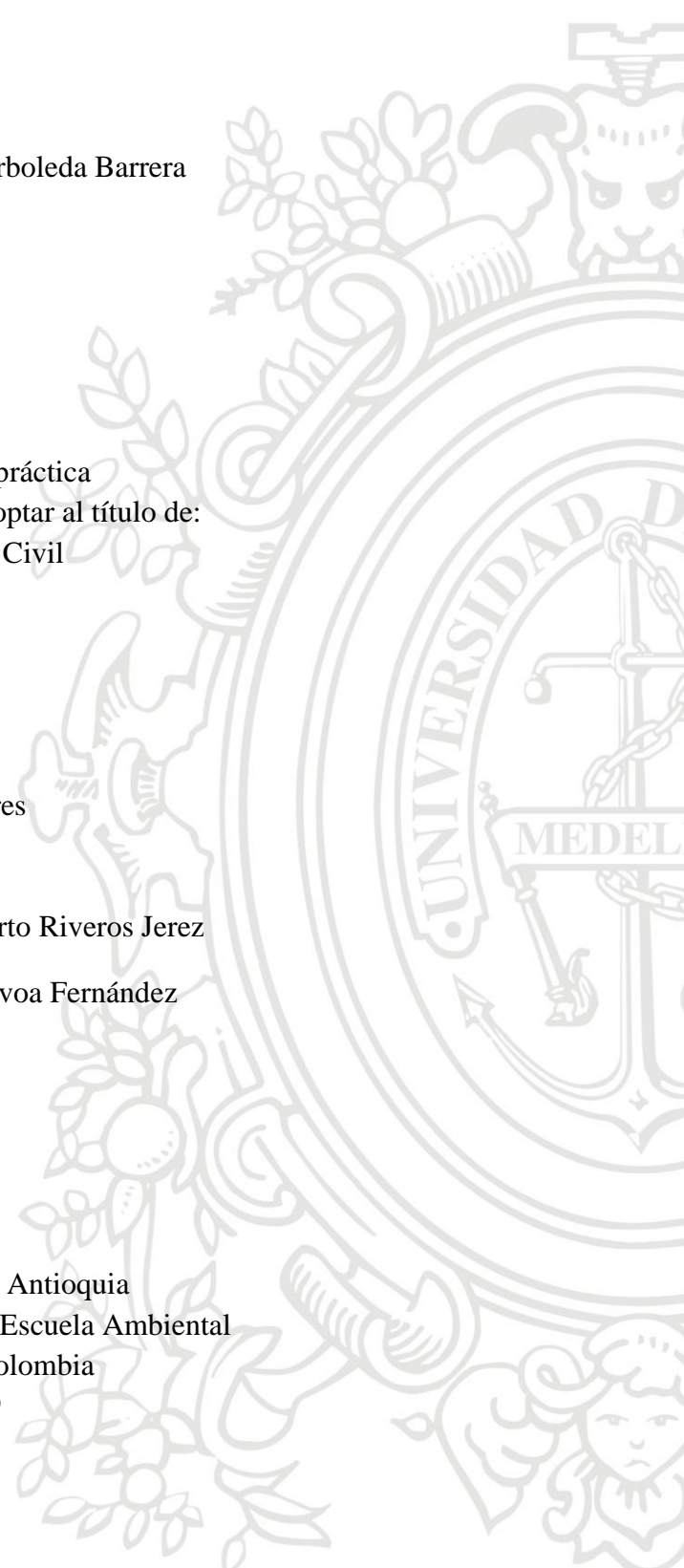
Informe de práctica
como requisito para optar al título de:
Ingeniero Civil

Asesores

Dr. Eng. Carlos Alberto Riveros Jerez

Ing. Leonardo Novoa Fernández

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2019



Agradecimientos

Primero quiero agradecer a Dios por haberme permitido llegar a estas instancias de mi vida, por la capacidad que me ha dado de salir adelante y las personas que puso en mi camino.

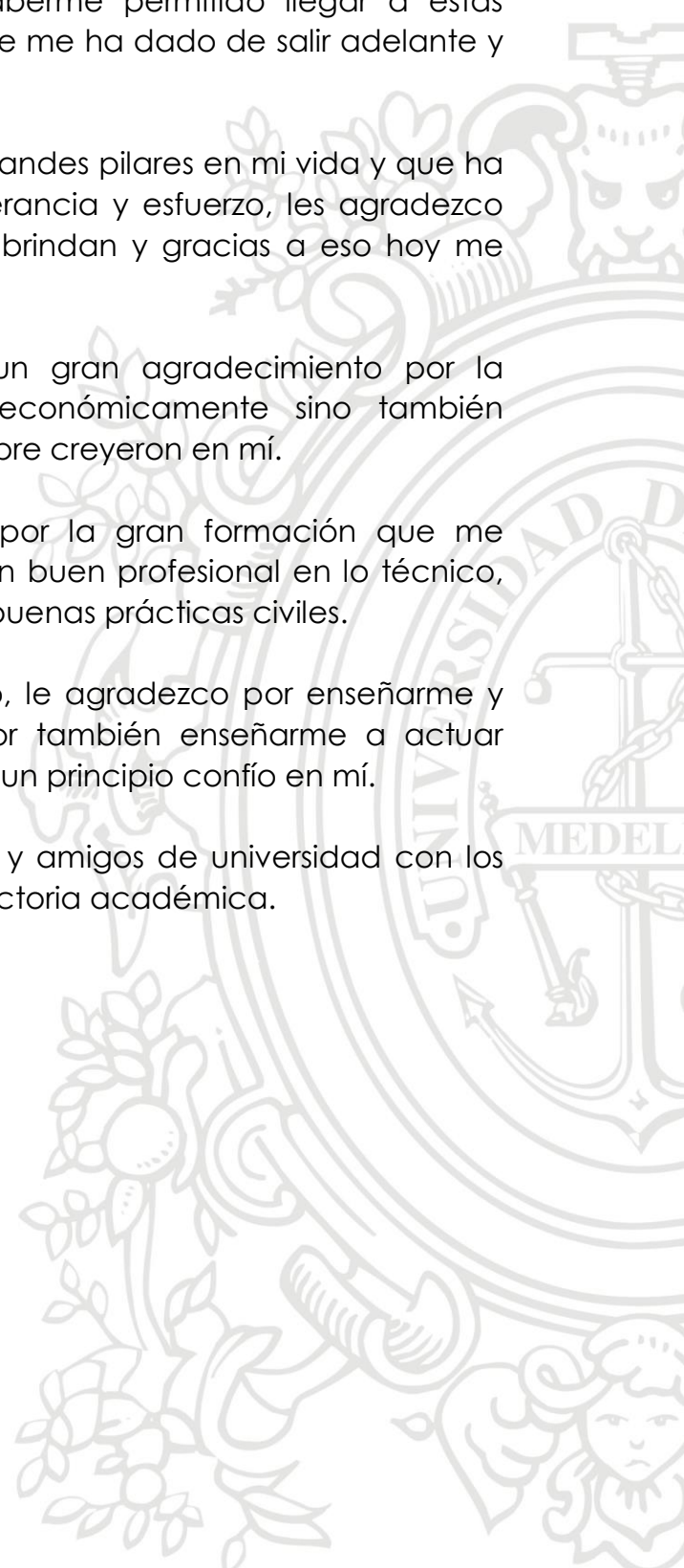
A mi madre y mi hermano por ser los dos grandes pilares en mi vida y que ha significado mi etapa de madurez, perseverancia y esfuerzo, les agradezco inmensamente por todo el amor que me brindan y gracias a eso hoy me encuentro en esta etapa de mi vida

A los jefes de mi madre les extiendo un gran agradecimiento por la oportunidad que me dieron, no solo económicamente sino también motivacional y que en todo momento siempre creyeron en mí.

Al profesor Carlos Riveros le agradezco por la gran formación que me inculcó, ya que no solo me formó como un buen profesional en lo técnico, sino también en lo personal, ético y en las buenas prácticas civiles.

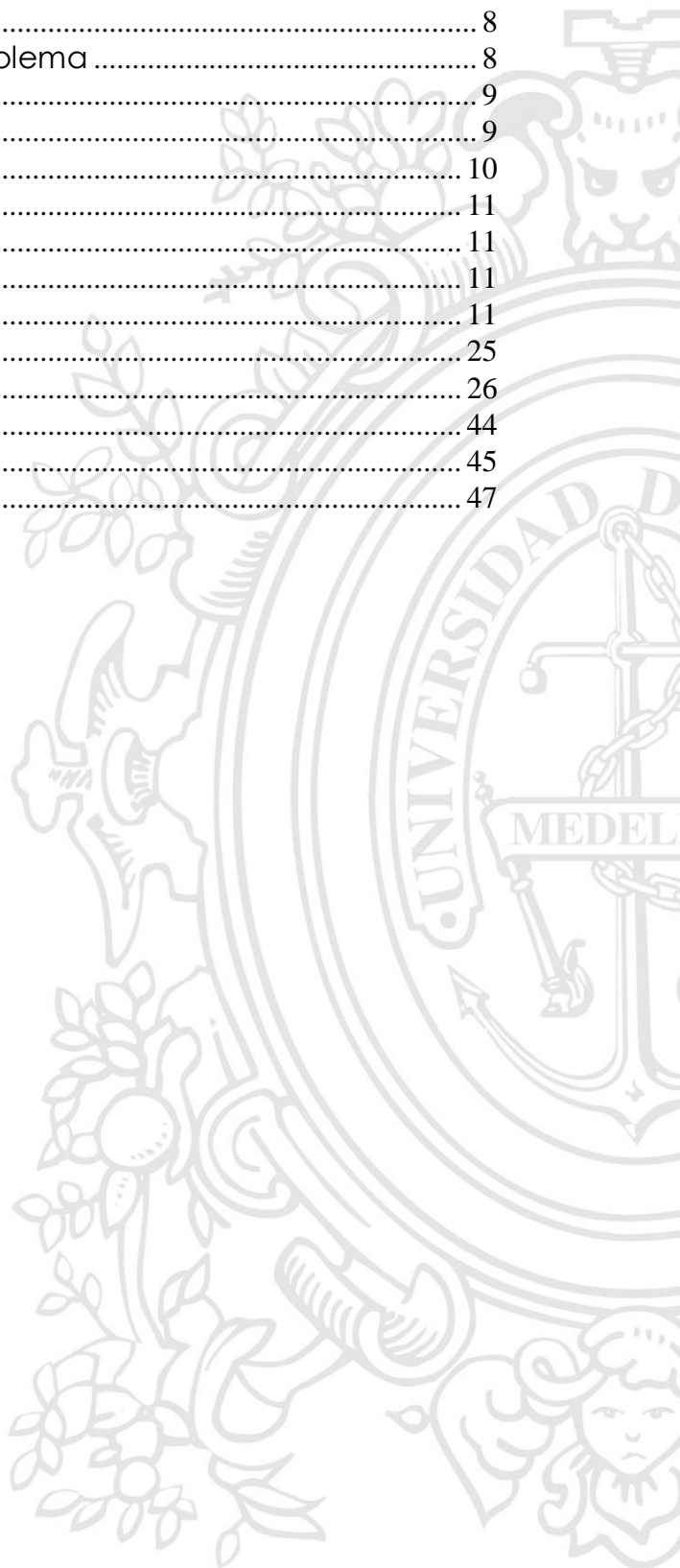
Al Ing. Leonardo Novoa, mi asesor externo, le agradezco por enseñarme y abrirme las puertas al mundo laboral, por también enseñarme a actuar siempre haciendo lo correcto, y que desde un principio confío en mí.

Finalmente, agradezco a mis compañeros y amigos de universidad con los cuales compartí y aprendí en toda mi trayectoria académica.



Contenido

1	Resumen.....	7
2	Introducción.....	8
2.1	Antecedentes y formulación del problema	8
2.2	Alcance	9
2.3	Limitaciones	9
2.4	Importancia	10
3	Objetivos	11
3.1	Objetivo General.....	11
3.2	Objetivos Específicos.....	11
4	Marco Teórico	11
5	Metodología	25
6	Resultados y análisis	26
7	Conclusiones.....	44
8	Referencias Bibliográficas.....	45
9	Anexos	47



Lista de Figuras

Figura 1. Cerchas de estudio, a la izquierda en forma de ángulos enfrentados y a la derecha ángulos espalda con espalda	12
Figura 2. Cerchas de estudio, a la izquierda en forma de perfil I acostado y a la derecha con medio perfil I	12
Figura 3. Descripción de los elementos que hacen parte de una armadura... ..	13
Figura 4. Cercha tipo 1	13
Figura 5. Cercha tipo 2.....	14
Figura 6. Factores de longitud efectiva	14
Figura 7. Esquema de la falla por pandeo	15
Figura 8. Modelo propuesto por Shrivastava para determinar la carga crítica de pandeo.....	16
Figura 9. Numeración de las piezas de la armadura considerada para la verificación del programa	28
Figura 10. Porcentajes de utilización de la armadura considerada para la verificación del programa	29
Figura 11. Numeración y geometría de la armadura.....	34



Lista de Tablas

Tabla 1. Valores límite de la relación ancho a espesor para elementos de miembros a compresión.....	18
Tabla 2. Propiedades de secciones para el pandeo lateral torsional.....	24
Tabla 3. Interfaz del ingreso de la geometría de la estructura	27
Tabla 4. Interfaz del ingreso de las fuerzas internas de la estructura	27
Tabla 5. Interfaz de diseño de la cercha	28
Tabla 6. Porcentajes de utilización de la cercha de verificación diseñada en la hoja de cálculo	29
Tabla 7. Porcentaje de error por diferencia entre valores de los dos programas de diseño.....	30
Tabla 8. Relación de esbeltez para la cercha de verificación pero con ángulos enfrentados	31
Tabla 9. Verificación de estado límite de tensión para la cercha con ángulos enfrentados	32
Tabla 10. Verificación de estado límite de compresión para la cercha con ángulos enfrentados.....	32
Tabla 11. Porcentaje de utilización global y peso de la cercha con medio perfil l.....	33
Tabla 12. Porcentaje de utilización global y peso de la armadura con ángulos enfrentados.	34
Tabla 13. Perfiles asignados y verificación del límite de esbeltez.	35
Tabla 14. Verificación del estado límite de tensión.....	36
Tabla 15. Verificación del estado límite de compresión.....	37
Tabla 16. Parámetros de ingreso para aplicar Shrivastava a la armadura.....	38
Tabla 17. Asignación de perfiles y chequeo del límite de esbeltez aplicando Shrivastava.....	39
Tabla 18. Chequeo del estado límite de tensión aplicando Shrivastava.....	40
Tabla 19. Chequeo del estado límite de compresión aplicando Shrivastava... ..	41
Tabla 20. Porcentaje de utilización global peso de la armadura sin considerar Shrivastava.....	42
Tabla 21. Porcentaje de utilización global peso de la armadura aplicando Shrivastava.....	43

CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE CERCHAS METALICAS CON CARGA AXIAL VARIABLE

1 Resumen

Las cerchas de acero son estructuras que se usan principalmente en cubiertas de naves industriales o coliseos, en puentes y en otras estructuras. Debido a las diferentes configuraciones geométricas y arquitectónicas, a la facilidad de diseño y a los tiempos de construcción son consideradas muy eficientes como solución estructural y arquitectónica. La modelación estructural también es sencilla ya que permite realizar un análisis en dos dimensiones, y generar elementos sometidos principalmente a cargas axiales; sin embargo, los programas de diseño pueden tener limitaciones con el tipo de sección transversal de la cercha, por ejemplo, el programa STAAD.Pro [11] no tiene posibilidad de diseñar cerchas con ángulos enfrentados, la cual es muy eficiente por tener mayor rigidez a pandeo por flexión con respecto al eje y-y (pandeo fuera del plano), por ende, surgió la necesidad de realizar una hoja de cálculo para diseñar este tipo de cercha por medio de la propuesta de cálculo de Garza [4].

Por otro lado, se buscó optimizar el diseño de las cerchas, sabiendo que el diseño a compresión de los elementos puede ser conservador, por considerar longitudes efectivas mayores para los elementos que se pandean fuera del plano, esto principalmente sucede en las cuerdas en compresión que se encuentran arriostradas lateralmente a grandes luces, por lo tanto, si se considera las variaciones de fuerza interna en el cordón comprimido, o el aporte en rigidez que le dan los miembros conectados a este elemento (diagonales y paralelos) se puede reducir la longitud de pandeo. Por lo cual, se decidió adaptar la hoja de cálculo para implementar de forma alternativa el aporte que genera la variación de las cargas internas, empleando el método de Shrivastava [3].

Finalmente, se obtuvieron resultados satisfactorios. Primero, se pudo extender la hoja de cálculo para diferentes tipos de cercha, no solo para ángulos enfrentados, sino también para ángulos espalda con espalda, para medio o completo perfil I. Segundo, se pudo corroborar el buen funcionamiento de la hoja de cálculo comparando los porcentajes de utilización de una cercha diseñada en STAAD.Pro [11] con la diseñada en la hoja, para el cual se obtuvo un margen de error del 2%. Tercero, se encontró que aplicando el método de Shrivastava [3] para la cuerda comprimida se pudo optimizar el diseño, haciéndolo más económico, y además permitió hacer un despiece más uniforme en toda la longitud de la cuerda.

Palabras clave: Cerchas, Armaduras, Ángulos, Cuerda, Compresión.

2 Introducción

Es común que las construcciones verticales en Colombia sean diseñadas en hormigón reforzado, en especial las edificaciones de uso residencial; sin embargo, las estructuras metálicas tienen un campo más aplicativo en la industria o comercio, tales como, naves industriales, coliseos, puentes, cubiertas, etc. Es decir, lugares donde puede haber grandes aglomeraciones de personas y/o materiales, o también se requiera un uso más funcional de espacios libres con grandes luces.

Este trabajo consiste esencialmente en el diseño y la optimización de cerchas en acero. En el caso del diseño de cerchas se observa que es comúnmente controlado por los elementos sometidos a compresión, debido a los efectos de pandeo que se generan por dicha solicitud, y es ahí donde se puede optimizar el diseño de cerchas, ya que se puede aplicar la teoría de Shrivastava [3] para cargas axiales variables.

El resultado principal es presentar la memoria de cálculo con los diferentes porcentajes de utilización de una armadura típica en acero, por lo cual la importancia y aplicación de este trabajo es aportar con diseños más eficientes, ágiles y económicos.

2.1 Antecedentes y formulación del problema

Los softwares de diseño tienen bases de datos con mucha variedad de perfiles y secciones geométricas, en nuestro caso la empresa maneja el software STAAD.Pro [11], sin embargo, no tiene incorporado secciones angulares con ángulos enfrentados, esto debido a que es más común utilizar ángulos dobles pero espalda con espalda; sin embargo, en Colombia es usual utilizar esta forma con los ángulos separados, e incluso no unidos por su espalda sino por el frente, aunque surge el problema, como determinar la capacidad estructural de un miembro armado, para ello se estudia el artículo "Resistencia a la compresión de ángulos dobles separados" [4], el cual presenta la ecuación de la esbeltez modificada de la sección angular.

Por otro lado, dado que las cerchas están principalmente sometidas a fuerzas axiales, esto debido a su configuración geométrica, a su sistema de apoyo que por lo general es un apoyo articulado y otro móvil, y a la forma como se cargan estos elementos, buscando que la línea de acción de las cargas pasen por los nudos de la armadura, y así evitar generar esfuerzos de flexión y/o cortante en los elementos; por lo tanto, la respuesta esperada de una cercha bajo fuerzas gravitacionales es que la cuerda superior este

sometida a fuerzas de compresión variable, el cordón inferior a esfuerzos de tensión variables, y las diagonales y paralelas a esfuerzos axiales. Se ha realizado estudios con respecto a la variación de cargas en las cuerdas en compresión de cerchas, por ejemplo, Shrivastava [3] realizó un modelo matemático para determinar la carga crítica de pandeo considerando los efectos por variación de las fuerzas axiales.

2.2 Alcance

El proyecto se centra en el diseño de estructuras de acero tipo armadura con las siguientes configuraciones: ángulos enfrentados, ángulos espalda con espalda o cerchas con medio perfil en I, etc. En la Figura 1 y 2 se puede apreciar los diferentes tipos de cerchas que se estudiarán, los cuales son de uso común en nuestro medio. El alcance del proyecto es validar por el método de LRFD (Load and Resistance Factor Design) [2] y el cumplimiento de la NSR-10 [1] los siguientes estados límites: a) Resistencia a la compresión, b) Resistencia a la tensión, c) Límite de esbeltez. Cada estado límite es chequeado para cada elemento de la estructura. Finalmente, el propósito de este trabajo es utilizar el programa STAAD.Pro [11]. para calcular las resistencias requeridas suministradas por el análisis estructural del modelo, y por otro lado realizar una hoja de cálculo en Excel [12] que calcule la carga crítica de pandeo elástico, y adicional si desea aplicar la teoría de Shrivastava [3] a los elementos de la armadura que presente carga axial variable con el fin de incrementar la carga crítica de pandeo.

2.3 Limitaciones

Es importante mencionar las limitaciones que se deben tener presente al momento de utilizar la hoja de cálculo, las cuales son:

- a) La hoja de cálculo permite diseñar un máximo de 400 elementos, los cuales incluyen cuerdas entre nudos, diagonales, y paralelas.
- b) Aunque la NSR-10 [1] permite determinar la resistencia a la compresión para miembros con elementos esbeltos, se optó por restringir el diseño únicamente para miembros clasificados sin elementos esbeltos.
- c) La aplicación de "Shrivastava" [3] es únicamente para las cuerdas bajo carga axial de compresión variable y se limitó a un máximo de 5 tramos de cuerda que se encuentren arriostrados lateralmente.

c) Considerar que el diseño puede ser controlado también por solicitudes de servicio (deflexiones) y no únicamente resistencia, por lo tanto, se recomienda verificar deflexiones en STAAD.Pro [11] u otro programa.

2.4 Importancia

Como se ha mencionado anteriormente las cerchas tienen una aplicación importante en estructuras de gran magnitud y luz, por lo cual, su aplicación es representativa en estructuras de cubiertas, puentes, torres eléctricas, etc. Por tanto, la elección del tipo de cercha a utilizar en un proyecto depende de las cargas y la luz, o simplemente es un criterio arquitectónico y/o económico, entonces, es importante contar con variedades en el diseño, y sabiendo que la cercha formada por ángulos enfrentados son de uso común en Colombia y además la ventaja por tener mayor rigidez a pandeo por flexión con respecto al eje y-y por lo general el eje débil, y debido a que es normal que la restricción lateral contra pandeo fuera de plano se encuentre a distancias considerables, lo convierte en la dirección posible de pandeo de la armadura. Dado que la cercha formada por ángulos enfrentados no es muy común en los software de diseño estructural, por lo tanto, la importancia de realizar una hoja de cálculo que determine la capacidad estructural de estos elementos.

También la importancia de este proyecto radica en hacer diseños más óptimos, para ello se observó que las fuerzas axiales de las cuerdas varían a lo largo de su longitud lo que permite aplicar la teoría de Shrivastava [3] que, consiste en aplicar un modelo matemático el cual considera las cargas axiales variable del cordón comprimido para así determinar la fuerza crítica de pandeo, por lo tanto, la utilidad de considerar dicho aporte hace que el diseño sea más económico y práctico, ya que es usual realizar despieces a lo largo de la longitud de la cuerda variando los perfiles, entonces la ventaja principal sería manejar un único perfil a lo largo de la cuerda, lo cual podría ser mucho más práctico, económico y eficiente al momento de fabricación de la armadura.

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

- Automatizar y optimizar el proceso de diseño de armaduras (cerchas) sometidos a carga axial y a su fenómeno de pandeo, cumpliendo con los estados límites de resistencia y esbeltez dados por la normativa sísmo resistente colombiana NSR-10 [1].

3.2 Objetivos Específicos

- Obtener del análisis estructural modelado en STAAD.Pro [11] los tipos de esfuerzos principales que estaría sometido las piezas de una estructura.
- Clasificar los miembros de la estructura como elementos atiesados o no atiesados, compactos y/o esbeltos.
- Determinar el estado límite que controla el diseño del elemento.
- Obtener la memoria de cálculo detallada con todos los estados límites chequeados, cumpliendo la normativa vigente, NSR-10 [1].

4 Marco Teórico

Para entender el comportamiento de las cerchas es primordial entender la condiciones con las que se modela la estructura, ya que no es lo mismo si se plantea como una estructura simplemente apoyada, es decir, que tiene un apoyo fijo y otro móvil (un problema estáticamente determinado) o a si se diseña como una armadura con apoyos continuos (un problema de análisis hiperestático), sin embargo, con los software de análisis evaluar cualesquiera de las dos condiciones no es una tarea compleja, pero a modo de ilustración se presentará el comportamiento de una armadura simplemente apoyada sometida bajo cargas gravitacionales. Una armadura se puede definir como un conjunto de elementos lineales arreglados en forma de triángulo, o combinaciones de triángulos, que da a lugar a una estructura rígida y plana (Vinnakota, 2006).



Figura 1. Cerchas de estudio, a la izquierda en forma de ángulos enfrentados y a la derecha ángulos espalda con espalda. Fuente: <http://www.arquitecturaenacero.org>

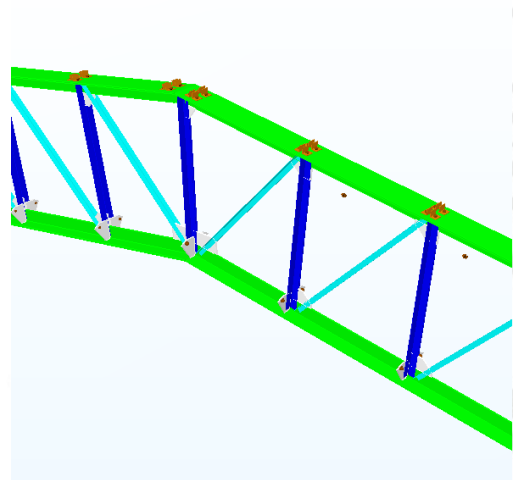
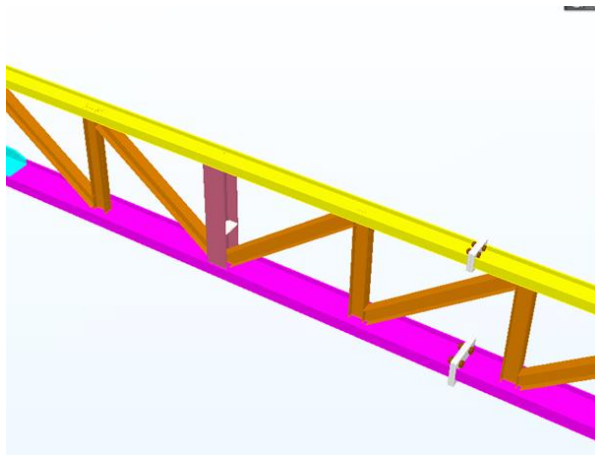


Figura 2. Cerchas de estudio, a la izquierda en forma de perfil I acostado y a la derecha con medio perfil I. Fuente de Industrial Concreto (ICC)

Las cerchas se componen por los siguientes elementos: cuerda superior, cuerda inferior y miembros del alma (ver Figura 3). Los miembros del alma son las diagonales y verticales (o paralelas) que forman la configuración triangular con las cuerdas. El punto de unión de los elementos se llama nudo. La longitud libre de la armadura es decir, tramo de la cuerda que no presenta restricción fuera del plano es conocida como longitud sin arriostrar. El arriostramiento es generado por un elemento (correas, tornapuntas, vigas, etc.) que llega perpendicular a la cuerda.

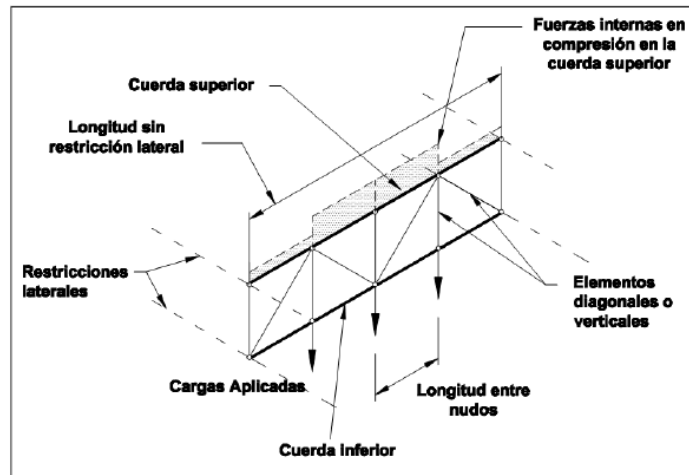


Figura 3. Descripción de los elementos que hacen parte de una armadura. Fuente: (Longitud efectiva de pandeo en elementos de cerchas de acero, 2012) [13]

En las cerchas se busca que la aplicación de la carga externas sea sobre los nudos, con el propósito de evitar efectos de flexión y/o cortante considerables y así poder tener el comportamiento deseado, que trabaje como un elemento tipo "truss", es decir, el diagrama de fuerzas internas es puramente axial [8]. La importancia de la configuración geométrica influye en la distribución de las cargas, En las siguientes figuras se presentan dos cerchas sometidas a la misma carga gravitacional y con la misma longitud, pero con diferente disposición geométrica, se puede apreciar que las cuerda superior para las dos cerchas se encuentra bajo una carga de compresión (color rojo) variable, mientras la cuerda inferior una carga de tensión (color azul) variable, pero el comportamiento de las diagonales y vertical es diferente en ambas cerchas, la disposición ideal es que las diagonales absorban fuerzas en tensión y los paralelos de compresión, por lo tanto la cercha 1 daría un diseño más eficiente y económico.

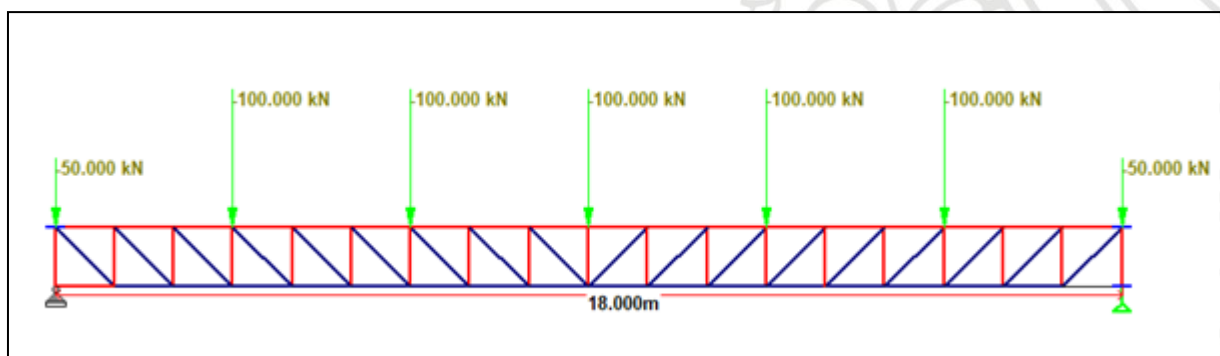


Figura 4. Cercha tipo 1. Fuente propia. Armadura modelada en STAAD [11]

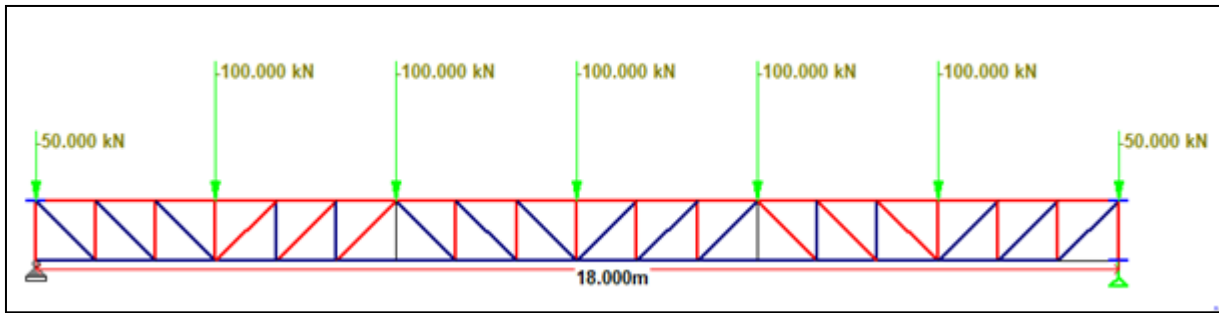


Figura 5. Cercha tipo 2. Fuente propia. Armadura modelada en STAAD [11]

De lo definido anteriormente se puede observar que las cerchas trabajan únicamente bajo fuerzas axiales, y que en particular las cuerdas se encuentran sometidas a cargas axiales variables, lo cual sirve para presentar la teoría de Shrivastava [3], para ello primero se darán algunas definiciones generales.

- **Longitud efectiva de pandeo:** Está determinada por un factor de longitud (K), el cual se toma como un valor de 1 para elementos articulados (ver Figura 6). Y también depende de la longitud no arriostrada del miembro en el plano en que se considere pandeo (L_x , L_y) (ver Figura 7).

Valores aproximados del factor de longitud efectiva, K						
La forma pandeada de la columna se presenta en línea de puntos	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor teórico de K	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valor recomendado para diseño cuando se aproximan las condiciones ideales	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Condiciones de apoyo						

Figura 6. Factores de longitud efectiva. Fuente: AISC [2]

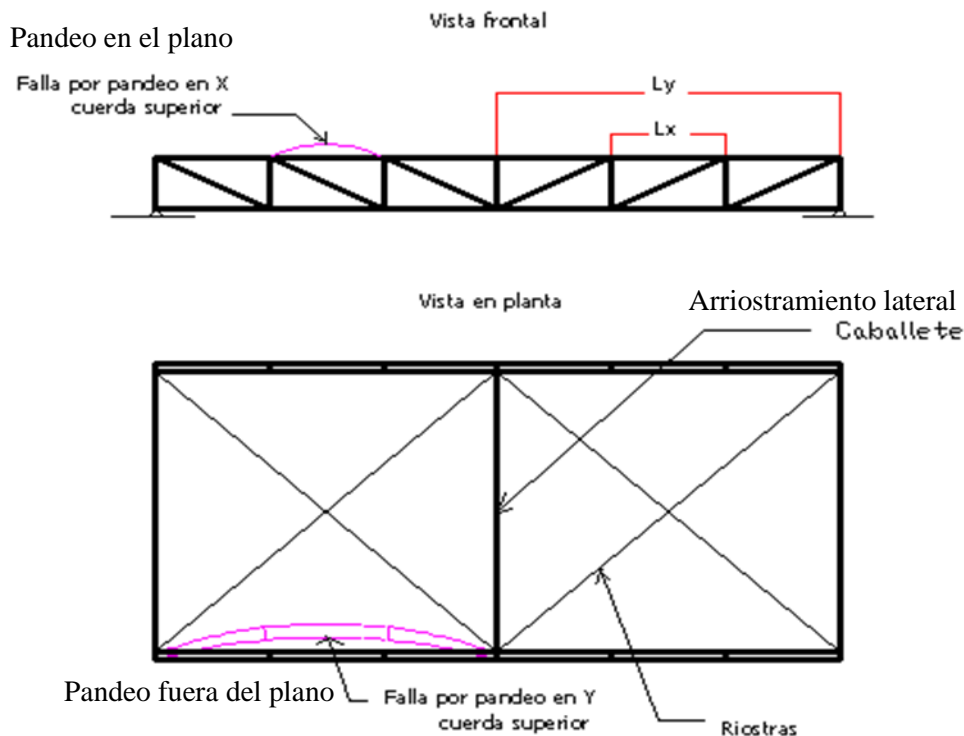


Figura 7. Esquema de la falla por pandeo. Fuente: (Sanchez, 2009) [14]

La ecuación de pandeo elástico propuesta por Leonard Euler [6] es utilizada para evaluar la resistencia a la compresión de un elemento. Los elementos en compresión con grandes longitudes se rigen por estabilidad y la capacidad estructural de un elemento sometido a compresión depende de la geometría de la sección (A , I), la rigidez del material (E), la longitud entre apoyos o arriostramiento (L_x , L_y). A continuación se presenta la ecuación de carga crítica de pandeo elástico.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{Le^2} \quad Ec.1$$

Donde:

P_{cr} : Carga crítica de pandeo

E : módulo de elasticidad del material

I : Momento de inercial alrededor del cual ocurre el pandeo

Le : Longitud efectiva (KL)

L : Longitud entre apoyos del elemento

K : Factor de longitud efectiva

Ahora, se presenta el modelo matemático propuesto por Shrivastava para determinar la carga crítica de pandeo para elementos sometidos a carga axial variable a lo largo de la longitud del miembro. La Figura 8 presenta la

suposición del modelo propuesto por Shrivastava (1980) [3]. La ecuación para este modelo en el momento en que ocurra el pandeo es:

$$\left[\left(\sum P_n a_n \right) - \frac{\pi^2 EI}{\lambda l^2} \right] \left[\left(\sum P_n b_n \right) - \frac{4\pi^2 EI}{\lambda l^2} \right] - \left(\sum P_n c_n \right)^2 = 0 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

$$a_n = \alpha_n + \left(\frac{1}{2\pi} \right) \sin(2\pi\alpha_n)$$

$$b_n = \alpha_n + \left(\frac{1}{4\pi} \right) \sin(4\pi\alpha_n)$$

$$c_n = \left(\frac{1}{\pi} \right) \sin(\pi\alpha_n) + \left(\frac{1}{3\pi} \right) \sin(3\pi\alpha_n)$$

$$\alpha_n: \text{Factor de longitudes} = \frac{l_n}{l}$$

l_n : Longitud del panel en análisis (ver figura 2.8)

[L]

P_n : Carga axial que genera el mismo efecto de las fuerzas internas en el elemento n de la armadura [F]

l : Longitud total de la cuerda en análisis [L]

EI : Rigidez alrededor del eje donde se da el pandeo [$F L^2$]

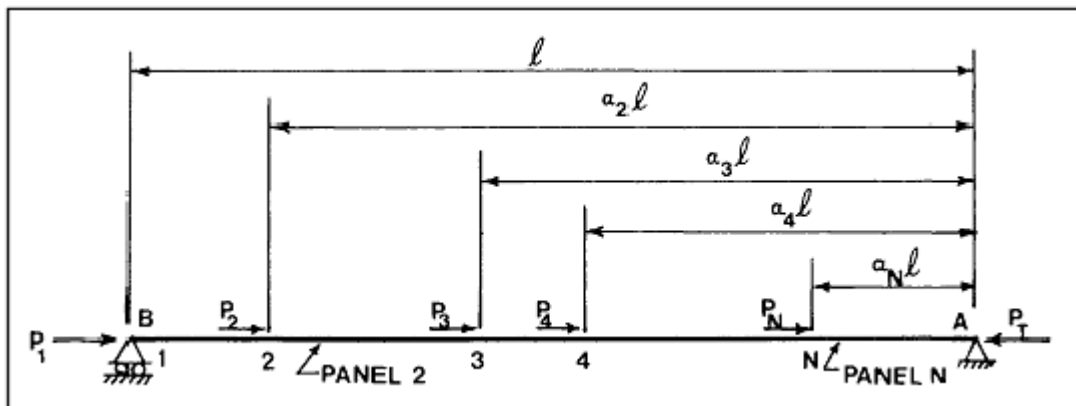


Figura 8. Modelo propuesto por Shrivastava para determinar la carga crítica de pandeo.

Fuente: (Shrivastava, 1980) [3]

A partir de la ecuación anterior se llega a la siguiente expresión:

$$\frac{Pe}{\lambda} = \frac{EI\pi^2}{\lambda l^2} = \frac{(4A + B) \pm \sqrt{(4A + B)^2 - 16(AB - C^2)}}{8} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

$$A = \sum P_n a_n ; B = \sum P_n b_n ; C = \sum P_n c_n$$

De lo anterior se puede determinar el valor de λ , que es el factor de carga de pandeo, el cual depende de la variación de las cargas internas de la cuerda en compresión. Finalmente la carga crítica de pandeo es:

$$P_{cr} = \lambda P_e = \lambda \frac{\pi^2 EI}{Le^2} \quad Ec.4$$

Obtener un valor de factor de carga de pandeo, λ mayor que 1 implica tener un incremento en la capacidad estructural del elemento comprimido. En general, se puede analizar lo siguiente:

- Si el valor de del factor de carga de pandeo es mayor que 1, las cargas impuestas son menores que las críticas.
- Si se encuentra entre 0 y 1, quiere decir que se dará pandeo con las cargas impuestas.
- Un valor de 1 indicará que las cargas impuestas son las cargas críticas.
- Un valor negativo indica que el pandeo se dará si se revierten las cargas.

En lo expuesto anteriormente, se presentó las condiciones de carga que serán estudiadas, ahora se sustentará los criterios de diseño, entonces, para comenzar se definirá algunos conceptos básicos para clasificar los miembros como elementos atiesados o no atiesados, según lo expuesto en la NSR-10 [1], se clasifica como no atiesado aquellos elementos que tienen un borde libre paralelo a la dirección de la fuerza de compresión, y el ancho de la sección se toma como se recomienda para cada caso (secciones F.2.2.4.1.1 y F.2.2.4.1.2 de la NSR-10 [1]).

También es necesario clasificar las piezas con elementos esbeltos o sin elementos esbeltos; para ello se emplea el manual de construcción de acero [2] y la NSR-10 [1].

Elementos No Esbeltos: Se define de acuerdo con el límite de esbeltez (λ_r) (capítulo de especificaciones, sección B [2]) donde se clasifica un elemento sin esbeltez si la relación ancho-espesor no excede el límite de esbeltez, λ_r . Si el límite se excede el miembro se clasifica como esbelto. Aplica para secciones solicitadas a compresión. La siguiente tabla ha sido extraída de la NSR-10

Tabla 1. Valores límite de la relación ancho a espesor para elementos de miembros a compresión.

Categoría	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	$0.64\sqrt{k_r E/F_y}$ (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	b/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	$1.40\sqrt{E/F_y}$	
8 Todos los demás elementos atiesados	b/t	$1.49\sqrt{E/F_y}$		
9 Perfiles tubulares estructurales (PTE) de sección circular	D/t	$0.11E/F_y$		

A continuación, se sustenta la teoría aplicada a cada tipo de cercha, con el fin de, determinar el cálculo de la resistencia de diseño del miembro de acuerdo con la sollicitud de carga expuesta. Los siguientes estados que se expondrán a continuación son obtenidos de la norma sismorresistente colombiana del título F [1].

- **Diseño de miembros a tensión:** Para la selección de los miembros de una armadura que deben soportar cargas de tensión, la pieza seleccionada deben tener las siguientes propiedades [5]: a) deberán ser compactos, b) tener dimensiones que se ajusten en la estructura con una relación razonable a las dimensiones de los otros miembros de la estructura y c) tener conexiones con tantas partes de las secciones como sea posible para minimizar el retardo del cortante. Posterior a ello, se debe calcular la resistencia a la fluencia y a la rotura por tensión como se muestra según las Ecuaciones 5 y 6 [5]. Estas ecuaciones aplican para cualquier sección transversal de la armadura.

$$\Phi_t P_n = F_y A_g \quad \text{Ec.5}$$

$$\Phi_t P_n = F_u A_e \quad \text{Ec.6}$$

Donde:

$\Phi_t = 0.9$ para fluencia por tensión sobre área bruta, y 0.75 para rotura por tensión sobre área neta.

F_y : Esfuerzo de fluencia mínima.

F_u : Resistencia a tensión mínima.

A_g : Área bruta de la sección transversal

$A_e = U \cdot A_n$: Área neta efectiva

U : Coeficiente de rezago

A_n : Área efectiva de la sección transversal

Nota: Preferiblemente la relación de esbeltez KL/r , para miembros diseñados por tensión no debe exceder de 300.

- **Diseño de miembros a compresión:** La resistencia de diseño a compresión se tomará igual a $\Phi_c P_n$, donde la resistencia nominal a compresión, P_n , será el valor obtenido por estado límite de pandeo por flexión, pandeo por torsión y pandeo por flexo-torsión [1].

$$\Phi_c P_n = F_{cr} A_g \quad \text{Ec.7}$$

Se decidió restringir el diseño de miembros sometidos a compresión axial únicamente para piezas sin elementos esbeltos, es decir, se aplica únicamente a miembros con una relación ancho a espesor menor al límite de esbeltez, λ_r . Bajo estos lineamientos, la normativa colombiana NSR-10 [1] exige chequear la aplicabilidad de los siguientes numerales F.2.5.3, F.2.5.4, F.2.5.5 y F.2.5.6 para miembros sometidos a fuerzas axiales.

1. Pandeo por flexión: El esfuerzo de pandeo por flexión, F_{cr} , se calcula como sigue:

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

$$F_{cr} = \left[0.658^{F_y/F_e} \right] F_y \quad \text{Ec.8}$$

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

$$F_{cr} = 0.877F_e \quad \text{Ec.9}$$

$$F_e = P_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \quad \text{Ec.10}$$

Las ecuaciones dadas anteriormente y el estado límite de pandeo por flexión aplican para cualquier tipo de sección transversal; sin embargo, en el caso de miembros armados la relación de esbeltez KL/r se reemplaza por la esbeltez modificada $(KL/r)_m$, más adelante se detalla la ecuación y para que tipo de sección aplicaría.

2. Pandeo por torsión y pandeo por flexo-torsión: Este estado límite aplica a miembros de simetría simple, doble o miembros armados.

a. Para miembros en ángulos dobles espalda con espalda con una separación tal que la constante de alabeo, C_w es despreciable, y para secciones en forma de T, el esfuerzo crítico F_{cr} , se calcula con la siguiente expresión:

$$F_{cr} = \left(\frac{F_{cry} + F_{crz}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{cry}F_{crz}H}{(F_{cry} + F_{crz})^2}} \right] \quad \text{Ec.11}$$

Donde F_{cry} se toma como el valor de F_{cr} calculado con la Ecuación 8 ó la Ecuación 9, para pandeo por flexión alrededor del eje de simetría "y", con $KL/r = KLy/ry$ para secciones en forma de T. y F_{crz} se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_{crz} = \frac{GJ}{A_g \bar{r}_o^2} \quad \text{Ec.12}$$

b. Para todos los demás casos, es decir, aplicaría para las secciones en I, y miembros armados en ángulos enfrentados, el esfuerzo crítico, F_{cr} , se determinará usando la Ecuación 8 o la Ecuación 9, según sea el caso que aplique, pero se usará el esfuerzo de pandeo elástico por torsión o por flexo-torsión, F_e , calculado como se muestra:

b.1. Para miembros con simetría doble (perfiles en I, H, W):

$$F_e = P_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(KL)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y} \quad \text{Ec.13}$$

b.2. Para miembros de simetría simple con "y" como el eje de simetría, aquí se incluye ángulos dobles distanciados de manera que la constante de alabeo C_w no es despreciable:

$$F_e = P_e = \left(\frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right] \quad \text{Ec.14}$$

Donde:

$$F_{ey} = P_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)_y^2} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)_m^2} \quad \text{Ec.15}$$

$$F_{ez} = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(KL)^2} + GJ \right] \frac{1}{A_g \bar{r}_o^2} \quad \text{Ec.16}$$

G = módulo de elasticidad a cortante del acero = 77200 MPa

$$H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{r}_o^2} \quad \text{(F.2.5.4-10)}$$

I_x, I_y = momentos de inercia alrededor de los ejes principales, mm^4

J = constante torsional, mm^4

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 cortante medidas desde el centroide, mm

\bar{r}_o = radio polar de giro alrededor del centro de corte, mm

$$\bar{r}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g}$$

r_x = radio de giro alrededor del eje "x", mm

r_y = radio de giro alrededor del eje "y", mm

Para el caso particular de ángulos enfrentados donde se requiere determinar una relación de esbeltez modificada, entonces, se presente la ecuación de cálculo para la esbeltez modificada de miembros armados con ángulos enfrentados sugerida por Garza [4]:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \sqrt{\left(\frac{KL}{r}\right)_o^2 + \frac{\alpha^2}{(1 + \alpha^2)} \left[0.82 \left(\frac{a}{r_{ib}}\right)^2 + 1.65 \frac{A_i a L_b}{I_b} + 51.32 \frac{a n A_i}{L_b A_b} \right]} \quad \text{Ec.17}$$

Donde:

$(KL/r)_m$: Esbeltez modificada para el miembro armado

$(KL/r)_o$: Esbeltez del miembro armado, tratado como una unidad en la dirección de pandeo considerada

a : Distancia entre conectores

r_i : Radio mínimo de giro de un componente individual

r_{ib} : Radio de giro de un componente individual relativo a su eje centroidal paralelo al eje de pandeo del miembro

α : Relación de separación = $h/2r_{ib}$

h : Distancia entre los centroides de los componentes individuales, medida perpendicularmente al eje de pandeo del miembro

A_i : Área de un ángulo

L_b : Longitud del conector medida entre los centroides de los ángulos

I_b : Inercia del conector asociado a la flexión en el plano de los dos ángulos conectados

n : Factor de forma para deformaciones por cortante, es 1.33 para conectores en perfil angular, 1.2 para conectores de sección rectangular, y 1.11 para conectores circulares

A_b : Área del conector

Nota: Preferiblemente la relación de esbeltez KL/r , para miembros diseñados por compresión no debe exceder de 200.

Las propiedades torsionales de los miembros se definen a continuación:

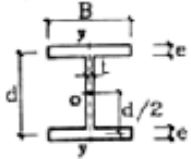
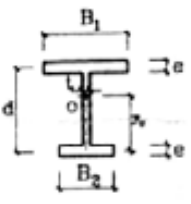
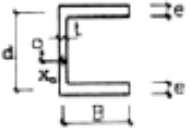
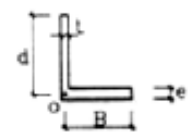
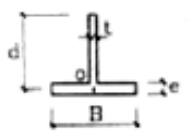
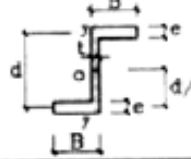

- **Constante torsional de alabeo, C_w :** La constante torsional de alabeo, C_w , mide la resistencia de un elemento estructural sometido a torsión no uniforme o alabeo torsional. Se utiliza en miembros a compresión para calcular el momento resistente a pandeo en vigas no soportadas lateralmente y a pandeo flexo-torsional. Para secciones estructurales huecas (HSS) las deformaciones de alabeo son pequeñas y la constante torsional de alabeo se toma generalmente como cero [15].

- **Constante torsional de St. Venant, J:** La constante torsional de St. Venant, J, mide la resistencia de un elemento estructural a torsión pura o torsión uniforme. Se utiliza en miembros a compresión para calcular el momento resistente a pandeo en vigas no soportadas lateralmente y a pandeo flexo-torsional [15].
- **Centro cortante (X_o , Y_o):** El centro de cortante o centro de torsión es el punto en el plano de la sección transversal en donde la torsión ocurre. La localización del centro de cortante es necesario para calcular la constante torsional de alabeo y la constante monosimétrica. También se utiliza para determinar el efecto estabilizador o desestabilizador de la fuerza gravitatoria aplicada por debajo o por encima del centro de cortante. Las coordenadas del centro de cortante se calculan respecto al centro de gravedad [15].

En la Tabla 2, se presenta las formulas para evaluar las propiedades torsionales de algunas secciones típicas

En el Anexo 1 de este documento se adjunta las propiedades tanto geométricas como torsionales de las secciones para las cuales se desarrollará el proyecto. Cabe resaltar que la base de datos de los perfiles que maneja la hoja de cálculo fue filtrada con los perfiles más comerciales y además que cumplieran con la relación ancho a espesor mayor que el límite de esbeltez, λ_r .

Tabla 2. Propiedades de secciones para el pandeo lateral torsional. Fuente: (Saavedra, 2005) [15]

	$J = (2Be^3 + dt^3)/3$ $C_w = \frac{d^2}{4} I_y = \frac{ed^2 B^3}{24}$	Si $t = e$ $J = t^3 (2B + d)/3$
	$y_o = \frac{hB_1^3}{B_1^3 + B_2^3}$ $J = [(B_1 + B_2)e^3 + dt^3]/3$ $C_w = \frac{ed^2 B_1^3 B_2^3}{12(B_1^3 + B_2^3)}$	Si $t = e$ $J = t^3 (B_1 + B_2 + d)/3$
	$x_o = 3B^2 e / (6Be + dt)$ $J = (2Be^3 + dt^3)/3$ $C_w = \frac{d^2 B^3 e (3eB + 2td)}{12 (6eB + td)}$	Si $t = e$ $x_o = 3B^2 / (6B + d)$ $J = t^3 (2B + d)/3$ $C_w = \frac{d^2 B^3 t (3B + 2d)}{12 (6B + d)}$
	$J = (dt^3 + Be^3)/3$ $C_w = \frac{(dt)^3 + (Be)^3}{36}$	Si $t = e$ $J = t^3 (d + B)/3$ $C_w = \frac{t^3 (d^3 + B^3)}{36}$
	$J = (dt^3 + Be^3)/3$ $C_w = \frac{(Be)^3 + (dt)^3}{144} + \frac{(dt)^3}{36}$	Si $t = e$ $J = t^3 (d + B)/3$ $C_w = \frac{t^3 (B^3 + 4d^3)}{144}$
	$J = (2Be^3 + dt^3)/3$ $C_w = d^2 I_y / 4$	Si $t = e$ $J = t^3 (2B + d)/3$
	$x_o = \frac{2a(\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)}{\alpha - \sin \alpha \cos \alpha}$ $J = \frac{2a \alpha t^3}{3}$ $C_w = \frac{2ta^5}{3} \left[\alpha^3 - \frac{6(\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)^2}{\alpha - \sin \alpha \cos \alpha} \right]$	Si $2\alpha = \pi$ $x_o = \frac{4a}{\pi}$ $J = \frac{\pi a t^3}{3}$ $C_w = \frac{2ta^5}{3} \left(\frac{\pi^3 - 12}{8\pi} \right) = 0.0374ta^5$

Por último se resalta que para el diseño se emplea el método de factores de carga y resistencia (LRFD) [2], lo cual significa el cumplimiento de la siguiente ecuación para todos los estados límites:

$$\sum \lambda_i Q_i \leq \phi R_n \quad \text{Ec. 18}$$

5 Metodología

El procedimiento a seguir para la elaboración del proyecto es el siguiente:

- a. El proyecto es de tipo aplicativo en la elaboración de cerchas de acero. En primera instancia fue necesario recopilar información y estudios previos contenidos en artículos, normas y guías de diseño que detallen el cálculo de cerchas en acero, la cual sirvió de sustento para desarrollar la hoja de cálculo.
- b. Se filtró la información que contenga en detalle las cerchas de estudio (Figuras 1 y 2), y adicional se decidió restringir el área de estudio para miembros que clasifiquen como esbeltos, esto permite centrar el desarrollo del proyecto en algo más específico y eficiente. Finalmente, se eligió el marco teórico que sustente el diseño de los elementos estructurales, cumpliendo con la normativa sismorresistente vigente.
- c. Se elaboró el programa de diseño para los elementos estructurales en la interfaz de Excel [12], en la cual se modela la teoría expuesta en el marco teórico, y permita calcular las resistencias de los elementos y verifique los estados límites.
- d. Se hizo verificaciones y revisiones parciales en paralelo y posterior a la actividad c, sobre el avance del programa de diseño, y en caso necesario retroalimentar con información bibliográfica el marco teórico.
- e. Se realizó el análisis estructural de una armadura por medio del programa STAAD.Pro [11], con el propósito, de obtener las cargas críticas de diseño para las combinaciones de cargas que produzcan los mayores efectos de tracción y compresión sobre los elementos de la armadura. También, obtener los demás parámetros de ingreso según sea el caso (condiciones de apoyo, arriostamiento laterales, etc).
- f. Se aplicó el programa de diseño en Excel [12] a cerchas reales y en paralelo con el software STAAD.Pro [11], con el fin de comparar resultados.

6 Resultados y análisis

Los resultados del cálculo de la capacidad estructural para diferentes configuraciones de cerchas se sustentará a continuación; sin embargo, primero se verificará que la hoja cálculo quedó bien programada, de modo que, se garantice confiabilidad de su implementación, entonces, como se mencionó en la metodología implementada en el proyecto, se realizará una comprobación con un diseño existente de una armadura elaborada en el programa STAAD.Pro [11].

Se mostrará las instrucciones de uso de la hoja de cálculo y la interfaz.

Instrucciones:

1. Montar la geometría y solicitudes de carga en STAAD. Asignar perfiles que aproximen el peso de la estructura.
2. Extraer del modelo de STAAD los siguientes datos:
 - Las coordenadas de los nudos en la pestaña "geometry" y pegarlos en la hoja "propie".
 - Las propiedades de los miembros, numeración y longitudes de los elementos en la pestaña "postprocessing" → "report" → "beam property" y pegarlo en la hoja "propie".
 - Las fuerzas internas únicamente para las combinaciones de diseño en la pestaña "postprocessing" → "beam" → "forces" → "envelope".
3. Ir a la hoja "diseño" e ingresar los parámetros de diseño (longitudes de pandeo, material, etc) y asignar perfiles a los elementos para conformar el tipo de cercha deseada. en el caso que desee diseñar una cercha con ángulos enfrentados debe asignar el ancho de la cercha. las celdas de ingreso se encuentran en verde o con lista desplegable.
4. sí desea aplicar la teoría de Shrivastava para reducir la longitud efectiva de pandeo, simplemente elegir la opción de aplicar Shrivastava a la cuerda de interés. Tener presente que esto aplica solamente para fuerzas axiales variables en compresión y para un tramo de longitud entre arriostamiento lateral.

Ahora se presenta la interfaz de la hoja de cálculo para explicar mejor como diseñar en ella. Se monta el diseño de una armadura formada con medio

perfil en I para las cuerdas y ángulos espalda con espalda para las diagonales y paraleles. En la Tabla 3, se muestra con una flecha donde se debe pegar los valores extraídos del STAAD.Pro [11]. Donde se encuentre el símbolo de la flecha se debe ingresar los datos del STAAD [11].

Tabla 3. Interfaz del ingreso de la geometría de la estructura. Fuente propia

PROPIEDADES DE MIEMBROS										COORDENADAS DE NUDOS			
Beam	Node 1	Node 2	Profile	Length m	Area cm ²	Iy cm ⁴	Iz cm ⁴	X	Y	Z			
1	90	48	1 L76X76X6.4	1.84	18.54	228.008	103.578	1	0	0	0		
2	91	50	51 L76X76X6.4	1.819	18.54	228.008	103.578	48	0	1.84	0		
3	92	52	53 L51X51X3.2	1.82	6.26	36.98	15.836	49	11	1.32	0		
4	93	54	55 L51X51X3.2	1.82	6.26	36.98	15.836	50	1.538	2.017	0		
5	94	56	57 L51X51X3.2	1.82	6.26	36.98	15.836	51	1.7543	0.2105	0		
6	95	58	59 L51X51X3.2	1.82	6.26	36.98	15.836	52	3.0208	2.1952	0		
7	96	60	61 L51X51X3.2	1.82	6.26	36.98	15.836	53	3.2376	0.3885	0		
8	101	50	53 L51X51X3.2	2.354	6.26	36.98	15.836	54	4.5041	2.3732	0		
9	102	52	55 L51X51X3.2	2.354	6.26	36.98	15.836	55	4.7209	0.5665	0		
10	103	54	57 L51X51X3.2	2.354	6.26	36.98	15.836	56	5.9874	2.5512	0		
11	104	56	59 L51X51X3.2	2.354	6.26	36.98	15.836	57	6.2042	0.7445	0		
12	105	58	61 L76X76X6.4	2.355	18.54	228.008	103.578	58	7.4707	2.7292	0		
13	111	48	51 L51X51X3.2	2.394	6.26	36.98	15.836	59	7.6875	0.9225	0		
14	112	70	49 L51X51X3.2	1.84	6.26	36.98	15.836	60	8.9541	2.9072	0		
15	113	48	50 HE160A	1.548	19.4	308	61.398	61	9.171	1.1	0		
16	114	50	52 HE160A	1.493	19.4	308	61.398	70	11	3.16	0		
17	115	52	54 HE160A	1.494	19.4	308	61.398						
18	116	54	56 HE160A	1.494	19.4	308	61.398						
19	117	56	58 HE160A	1.494	19.4	308	61.398						
20	118	58	60 HE160A	1.494	19.4	308	61.398						
21	119	60	70 HE160A	1.963	19.4	308	61.398						

Tabla 4. Interfaz del ingreso de las fuerzas internas de la estructura. Fuente propia

FUERZAS DEL SISTEMA									
Beam	Node	Env	Fx kN	Fy kN	Fz kN	Mx kN-m	My kN-m	Mz kN-m	
1	90	48 +ve	65.334	0.17	0	0	0	0	
2		-ve	5 1.4D	5 1.4D	0	0	0	0	
3	90	1 +ve	65.293	0	0	0	0	0	
4		-ve	5 1.4D	0	0	0	0	0	
5			0	-0.17	0	0	0	0	
6			0	5 1.4D	0	0	0	0	
7	91	50 +ve	65.334	0.17	0	0	0	0	
8		-ve	5 1.4D	5 1.4D	0	0	0	0	
9			0	0	0	0	0	0	
10	91	51 +ve	65.293	0	0	0	0	0	
11		-ve	5 1.4D	0	0	0	0	0	
12			0	-0.17	0	0	0	0	
13			0	5 1.4D	0	0	0	0	
14	92	52 +ve	65.334	0.17	0	0	0	0	
15		-ve	5 1.4D	5 1.4D	0	0	0	0	
16			0	0	0	0	0	0	
17	92	52 +ve	65.334	0.17	0	0	0	0	
18		-ve	5 1.4D	5 1.4D	0	0	0	0	
19			0	0	0	0	0	0	
20			0	0	0	0	0	0	
21			0	0	0	0	0	0	
22			0	0	0	0	0	0	
23			0	0	0	0	0	0	

El botón “Borrar” sirve para limpiar la hoja y volver a ingresar parámetros.

Tabla 5. Interfaz de diseño de la cercha. Fuente propia

Beam	Type	Reference	Profile	Length (m)	Le (m)	Lu (m)	KL/r max	Comb	Tmax	Phi	Ratio	Comb	Cmax	Phi X	Phi Y	Phi PT	Ratio	Global
113	C. Sup	1/2 PER18. HA	1/2 HEA160	1.55	1.55	1.55	87	0.90+1.0W	13.5	601.9	0.02	1.20+1.6R	92.6	558.9	346.0	530.70	0.27	0.27
114	C. Sup	1/2 PER18. HA	1/2 HEA160	1.49	1.49	1.49	84	0.90+1.0W	20.8	601.9	0.03	1.20+1.6R	142.2	543.2	359.7	534.71	0.40	0.40

En la Tabla anterior se observa el aspecto general de diseño, los valores de ingreso están en verde o en lista desplegable. Se recomienda extraer de STAAD una imagen con la numeración de los miembros que permita identificar que pieza se diseña. La forma de ingresar los datos es la siguiente, se empieza desde la parte superior ingresando el tipo de material del acero, luego se encuentra parámetros de ingreso únicamente para ángulos que hace referencia al ancho de la cercha para ángulos enfrentados, y el coeficiente de rezago para ángulos en general. Luego se pregunta si desea ingresar longitudes efectivas, ya que por defecto el programa considera como longitudes efectivas la longitud no arriostrada entre nudos, también si se desea ingresar manualmente diferentes longitudes efectivas en los tramos se haría en la columna "Buckling length (m)". Posteriormente se recomienda ingresar los perfiles tentativos y se procede a verificar el cumplimiento de la relación de esbeltez (KL/r) y, que el "Ratio Global" sea menor a 1. Por último se encuentran los cuadros de "Cuerda Superior" y "Cuerda Inferior" los cuales se aplican si se desea considerar el aporte de las fuerzas variables (teoría de Shrivastava [3]).

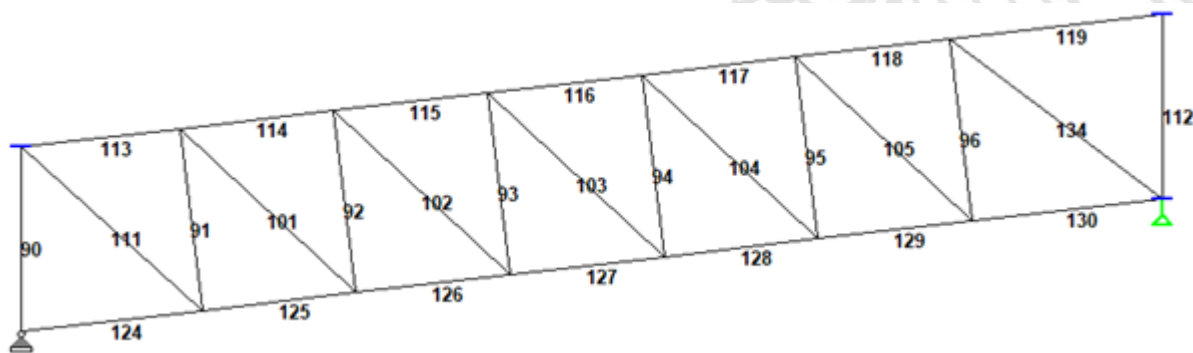


Figura 9. Numeración de las piezas de la armadura considerada para la verificación del programa. Fuente propia. Obtenido de STAAD [11]

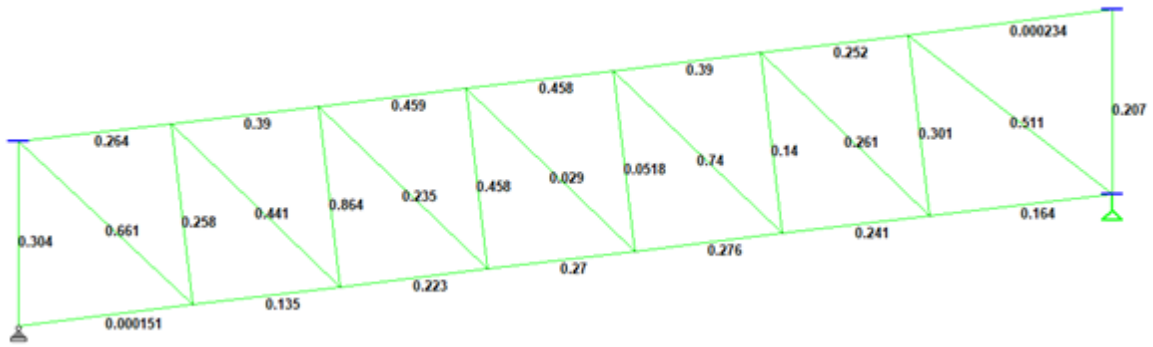


Figura 10. Porcentajes de utilización de la armadura considerada para la verificación del programa.
Fuente propia. Obtenido de STAAD [11]

Tabla 6. Porcentajes de utilización de la cercha de verificación diseñada en la hoja de cálculo.
Fuente propia

Beam	Type	Reference	Profile	Ratio Global
113	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.27
114	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.40
115	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.46
116	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.46
117	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.39
118	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.26
119	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.00
124	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.00
125	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.13
126	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.22
127	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.27
128	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.28
129	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.24
130	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.16
90	Paral	ANG ESPALDA	T 76x6.4	0.30
91	Paral	ANG ESPALDA	T 76x6.4	0.26
92	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.86
93	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.46
94	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.05
95	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.14
96	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.30
112	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.21
111	Diagonal	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.67
101	Diagonal	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.45
102	Diagonal	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.24
103	Diagonal	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.03
104	Diagonal	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.76
105	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x6.4	0.26
134	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x6.4	0.52

Realizando una comparación entre los porcentajes de utilización dados por los dos programas de diseño, se observa que, por ejemplo, la diagonal 111 tiene un porcentaje de utilización de 0.67 para la hoja de cálculo (Tabla 6) y de 0.661 para el modelo en STAAD (Figura 10), valores muy parecidos. En la próxima tabla se presenta la diferencia de error entre los dos programas, se determina un margen de error de hasta el 2,5 %, un valor aceptable que da tranquilidad de la implementación de la hoja de cálculo.

Tabla 7. Porcentaje de error por diferencia entre valores de los dos programas de diseño.

Fuente propia

Beam	Type	Reference	Profile	Ratio Global	Ratio Global STAAD	% Error
113	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.27	0.264	1.3%
114	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.40	0.39	1.3%
115	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.46	0.459	1.2%
116	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.46	0.458	1.3%
117	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.39	0.39	1.2%
118	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.26	0.252	1.4%
119	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.00	0	0.0%
124	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.00	0.000151	0.0%
125	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.13	0.135	0.0%
126	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.22	0.223	0.2%
127	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.27	0.27	0.2%
128	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.28	0.276	0.1%
129	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.24	0.241	0.0%
130	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.16	0.164	0.0%
90	Paral	ANG ESPALDA	T 76x6.4	0.30	0.304	0.9%
91	Paral	ANG ESPALDA	T 76x6.4	0.26	0.258	1.0%
92	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.86	0.864	0.0%
93	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.46	0.458	0.0%
94	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.05	0.0518	0.1%
95	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.14	0.14	0.9%
96	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.30	0.301	0.8%
112	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.21	0.207	0.4%
111	Diagonal	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.67	0.661	0.9%
101	Diagonal	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.45	0.441	1.0%
102	Diagonal	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.24	0.235	1.1%
103	Diagonal	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.03	0.029	1.1%
104	Diagonal	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.76	0.74	2.5%
105	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x6.4	0.26	0.261	0.8%
134	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x6.4	0.52	0.511	1.5%

Ahora se aplicará el diseño de la configuración anterior, pero con ángulos enfrentados, y para ambos casos se estimará la cantidad de acero requerido. Es importante mencionar que una estructura en acero es más costosa si es más pesada.

Tabla 8. Relación de esbeltez para la cercha de verificación pero con ángulos enfrentados.

Fuente propia

Beam	Type	Reference	Profile	Lenght (m)	Buckling lenght (m)			KL/r max
					Ly (m)	Lx (m)		
113	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.55	1.55	1.55	✓ 78	
114	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.49	1.49	1.49	✓ 75	
115	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.49	1.49	1.49	✓ 75	
116	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.49	1.49	1.49	✓ 75	
117	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.49	1.49	1.49	✓ 75	
118	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.49	1.49	1.49	✓ 75	
119	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	2.06	2.06	2.06	✓ 104	
124	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.77	1.77	1.77	✓ 89	
125	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.49	1.49	1.49	✓ 75	
126	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.49	1.49	1.49	✓ 75	
127	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.49	1.49	1.49	✓ 75	
128	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.49	1.49	1.49	✓ 75	
129	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.49	1.49	1.49	✓ 75	
130	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.84	1.84	1.84	✓ 93	
90	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.84	1.84	1.84	✓ 93	
91	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.82	1.82	1.82	✓ 92	
92	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.82	1.82	1.82	✓ 92	
93	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.82	1.82	1.82	✓ 92	
94	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.82	1.82	1.82	✓ 92	
95	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.82	1.82	1.82	✓ 92	
96	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.82	1.82	1.82	✓ 92	
112	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.84	1.84	1.84	✓ 93	
111	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	2.39	2.39	2.39	✓ 121	
101	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	2.35	2.35	2.35	✓ 119	
102	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	2.35	2.35	2.35	✓ 119	
103	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	2.35	2.35	2.35	✓ 119	
104	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	2.35	2.35	2.35	✓ 119	
105	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x6.4	2.36	2.36	2.36	✓ 121	
134	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x6.4	2.59	2.59	2.59	✓ 133	

Tabla 9. Verificación de estado límite de tensión para la cercha con ángulos enfrentados.

Fuente propia

Beam	Type	Reference	Profile	Tension (kN)			
				Comb	Tmáx	φ Pn	Ratio
113	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	13.5	352.7	0.04
114	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	20.8	352.7	0.06
115	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	24.4	352.7	0.07
116	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	24.3	352.7	0.07
117	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	20.6	352.7	0.06
118	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	13.2	352.7	0.04
119	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.4D	0.0	352.7	0.00
124	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.4D	0.0	352.7	0.00
125	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	81.2	352.7	0.23
126	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	134.4	352.7	0.38
127	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	162.8	352.7	0.46
128	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	166.3	352.7	0.47
129	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	145.0	352.7	0.41
130	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	98.7	352.7	0.28
90	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	16.4	352.7	0.05
91	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	14.5	352.7	0.04
92	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	9.9	352.7	0.03
93	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	5.5	352.7	0.02
94	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	1.0	352.7	0.00
95	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	26.6	352.7	0.08
96	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	57.1	352.7	0.16
112	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	2.4	352.7	0.01
111	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	125.6	352.7	0.36
101	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	83.8	352.7	0.24
102	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	44.7	352.7	0.13
103	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	5.5	352.7	0.02
104	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	5.1	352.7	0.01
105	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x6.4	0.9D+1.0W	10.8	466.2	0.02
134	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x6.4	0.9D+1.0W	17.9	466.2	0.04

Tabla 10. Verificación de estado límite de compresión para la cercha con ángulos enfrentados.

Fuente propia

Beam	Type	Reference	Profile	Comb	Cmáx	Compression (kN)			Ratio
						φ PnY	φ PnX	φ PnFT	
113	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	92.6	241.5	231.1	231.19	0.40
114	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	142.2	245.9	238.4	236.32	0.60
115	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	166.9	245.8	238.3	236.22	0.71
116	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	166.8	245.8	238.3	236.22	0.71
117	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	141.8	245.8	238.3	236.22	0.60
118	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	91.8	245.8	238.3	236.22	0.39
119	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.4D	0.0	200.9	163.8	184.45	0.00
124	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.4D	0.0	224.0	202.0	210.92	0.00
125	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	11.8	245.8	238.3	236.22	0.05
126	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	19.6	245.8	238.3	236.22	0.08
127	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	23.8	245.8	238.3	236.22	0.10
128	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	24.2	245.8	238.3	236.22	0.10
129	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	21.0	245.8	238.3	236.22	0.09
130	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	14.1	218.0	192.1	204.07	0.07
90	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	111.4	218.2	192.4	204.25	0.58
91	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	95.4	219.9	195.1	206.16	0.49
92	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	64.4	219.8	195.0	206.07	0.33
93	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	34.1	219.8	195.0	206.07	0.18
94	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	3.9	219.8	195.0	206.07	0.02
95	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	3.6	219.8	195.0	206.07	0.02
96	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	7.9	219.8	195.0	206.07	0.04
112	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	15.1	218.2	192.4	204.25	0.08
111	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	18.3	176.0	124.5	156.69	0.15
101	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	12.4	179.0	128.7	159.89	0.10
102	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	6.6	179.0	128.7	159.89	0.05
103	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.9D+1.0W	0.8	179.0	128.7	159.89	0.01
104	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	1.2D+1.6LR	33.8	179.0	128.7	159.89	0.26
105	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x6.4	1.2D+1.6LR	73.3	204.0	163.7	191.43	0.45
134	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x6.4	1.2D+1.6LR	124.1	181.6	135.5	169.01	0.92

En las tablas anteriores se presentaron las memorias de cálculo para los diferentes estados límites establecidos en el marco teórico. Consideraciones generales que se tuvieron en cuenta en el diseño: 1) Se consideró una separación entre ángulos de 250 mm, 2) Se utilizaron conectores (atiesador) en ángulo sencillo (L51x51x32) separados cada L/3.

Finalmente se tabula los porcentajes de utilización global y las cantidades de material requerido, con el propósito de comparar las dos cerchas anteriores.

Tabla 11. Porcentaje de utilización global y peso de la cercha con medio perfil I.

Fuente propia

Beam	Type	Reference	Profile	Ratio Global	Peso (kg)
113	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.27	23.53
114	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.40	22.69
115	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.46	22.71
116	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.46	22.71
117	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.39	22.71
118	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.26	22.71
119	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.00	31.34
124	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.00	26.86
125	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.13	22.71
126	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.22	22.71
127	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.27	22.71
128	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.28	22.71
129	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.24	22.71
130	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA160	0.16	28.00
90	Paral	ANG ESPALDA	T 76x6.4	0.30	26.83
91	Paral	ANG ESPALDA	T 76x6.4	0.26	26.52
92	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.86	8.95
93	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.46	8.95
94	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.05	8.95
95	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.14	8.95
96	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.30	8.95
112	Paral	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.21	9.05
111	Diagonal	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.67	11.78
101	Diagonal	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.45	11.58
102	Diagonal	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.24	11.58
103	Diagonal	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.03	11.58
104	Diagonal	ANG ESPALDA	T 51x3.2	0.76	11.58
105	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x6.4	0.26	34.34
134	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x6.4	0.52	37.75
PESO TOTAL (kg)					574.16
TENOR (kg/m)					51.82

Tabla 12. Porcentaje de utilización global y peso de la armadura con ángulos enfrentados.

Fuente propia

Beam	Type	Reference	Profile	Ratio Global	Peso (kg)
113	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.40	14.27
114	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.60	13.77
115	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.71	13.77
116	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.71	13.77
117	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.60	13.77
118	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.39	13.77
119	C. Sup	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.00	19.01
124	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.00	16.29
125	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.23	13.77
126	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.38	13.77
127	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.46	13.77
128	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.47	13.77
129	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.41	13.77
130	C. Inf	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.28	16.98
90	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.58	16.96
91	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.49	16.77
92	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.33	16.78
93	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.18	16.78
94	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.02	16.78
95	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.08	16.78
96	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.16	16.78
112	Paral	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.08	16.96
111	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.36	22.07
101	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.24	21.70
102	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.13	21.70
103	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.02	21.70
104	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x4.8	0.26	21.70
105	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x6.4	0.45	28.73
134	Diagonal	ANG ENFRENTADO	LI 64x6.4	0.92	31.59
		ATIESADOR	L 51x3.2		55.35
				PESO TOTAL	563.45
				TENDR (kg/m)	50.86

Se puede inferir que ambas cerchas tienen eficiencias parecidas, ya que dieron un tenor de kilo por metro lineal de cercha de aproximadamente 51 kg/m. Sin embargo, la fabricación de ángulos enfrentados es más laboriosa por la soldadura de cada presilla (conector), por lo tanto, en este caso se optaría por la cercha con medio perfil en I.

Ahora se estudiará con otra armadura la aplicación de “Shrivastava” [11]. Siguiendo las instrucciones nuevamente, se extrae la información de STAAD [11]. La estructura en general consiste en cerchas para una cubierta. El proyecto consiste en 17 cerchas típicas de 15 m de luz.

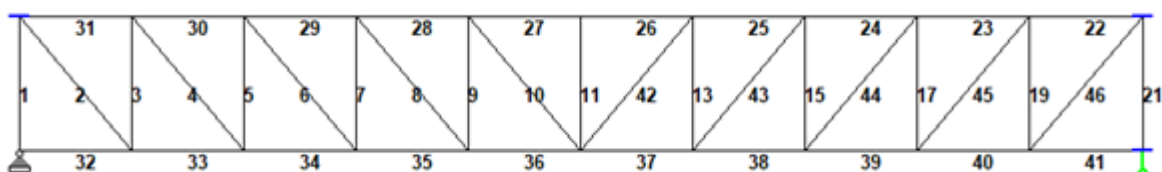


Figura 11. Numeración y geometría de la armadura.

Fuente propia. Obtenido de STAAD [11]

La armadura tiene la configuración mostrada en la Figura 11, y se implementará con medio perfil en HEA y con ángulos espalda con espalda. Consideraciones para el diseño se encuentra arriostrada lateralmente a $L/2=7.5$ m.

Tabla 13. Perfiles asignados y verificación del límite de esbeltez.

Fuente propia

Beam	Type	Reference	Profile	Lenght (m)	Buckling lenght (m)		
					Ly (m)	Lx (m)	KL/r max
31	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.54	7.72	1.54	✓ 103
30	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.54	7.72	1.54	✓ 103
29	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.54	7.72	1.54	✓ 103
28	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA340	1.54	7.72	1.54	✓ 103
27	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA340	1.54	7.72	1.54	✓ 103
26	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA340	1.54	7.72	1.54	✓ 103
25	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA340	1.54	7.72	1.54	✓ 103
24	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.54	7.72	1.54	✓ 103
23	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.54	7.72	1.54	✓ 103
22	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.54	7.72	1.54	✓ 103
32	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
33	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
34	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
35	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
36	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
37	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
38	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
39	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
40	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
41	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
1	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
3	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
5	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
7	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
9	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
11	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
13	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
15	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
17	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
19	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
21	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
2	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
4	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
6	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
8	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
10	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
42	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
43	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
44	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
45	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
46	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103

Tabla 14. Verificación del estado límite de tensión.

Fuente propia

Beam	Type	Reference	Profile	Tension (kN)			
				Comb	Tmáx	ϕP_n	Ratio
31	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.2D+1.6LR	0.0	1923.6	0.00
30	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.2D+1.6LR	0.0	1923.6	0.00
29	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.2D+1.6LR	0.0	1923.6	0.00
28	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA340	1.2D+1.6LR	0.0	2063.2	0.00
27	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA340	1.2D+1.6LR	0.0	2063.2	0.00
26	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA340	1.2D+1.6LR	0.0	2063.2	0.00
25	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA340	1.2D+1.6LR	0.0	2063.2	0.00
24	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.2D+1.6LR	0.0	1923.6	0.00
23	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.2D+1.6LR	0.0	1923.6	0.00
22	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.2D+1.6LR	0.0	1923.6	0.00
32	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	1.2	1346.5	0.00
33	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	174.5	1346.5	0.13
34	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	349.0	1346.5	0.26
35	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	523.5	1346.5	0.39
36	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	698.0	1346.5	0.52
37	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	698.0	1346.5	0.52
38	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	523.5	1346.5	0.39
39	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	349.0	1346.5	0.26
40	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	174.5	1346.5	0.13
41	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	1.2	1346.5	0.00
1	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
3	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
5	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
7	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
9	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
11	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
13	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
15	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
17	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
19	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
21	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
2	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	269.7	696.9	0.39
4	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	271.5	696.9	0.39
6	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	271.5	696.9	0.39
8	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	271.5	696.9	0.39
10	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	269.0	696.9	0.39
42	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	271.5	696.9	0.39
43	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	271.5	696.9	0.39
44	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	271.5	696.9	0.39
45	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	271.5	696.9	0.39
46	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	269.7	696.9	0.39

Tabla 15. Verificación del estado límite de compresión.

Fuente propia

Beam	Type	Reference	Profile	Compression (kN)					
				Comb	Cmáx	φ Pn Y	φ Pn X	φ Pn FT	Ratio
31	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.2D+1.6LR	174.5	886.8	1682.5	878.58	0.20
30	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.2D+1.6LR	349.0	886.8	1682.5	878.58	0.40
29	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.2D+1.6LR	523.5	886.8	1682.5	878.58	0.60
28	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA340	1.2D+1.6LR	698.0	945.7	1841.2	936.23	0.75
27	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA340	1.2D+1.6LR	870.9	945.7	1841.2	936.23	0.93
26	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA340	1.2D+1.6LR	872.5	945.7	1841.2	936.23	0.93
25	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA340	1.2D+1.6LR	698.0	945.7	1841.2	936.23	0.75
24	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.2D+1.6LR	523.5	886.8	1682.5	878.58	0.60
23	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.2D+1.6LR	349.0	886.8	1682.5	878.58	0.40
22	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320	1.2D+1.6LR	174.5	886.8	1682.5	878.58	0.20
32	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
33	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
34	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
35	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
36	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
37	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
38	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
39	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
40	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
41	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
1	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	415.3	586.8	453.3	545.79	0.92
3	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	207.3	586.8	453.3	545.79	0.46
5	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	208.0	586.8	453.3	545.79	0.46
7	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	208.0	586.8	453.3	545.79	0.46
9	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	207.2	586.8	453.3	545.79	0.46
11	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	415.0	586.8	453.3	545.79	0.92
13	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	208.0	586.8	453.3	545.79	0.46
15	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	208.0	586.8	453.3	545.79	0.46
17	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	208.0	586.8	453.3	545.79	0.46
19	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	207.3	586.8	453.3	545.79	0.46
21	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	415.3	586.8	453.3	545.79	0.92
2	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
4	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
6	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
8	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
10	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
42	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
43	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
44	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
45	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
46	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00

Se observa que el diseño es controlado más por cargas de compresión, también se aprecia que fue necesario usar dos tipos de perfil diferente en la cuerda superior con el fin de hacer menos pesada la estructura y por tanto, menos costosa. Dado que las fuerzas axiales de compresión varían a lo largo de la luz, siendo mayor en el centro, esto implica usar un perfil más resistente en el centro. Entonces, sabiendo que se cumplen los requisitos para el aplicar el método de Shrivastava [11] y considerar el aporte de la variación de la

fuerza axial. En la siguiente tabla se presenta los valores de ingreso en la hoja de cálculo para aplicar Shrivastava [11].

Tabla 16. Parámetros de ingreso para aplicar Shrivastava a la armadura.

Fuente propia

Cuerda Superior		
Aplica "Shrivastava"?		Sí
Cuantos Tramos?		2
Aplicar para pandeo?		fuera de plano
Pos. Soporte Lateral	Xo (m)	Xf (m)
Tramo 1	0	7.72
Tramo 2	7.72	15.44

Nota: La posición del soporte lateral se hace con las coordenadas globales de la armadura.

A continuación, se presentará el chequeo de nuevo de todos los estados límites pero considerando la teoría de carga axial variable [11].

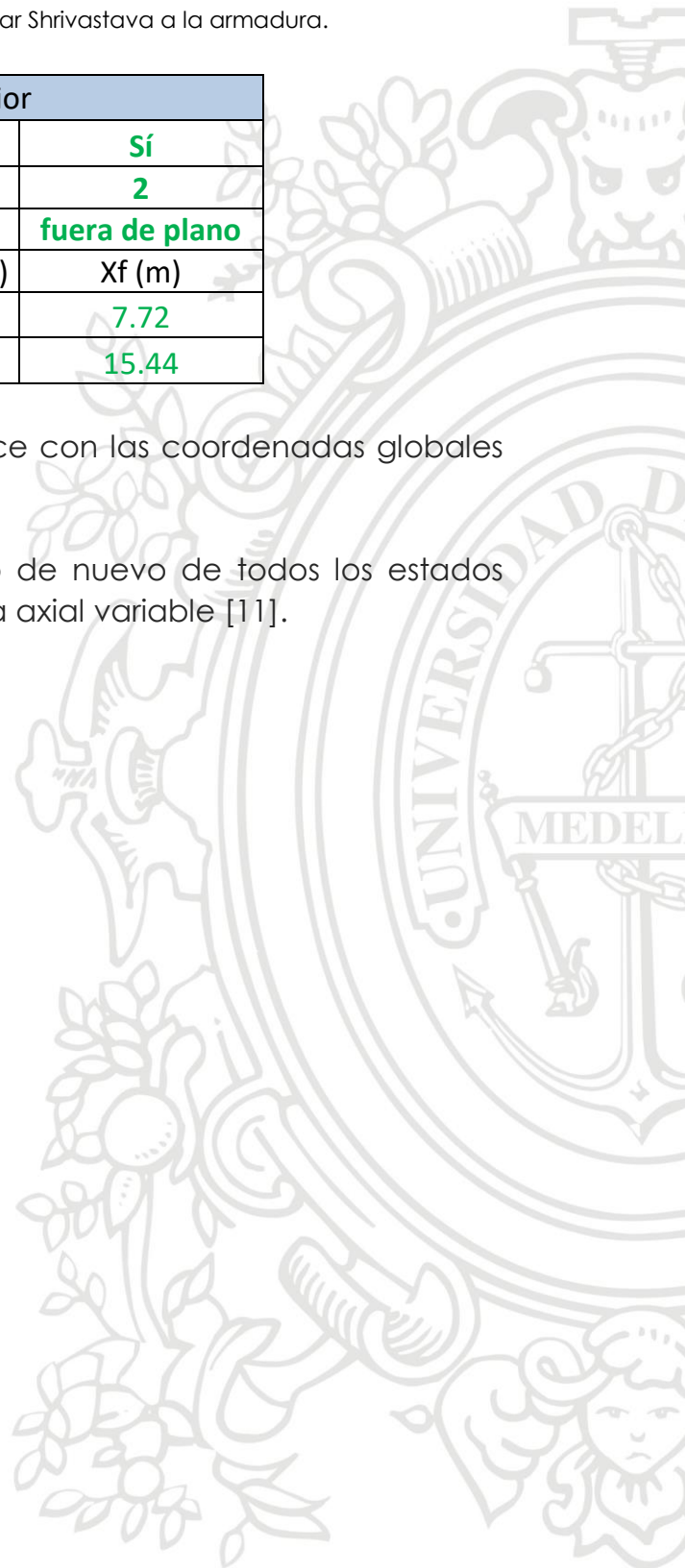


Tabla 17. Asignación de perfiles y chequeo del límite de esbeltez aplicando Shrivastava.

Fuente propia

Beam	Type	Reference	Profile	Lenght (m)	Buckling lenght (m)		
					Ly (m)	Lx (m)	KL/r max
31	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.54	7.72	1.54	✓ 103
30	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.54	7.72	1.54	✓ 103
29	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.54	7.72	1.54	✓ 103
28	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.54	7.72	1.54	✓ 103
27	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.54	7.72	1.54	✓ 103
26	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.54	7.72	1.54	✓ 103
25	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.54	7.72	1.54	✓ 103
24	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.54	7.72	1.54	✓ 103
23	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.54	7.72	1.54	✓ 103
22	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.54	7.72	1.54	✓ 103
32	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
33	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
34	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
35	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
36	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
37	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
38	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
39	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
40	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
41	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.54	7.72	1.54	✓ 119
1	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
3	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
5	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
7	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
9	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
11	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
13	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
15	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
17	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
19	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
21	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.84	1.84	1.84	✓ 79
2	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
4	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
6	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
8	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
10	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
42	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
43	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
44	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
45	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103
46	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	2.40	2.40	2.40	✓ 103

Tabla 18. Chequeo del estado límite de tensión aplicando Shrivastava.

Fuente propia

Beam	Type	Reference	Profile	Tension (kN)			
				Comb	Tmáx	ϕP_n	Ratio
31	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	0.0	1753.0	0.00
30	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	0.0	1753.0	0.00
29	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	0.0	1753.0	0.00
28	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	0.0	1753.0	0.00
27	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	0.0	1753.0	0.00
26	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	0.0	1753.0	0.00
25	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	0.0	1753.0	0.00
24	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	0.0	1753.0	0.00
23	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	0.0	1753.0	0.00
22	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	0.0	1753.0	0.00
32	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	1.2	1346.5	0.00
33	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	174.5	1346.5	0.13
34	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	349.0	1346.5	0.26
35	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	523.5	1346.5	0.39
36	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	698.0	1346.5	0.52
37	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	698.0	1346.5	0.52
38	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	523.5	1346.5	0.39
39	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	349.0	1346.5	0.26
40	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	174.5	1346.5	0.13
41	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	1.2	1346.5	0.00
1	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
3	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
5	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
7	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
9	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
11	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
13	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
15	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
17	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
19	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
21	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	696.9	0.00
2	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	269.7	696.9	0.39
4	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	271.5	696.9	0.39
6	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	271.5	696.9	0.39
8	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	271.5	696.9	0.39
10	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	269.0	696.9	0.39
42	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	271.5	696.9	0.39
43	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	271.5	696.9	0.39
44	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	271.5	696.9	0.39
45	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	271.5	696.9	0.39
46	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	269.7	696.9	0.39

Tabla 19. Chequeo del estado límite de compresión aplicando Shrivastava.

Fuente propia

Beam	Type	Reference	Profile	Compression (kN)					
				Comb	Cmáx	φ Pn Y	φ Pn X	φ Pn FT	Ratio
31	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	174.5	1041.3	1498.9	1026.71	0.17
30	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	349.0	1041.3	1498.9	1026.71	0.34
29	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	523.5	1041.3	1498.9	1026.71	0.51
28	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	698.0	1041.3	1498.9	1026.71	0.68
27	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	870.9	1041.3	1498.9	1026.71	0.85
26	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	872.5	1041.3	1498.9	1026.71	0.85
25	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	698.0	1041.3	1498.9	1026.71	0.68
24	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	523.5	1041.3	1498.9	1026.71	0.51
23	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	349.0	1041.3	1498.9	1026.71	0.34
22	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	1.2D+1.6LR	174.5	1041.3	1498.9	1026.71	0.17
32	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
33	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
34	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
35	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
36	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
37	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
38	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
39	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
40	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
41	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	1.2D+1.6LR	0.0	478.7	1088.1	475.69	0.00
1	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	415.3	586.8	453.3	545.79	0.92
3	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	207.3	586.8	453.3	545.79	0.46
5	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	208.0	586.8	453.3	545.79	0.46
7	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	208.0	586.8	453.3	545.79	0.46
9	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	207.2	586.8	453.3	545.79	0.46
11	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	415.0	586.8	453.3	545.79	0.92
13	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	208.0	586.8	453.3	545.79	0.46
15	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	208.0	586.8	453.3	545.79	0.46
17	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	208.0	586.8	453.3	545.79	0.46
19	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	207.3	586.8	453.3	545.79	0.46
21	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	415.3	586.8	453.3	545.79	0.92
2	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
4	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
6	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
8	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
10	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
42	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
43	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
44	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
45	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00
46	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	1.2D+1.6LR	0.0	511.9	329.8	481.73	0.00

Se tiene un resultado importante en la cuerda superior, se asignó un perfil uniforme en toda la longitud de la cuerda, que además es menos pesado que el que tenía inicialmente, y se cumplió con los estados límites de diseño, Se aprecia que al aplicar el método de Shrivastava [11] a la cuerda superior se experimenta un incremento en la capacidad estructural del elemento contra el pandeo, se observa que el elemento más exigido tiene un radio global de 0.85.

Tabla 20. Porcentaje de utilización global peso de la armadura sin considerar Shrivastava.

Fuente propia

Beam	Type	Reference	Profile		Ratio Global	Peso (kg)
31	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320		0.20	75.35
30	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320		0.40	75.35
29	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320		0.60	75.35
28	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA340		0.75	81.06
27	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA340		0.93	81.06
26	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA340		0.93	81.06
25	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA340		0.75	81.06
24	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320		0.60	75.35
23	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320		0.40	75.35
22	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA320		0.20	75.35
32	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260		0.00	52.65
33	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260		0.13	52.65
34	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260		0.26	52.65
35	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260		0.39	52.65
36	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260		0.52	52.65
37	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260		0.52	52.65
38	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260		0.39	52.65
39	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260		0.26	52.65
40	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260		0.13	52.65
41	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260		0.00	52.65
1	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.92	33.41
3	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.46	33.41
5	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.46	33.41
7	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.46	33.41
9	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.46	33.41
11	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.92	33.41
13	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.46	33.41
15	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.46	33.41
17	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.46	33.41
19	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.46	33.41
21	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.92	33.41
2	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.39	43.62
4	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.39	43.62
6	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.39	43.62
8	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.39	43.62
10	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.39	43.62
42	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.39	43.62
43	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.39	43.62
44	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.39	43.62
45	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.39	43.62
46	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9		0.39	43.62
PESO TOTAL (kg)						2106.59
TENOR (kg/m)						136.44

Tabla 21. Porcentaje de utilización global peso de la armadura aplicando Shrivastava.

Fuente propia

Beam	Type	Reference	Profile		Ratio Global	Peso (kg)
31	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	▒	0.17	68.17
30	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	▒	0.34	68.17
29	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	▒	0.51	68.17
28	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	▒	0.68	68.17
27	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	▒	0.85	68.17
26	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	▒	0.85	68.17
25	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	▒	0.68	68.17
24	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	▒	0.51	68.17
23	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	▒	0.34	68.17
22	C. Sup	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA300	▒	0.17	68.17
32	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	▒	0.00	52.65
33	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	▒	0.13	52.65
34	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	▒	0.26	52.65
35	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	▒	0.39	52.65
36	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	▒	0.52	52.65
37	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	▒	0.52	52.65
38	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	▒	0.39	52.65
39	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	▒	0.26	52.65
40	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	▒	0.13	52.65
41	C. Inf	1/2 PERFIL HEA	1/2 HEA260	▒	0.00	52.65
1	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.92	33.41
3	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.46	33.41
5	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.46	33.41
7	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.46	33.41
9	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.46	33.41
11	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.92	33.41
13	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.46	33.41
15	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.46	33.41
17	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.46	33.41
19	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.46	33.41
21	Paral	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.92	33.41
2	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.39	43.62
4	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.39	43.62
6	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.39	43.62
8	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.39	43.62
10	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.39	43.62
42	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.39	43.62
43	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.39	43.62
44	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.39	43.62
45	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.39	43.62
46	Diagonal	ANG ESPALDA	T 76x7.9	▒	0.39	43.62
PESO TOTAL (kg)						2011.94
TENOR (kg/m)						130.31

Finalmente se tabularon los porcentajes de utilización máximos y las cantidades de material para los dos métodos de diseño. Se observa una reducción en material en todo el proyecto de 17 cerchas* (2106.59 kg – 2011.94 kg) = 1609 kg, lo que representa una optimización en peso del 4%. El valor por kilo del acero estructural oscila por el valor de \$7000 pesos, por lo tanto, en dinero representa una reducción en el costo del material para el proyecto de \$11'263.000.

Como recomendación se sugiere hacer un diseño en STAAD, chequear los estados límites y optimizar la cuerda en compresión, verificar cumplimiento de estados límites, incluyendo el de servicio, en caso de presentar elementos con criterios de falla alrededor de 1.05 para carga axial de compresión, entonces se recomienda aplicar la teoría de Shrivastava para optimizar el diseño y aumentar la capacidad estructural a la compresión.

7 Conclusiones

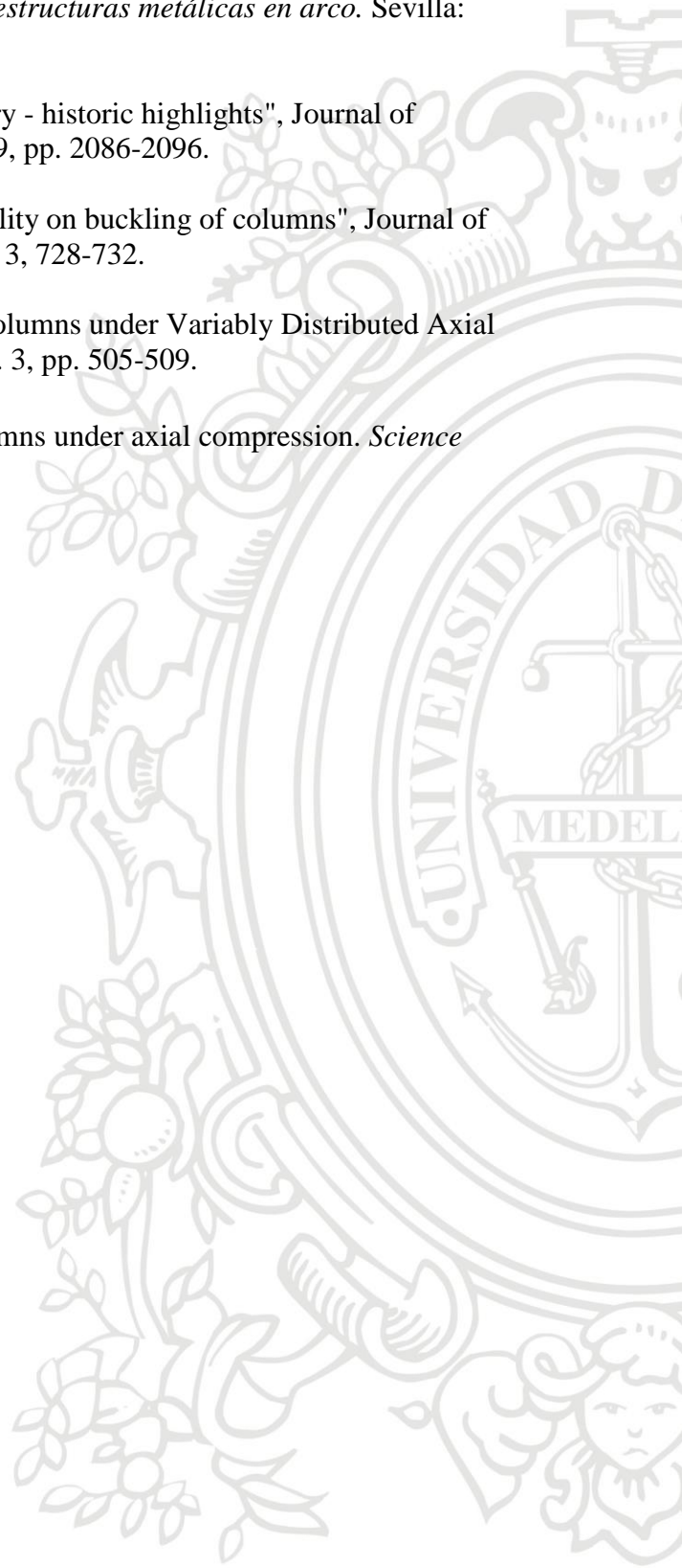
- Se corroboró eficientemente con un margen de error del 2% que la hoja de cálculo cumple con las formulaciones establecidas en el diseño de cerchas de acero y el reglamento normativo colombiano [1] [2].
- Se pudo comparar el diseño de un tipo de cercha con la cercha de ángulos enfrentados, aunque el ejemplo concluyó que al parecer no hay mucha diferencia con respecto a la cercha de perfil en medio en I, no está de más tener la opción de diseño con ángulos enfrentados porque también puede ser un requerimiento arquitectónico del dueño del proyecto.
- Se logró realizar un ejemplo con una armadura existente y aplicar la teoría de Shrivastava [3]. Se concluyó que la resistencia a la compresión fue afectada positivamente por las variaciones de las fuerzas internas de la cuerda en compresión. Se puede observar que la armadura con mayor variación en las fuerzas axiales presenta mayor capacidad estructural
- Para efectos prácticos se recomienda modelar una estructura en STAAD.Pro [11] y optimizarla con un despiece uniforme y si se tiene algún elemento de la cuerda en compresión con un porcentaje de utilización de no mayor a 1.05 se podría optar por aplicar la hoja de cálculo.

- El aporte más significativo del proyecto es aplicar la teoría de Shrivastava [3], ya que permitió optimizar el diseño de la cuerda de una cercha, y se evidenció una reducción significativa en cantidades de material de hasta un 4%, lo que representa un costo de la estructura más económico.
- Se concluyó que es posible tener un despiece de la cuerda más uniforme, sin tener que realizar empalmes con diferentes secciones de material.

8 Referencias Bibliográficas

- [1] AIS. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Asociación de Ingeniería Sísmica.
- [2] American Institute of Steel Construction Inc. (2003). *Manual of Steel Construction Load and Resistance Factor Design*. United States of America.
- [3] Shrivastava, S. (1980). Elastic buckling of a column under varying axial force. *Engineering Journal-American Institute of Steel Construction*, Vol. 17, No. 1, pp. 19-21.
- [4] Garza, L., Lara, L., & Posada, J. (2005). *Resistencia a la compresión de ángulos dobles separados*. Medellín: Universidad Nacional.
- [5] McCormac, J., & Csernak, S. (2012). *Diseño de Estructuras de Acero*. México: Alfaomega Grupo Editor.
- [6] Euler, L. (1759). *On the strength*. Academy Royal Society Belles Lettres Berlin Memoires.
- [7] Valencia, G. (1997). *Estructuras de acero: Diseño con factores de carga y resistencia*. Santafé de Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- [8] Hibbeler, R. (2012). *Structural Analysis*. Prentice Hall.
- [9] Beer, F., Russell, E. J., DeWolf, J., & Mazurek, D. (2012). *Mechanics of Materials*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [10] Bhavan, M. (1998). *Handbook of typified designs for structures with steel roof trusses*. India: Bureau of Indian Standards.
- [11] STAAD.Pro V8i. Software para el análisis y diseño de estructuras. Bentley.
- [12] Visual Basic (VBA). Complemento de cálculo de Excel. Microsoft.

- [13] (2012). Longitud efectiva de pandeo en elementos de cerchas de acero. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- [14] Sánchez-Barbudo, I. (2009). *Pandeo lateral de estructuras metálicas en arco*. Sevilla: Universidad de Sevilla.
- [15] Johnston, B.G., (1983), "Column buckling theory - historic highlights", *Journal of Structural Engineering-ASCE*, Vol. 109, No. 9, pp. 2086-2096.
- [16] Bert, C.W., (1990), "Effect of axial compressibility on buckling of columns", *Journal of Engineering Mechanics-ASCE*, Vol. 116, No. 3, 728-732.
- [17] Vaziri, H.H. and Xie, J., (1992), "Buckling of columns under Variably Distributed Axial Loads", *Computers & Structures*, Vol. 45, No. 3, pp. 505-509.
- [18] Avcar, M. (2014). Elastic buckling of steel columns under axial compression. *Science PG*, 102-108.



Anexos

Tabla 1. Propiedades geométricas y torsionales de las secciones estudiadas

Profile	Altura		Ala		Area mm ²	Eje X-X		Eje Y-Y		Eje Z-Z		J		Cw		Coordenadas				ro ² cm ²	H adimensional	Peso kg/m
	h	tw	bf	tf		lx	rx	ly	ry	lz	rz	cm ⁴	cm ⁶	Xg	Yg	Xo	Yo					
	mm	mm	mm	mm		mm	cm	cm	cm	cm	cm	cm ⁴	cm ⁶	mm	mm	mm	mm					
W 6" X 8.5	148	4.3	100	4.9	16.60	635.00	6.18	82.00	2.22			1.16	32508.21	0.00	0.00	0.00	0.00	43.19	1.00	13		
W 6" X 9	150	4.3	100	5.5	18.20	726.00	6.31	92.00	2.25			1.49	37897.65	0.00	0.00	0.00	0.00	44.95	1.00	13.5		
W 6" X 12	153	5.8	102	7.1	23.40	939.00	6.34	126.00	2.32			3.38	49970.79	0.00	0.00	0.00	0.00	45.51	1.00	18		
W 6" X 15	152	5.8	102	6.6	29.00	1229.00	6.51	387.00	3.65			3.86	64956.21	0.00	0.00	0.00	0.00	55.72	1.00	22.5		
W 6" X 20	157	6.6	153	9.3	38.50	1739.00	6.72	556.00	3.80			9.62	94841.97	0.00	0.00	0.00	0.00	59.61	1.00	29.8		
W 6" X 25	162	8.1	154	11.6	47.80	2244.00	6.85	707.00	3.84			18.69	126899.10	0.00	0.00	0.00	0.00	61.74	1.00	37.1		
W 8" X 10	200	4.3	100	5.2	19.10	1280.00	8.19	86.90	2.13			1.45	121430.53	0.00	0.00	0.00	0.00	71.57	1.00	15		
W 8" X 13	203	5.8	102	6.5	25.10	1686.00	8.19	116.00	2.14			3.15	162750.63	0.00	0.00	0.00	0.00	71.79	1.00	19.3		
W 8" X 15	206	6.2	102	8	29.00	2029.00	8.37	142.00	2.22			5.05	198862.29	0.00	0.00	0.00	0.00	74.86	1.00	22.5		
W 8" X 18	207	5.8	133	8.4	34.20	2611.00	8.73	330.00	3.10			6.55	257457.39	0.00	0.00	0.00	0.00	85.99	1.00	26.6		
W 8" X 24	201	6.2	165	10.2	45.70	3437.00	8.67	764.00	4.09			13.19	312806.87	0.00	0.00	0.00	0.00	91.93	1.00	35.9		
W 8" X 31	203	7.2	203	11	58.60	4543.00	8.81	1535.00	5.12			20.40	418682.88	0.00	0.00	0.00	0.00	103.72	1.00	46.1		
W 8" X 40	210	9.1	205	14.2	76.00	6111.00	8.97	2040.00	5.19			44.05	585703.30	0.00	0.00	0.00	0.00	107.25	1.00	59		
W 8" X 48	216	10.2	206	17.4	91.00	7660.00	9.17	2537.00	5.28			79.37	755313.53	0.00	0.00	0.00	0.00	112.05	1.00	71		
W 10" X 12	251	4.8	101	5.3	23.10	2291.00	9.96	91.00	1.99			1.91	345760.53	0.00	0.00	0.00	0.00	103.12	1.00	17.9		
W 10" X 15	254	5.8	102	6.5	28.90	2939.00	10.09	123.00	2.06			3.84	448266.67	0.00	0.00	0.00	0.00	105.95	1.00	22.3		
W 10" X 17	257	6.1	102	8.4	32.60	3473.00	10.31	149.00	2.14			5.91	536595.52	0.00	0.00	0.00	0.00	111.10	1.00	25.3		
W 10" X 19	260	6.4	102	10	31.12	3998.00	10.51	1777.50	2.21			8.98	624687.50	0.00	0.00	0.00	0.00	185.59	1.00	28.4		
W 10" X 22	258	6.1	146	9.1	42.10	4937.00	10.83	473.00	3.35			9.22	764632.81	0.00	0.00	0.00	0.00	128.50	1.00	32.7		
W 10" X 26	262	6.6	147	11.2	49.60	6057.00	11.05	594.00	3.46			16.17	952472.94	0.00	0.00	0.00	0.00	134.09	1.00	38.5		
W 10" X 49	253	8.6	254	14.2	92.70	11257.00	11.02	3880.00	6.47			53.55	1604838.45	0.00	0.00	0.00	0.00	163.29	1.00	73		
W 12" X 14	303	5.1	101	5.7	27.20	3776.00	11.77	98.00	1.90			2.56	834376.02	0.00	0.00	0.00	0.00	142.43	1.00	21		
W 12" X 16	305	5.6	101	6.7	30.70	4346.00	11.89	116.00	1.94			3.77	966799.10	0.00	0.00	0.00	0.00	145.34	1.00	23.8		
W 12" X 22	313	6.6	102	10.8	42.10	6570.00	12.49	192.00	2.13			11.46	1500010.50	0.00	0.00	0.00	0.00	160.62	1.00	32.7		
W 12" X 26	310	5.8	165	9.7	49.70	8581.00	13.14	727.00	3.82			11.99	1934588.38	0.00	0.00	0.00	0.00	187.28	1.00	38.7		
W 12" X 30	313	6.6	166	11.2	57.20	9997.00	13.22	855.00	3.87			18.44	2276397.88	0.00	0.00	0.00	0.00	189.72	1.00	44.5		
W 12" X 65	308	9.9	305	15.4	123.60	22284.00	13.43	7286.00	7.68			83.73	4769598.28	0.00	0.00	0.00	0.00	239.24	1.00	97		
W 14" X 22	349	5.8	127	8.5	42.10	8358.00	14.09	291.00	2.63			7.41	2422571.52	0.00	0.00	0.00	0.00	205.44	1.00	32.9		
W 14" X 26	353	6.5	128	10.7	50.20	10331.00	14.35	375.00	2.73			13.59	3026189.84	0.00	0.00	0.00	0.00	213.27	1.00	39		
W 14" X 30	352	6.9	171	9.8	57.70	12528.00	14.58	818.00	3.77			14.48	3667598.31	0.00	0.00	0.00	0.00	231.30	1.00	44		
W 14" X 38	358	7.9	172	13.1	72.50	16143.00	14.92	1113.00	3.92			31.45	4800767.17	0.00	0.00	0.00	0.00	238.01	1.00	57.8		
W 14" X 82	363	13	257	21.7	155.30	36599.00	15.35	6147.00	6.29			200.07	10658149.42	0.00	0.00	0.00	0.00	275.25	1.00	122		
W 16" X 26	399	6.4	140	8.8	50.30	1278	15.94	404.00	2.83			9.77	4863.44	0.00	0.00	0.00	0.00	8.29	1.00	38.8		
W 16" X 31	403	7	140	11.2	59.20	15690.00	16.27	514.00	2.95			17.59	6021321.49	0.00	0.00	0.00	0.00	273.72	1.00	46.1		
W 16" X 36	403	7.5	177	10.9	68.40	18734.00	16.55	1009.00	3.84			20.80	7200525.77	0.00	0.00	0.00	0.00	288.64	1.00	53		
W 16" X 45	410	8.8	179	14.4	86.30	24678.00	16.91	1379.00	4.00			44.62	9655228.02	0.00	0.00	0.00	0.00	301.94	1.00	67		
W 18" X 35	450	7.6	152	10.8	66.60	21370.00	17.91	634.00	3.09			19.19	10305502.99	0.00	0.00	0.00	0.00	330.39	1.00	52		
W 18" X 50	457	9	190	14.5	94.90	33415.00	18.77	1661.00	4.18			49.37	16357164.61	0.00	0.00	0.00	0.00	369.61	1.00	74		
W 18" X 60	463	10.5	192	17.7	114.10	41105.00	18.98	2093.00	4.28			88.16	20376990.90	0.00	0.00	0.00	0.00	378.60	1.00	89		
W 21" X 44	525	8.9	165	11.4	83.60	34971.00	20.46	857.00	3.20			28.37	23062059.59	0.00	0.00	0.00	0.00	428.56	1.00	66		
W 21" X 57	535	10.3	166	16.5	107.70	48453.00	21.21	1263.00	3.42			68.60	32565533.85	0.00	0.00	0.00	0.00	461.62	1.00	85		
W 21" X 62	533	10.2	209	15.6	117.60	55157.00	21.65	2379.00	4.50			71.20	36914202.83	0.00	0.00	0.00	0.00	489.25	1.00	92		
W 24" X 55	599	10	178	12.8	105.00	56030.00	23.17	1209.00	3.40			44.43	48134033.88	0.00	0.00	0.00	0.00	545.13	1.00	82		
W 24" X 68	603	10.5	228	14.9	130.30	77003.00	24.31	2951.00	4.76			72.97	66580953.89	0.00	0.00	0.00	0.00	613.61	1.00	101		
W 24" X 76	608	11.2	228	17.3	145.30	88196.00	24.64	3426.00	4.86			106.36	76934801.78	0.00	0.00	0.00	0.00	630.57	1.00	113		
W 24" X 84	612	11.9	229	19.6	160.10	99196.00	24.89	3933.00	4.96			148.23	87029055.10	0.00	0.00	0.00	0.00	644.15	1.00	125		
W 24" X 104	611	12.7	324	19	198.10	129583.00	25.58	10783.00	7.38			188.58	113535441.28	0.00	0.00	0.00	0.00	708.56	1.00	155		
W 24" X 117	616	14	325	21.6	222.80	147754.00	25.75	12374.00	7.45			272.72	130507916.71	0.00	0.00	0.00	0.00	718.71	1.00	174		
HEA100	96	5	100	8	21.20	349.00	4.05	134.00	2.51			3.78	6756.64	0.00	0.00	0.00	0.00	22.78	1.00	16.7		
HEA120	114	5	120	8	25.30	606.00	4.89	231.00	3.02			4.54	17022.54	0.00	0.00	0.00	0.00	33.08	1.00	19.9		
HEA140	133	5.5	140	8.5	31.40	1030.00	5.73	389.00	3.52			6.42	39913.14	0.00	0.00	0.00	0.00	45.19	1.00	27.7		
HEA160	152	6	160	9	38.80	1670.00	6.57	615.00	3.98			8.81	85374.58	0.00	0.00	0.00	0.00	58.89	1.00	30.4		
HEA180	171	6	180	9.5	45.30	2510.00	7.45	924.00	4.52			11.45	163666.12	0.00	0.00	0.00	0.00	75.81	1.00	35.5		
HEA200	190	6.5	200	10	53.80	3690.00	8.28	1330.00	4.98			14.98	298890.00	0.00	0.00	0.00	0.00	93.31	1.00	42.3		
HEA220	210	7	220	11	64.30	5410.00	9.17	1950.00	5.51			21.80	535603.53	0.00	0.00	0.00	0.00	114.46	1.00	50.5		
HEA240	230	7.5	240	12	76.80	7760.00	10.10	2770.00	6.00			30.71	921965.60	0.00	0.00	0.00	0.00	137.11	1.00	60.3		
HEA260	250	7.5	260	12.5	86.80	10450.00	11.00	3660.00	6.50			37.19	1473613.28	0.00	0.00	0.00	0.00	162.56	1.00	68.2		
HEA280	270	8	280	13	97.30	13700.00	11.90	4760.00	7.00			45.40	2262178.25	0.00	0.00	0.00	0.00	189.72	1.00	76.4		
HEA300	290	8.5	300	14	113.00	18300.00	12.70	6310.00	7.49			60.53	3485052.00	0.00	0.00	0.00	0.00	217.79	1.00	88.3		
HEA320	310	9	300	15.5	124.00	22900.00	13.60															

IPE140	140	4.7	73	6.9	16.40	541.00	5.74	44.90	1.65			2.06	23960.36	0.00	0.00	0.00	0.00	35.73	1.00	12.9
IPE160	160	5	82	7.4	20.10	869.00	6.58	68.20	1.84			2.85	50590.49	0.00	0.00	0.00	0.00	46.63	1.00	15.8
IPE180	180	5.3	91	8	23.90	1320.00	7.42	101.00	2.05			3.96	97627.20	0.00	0.00	0.00	0.00	59.46	1.00	18.8
IPE200	200	5.6	100	8.5	28.50	1940.00	8.26	142.00	2.23			5.22	177860.41	0.00	0.00	0.00	0.00	73.05	1.00	22.4
IPE220	220	5.9	110	9.2	33.40	2770.00	9.11	205.00	2.48			7.15	307723.73	0.00	0.00	0.00	0.00	89.07	1.00	26.2
IPE240	240	6.2	120	9.8	39.10	3890.00	9.97	283.00	2.69			9.36	515347.59	0.00	0.00	0.00	0.00	106.73	1.00	30.7
IPE270	270	6.6	135	10.2	45.90	5790.00	11.20	419.00	3.02			12.04	977005.18	0.00	0.00	0.00	0.00	135.27	1.00	36.1
IPE300	300	7.1	150	10.7	53.80	8360.00	12.50	603.00	3.35			15.70	1749214.84	0.00	0.00	0.00	0.00	166.60	1.00	42.2
IPE330	330	7.5	160	11.5	62.60	11800.00	13.70	787.00	3.55			20.70	2992546.38	0.00	0.00	0.00	0.00	201.07	1.00	49.1
IPE360	360	8	170	12.7	72.70	16300.00	15.00	1040.00	3.79			29.14	4915154.57	0.00	0.00	0.00	0.00	238.51	1.00	57.1
IPE400	400	8.6	180	13.5	84.50	23100.00	16.50	1320.00	3.95			37.72	8626824.94	0.00	0.00	0.00	0.00	288.99	1.00	66.3
IPE450	450	9.4	190	14.6	98.80	33700.00	18.50	1670.00	4.12			51.47	15971538.73	0.00	0.00	0.00	0.00	358.00	1.00	77.6
IPE500	500	10.2	200	16	116.00	48200.00	20.40	2140.00	4.30			71.73	28227848.00	0.00	0.00	0.00	0.00	433.97	1.00	90.7
IPE550	550	11.1	210	17.2	134.00	67100.00	22.30	2660.00	4.45			95.53	47620172.16	0.00	0.00	0.00	0.00	520.60	1.00	106
IPE600	600	12	220	19	156.00	92100.00	24.30	3380.00	4.66			134.06	77723420.25	0.00	0.00	0.00	0.00	612.05	1.00	122
_W 6" X 8.5	148	4.3	100	4.9	16.60	82.00	2.22	635.00	6.18			1.16	4197.91	0.00	0.00	0.00	0.00	43.19	1.00	13
_W 6" X 9	150	4.3	100	5.5	18.20	92.00	2.25	726.00	6.31			1.49	4802.46	0.00	0.00	0.00	0.00	44.95	1.00	13.5
_W 6" X 12	153	5.8	102	7.1	23.40	126.00	2.32	939.00	6.34			3.38	6705.35	0.00	0.00	0.00	0.00	45.51	1.00	18
_W 6" X 15	152	5.8	152	6.6	29.00	387.00	3.65	1229.00	6.51			3.86	20454.07	0.00	0.00	0.00	0.00	55.72	1.00	22.5
_W 6" X 20	157	6.6	153	9.3	38.50	556.00	3.80	1739.00	6.72			9.62	30323.25	0.00	0.00	0.00	0.00	59.61	1.00	29.8
_W 6" X 25	162	8.1	154	11.6	47.80	707.00	3.84	2244.00	6.85			18.69	39981.13	0.00	0.00	0.00	0.00	61.74	1.00	37.1
_W 8" X 10	200	4.3	100	5.2	19.10	86.90	2.13	1280.00	8.19			1.45	8243.99	0.00	0.00	0.00	0.00	71.57	1.00	15
_W 8" X 13	203	5.8	102	6.5	25.10	116.00	2.14	1686.00	8.19			3.15	11197.55	0.00	0.00	0.00	0.00	71.79	1.00	19.3
_W 8" X 15	206	6.2	102	8	29.00	142.00	2.22	2029.00	8.37			5.05	13917.42	0.00	0.00	0.00	0.00	74.86	1.00	22.5
_W 8" X 18	207	5.8	133	8.4	34.20	330.00	3.10	2611.00	8.73			6.55	32539.62	0.00	0.00	0.00	0.00	85.99	1.00	26.6
_W 8" X 24	201	6.2	165	10.2	45.70	764.00	4.09	3437.00	8.67			13.19	69532.86	0.00	0.00	0.00	0.00	91.93	1.00	35.9
_W 8" X 31	203	7.2	203	11	58.60	1535.00	5.12	4543.00	8.81			20.40	141465.60	0.00	0.00	0.00	0.00	103.72	1.00	46.1
_W 8" X 40	210	9.1	205	14.2	76.00	2040.00	5.19	6111.00	8.97			44.05	195521.96	0.00	0.00	0.00	0.00	107.25	1.00	59
_W 8" X 48	216	10.2	206	17.4	91.00	2537.00	5.28	7660.00	9.17			79.37	250160.63	0.00	0.00	0.00	0.00	112.05	1.00	71
_W 10" X 12	251	4.8	101	5.3	23.10	91.00	1.99	2291.00	9.96			1.91	13733.83	0.00	0.00	0.00	0.00	103.12	1.00	17.9
_W 10" X 15	254	5.8	102	6.9	28.90	123.00	2.06	2939.00	10.09			3.84	18775.46	0.00	0.00	0.00	0.00	105.95	1.00	22.3
_W 10" X 17	257	6.1	102	8.4	32.60	149.00	2.14	3473.00	10.31			5.91	23021.23	0.00	0.00	0.00	0.00	111.10	1.00	25.3
_W 10" X 19	260	6.4	102	10	31.12	1777.50	2.21	3998.00	10.51			8.98	277734.38	0.00	0.00	0.00	0.00	185.59	1.00	28.4
_W 10" X 22	258	6.1	146	9.1	42.10	473.00	3.35	4937.00	10.83			9.22	73257.31	0.00	0.00	0.00	0.00	128.50	1.00	32.7
_W 10" X 26	262	6.6	147	11.2	49.60	594.00	3.46	6057.00	11.05			16.17	93407.45	0.00	0.00	0.00	0.00	134.09	1.00	38.5
_W 10" X 49	253	8.6	254	14.2	92.70	3880.00	6.47	11257.00	11.02			53.55	553146.77	0.00	0.00	0.00	0.00	163.29	1.00	73
_W 12" X 14	303	5.1	101	5.7	27.20	98.00	1.90	3776.00	11.77			2.56	21654.89	0.00	0.00	0.00	0.00	142.43	1.00	21
_W 12" X 16	305	5.6	101	6.7	30.70	116.00	1.94	4346.00	11.89			3.77	25805.04	0.00	0.00	0.00	0.00	145.34	1.00	23.8
_W 12" X 22	313	6.6	102	10.8	42.10	192.00	2.13	6570.00	12.49			11.46	43835.92	0.00	0.00	0.00	0.00	160.62	1.00	32.7
_W 12" X 26	310	5.8	165	9.7	49.70	727.00	3.82	8581.00	13.14			11.99	163902.31	0.00	0.00	0.00	0.00	187.28	1.00	38.7
_W 12" X 30	313	6.6	166	11.2	57.20	855.00	3.87	9997.00	13.22			18.44	194690.43	0.00	0.00	0.00	0.00	189.72	1.00	44.5
_W 12" X 65	308	9.9	305	15.4	123.60	7286.00	7.68	22284.00	13.43			83.73	1559472.85	0.00	0.00	0.00	0.00	239.24	1.00	97
_W 14" X 22	349	5.8	127	8.5	42.10	291.00	2.63	8358.00	14.09			7.41	84346.53	0.00	0.00	0.00	0.00	205.44	1.00	32.9
_W 14" X 26	353	6.5	128	10.7	50.20	375.00	2.73	10331.00	14.35			13.59	109846.21	0.00	0.00	0.00	0.00	213.27	1.00	39
_W 14" X 30	352	6.9	171	9.8	57.70	818.00	3.77	12528.00	14.58			14.48	239471.22	0.00	0.00	0.00	0.00	231.30	1.00	44
_W 14" X 38	358	7.9	172	13.1	72.50	1113.00	3.92	16143.00	14.92			31.45	330995.10	0.00	0.00	0.00	0.00	238.01	1.00	57.8
_W 14" X 82	363	13	257	21.7	155.30	6147.00	6.29	36599.00	15.35			200.07	1790093.84	0.00	0.00	0.00	0.00	275.25	1.00	122
_W 16" X 26	399	6.4	140	8.8	50.30	404.00	2.83	12.78	15.94			9.77	153778.60	0.00	0.00	0.00	0.00	8.29	1.00	38.8
_W 16" X 31	403	7	140	11.2	59.20	514.00	2.95	15690.00	16.27			17.59	197256.80	0.00	0.00	0.00	0.00	273.72	1.00	46.1
_W 16" X 36	403	7.5	177	10.9	68.40	1009.00	3.84	18734.00	16.55			20.80	387815.23	0.00	0.00	0.00	0.00	288.64	1.00	53
_W 16" X 45	410	8.8	179	14.4	86.30	1379.00	4.00	24678.00	16.91			44.62	539531.54	0.00	0.00	0.00	0.00	301.94	1.00	67
_W 18" X 35	450	7.6	152	10.8	66.60	634.00	3.09	21370.00	17.91			19.19	305741.17	0.00	0.00	0.00	0.00	330.39	1.00	52
_W 18" X 50	457	9	190	14.5	94.90	1661.00	4.18	33415.00	18.77			49.37	813085.45	0.00	0.00	0.00	0.00	369.61	1.00	74
_W 18" X 60	463	10.5	192	17.7	114.10	2093.00	4.28	41105.00	18.98			88.16	1037563.36	0.00	0.00	0.00	0.00	378.60	1.00	89
_W 21" X 44	525	8.9	165	11.4	83.60	857.00	3.20	34971.00	20.46			28.37	565159.28	0.00	0.00	0.00	0.00	428.56	1.00	66
_W 21" X 57	535	10.3	166	16.5	107.70	1263.00	3.42	48453.00	21.21			68.60	848869.40	0.00	0.00	0.00	0.00	461.62	1.00	85
_W 21" X 62	533	10.2	209	15.6	117.60	2379.00	4.50	55157.00	21.65			71.20	1592162.17	0.00	0.00	0.00	0.00	489.25	1.00	92
_W 24" X 55	599	10	178	12.8	105.00	1209.00	3.40	56030.00	23.17			44.43	1038623.00	0.00	0.00	0.00	0.00	545.13	1.00	82
_W 24" X 68	603	10.5	228	14.9	130.30	2951.00	4.76	77003.00	24.31			72.97	2551594.03	0.00	0.00	0.00	0.00	613.61	1.00	101
_W 24" X 76	608	11.2	228	17.3	145.30	3426.00	4.86	88196.00	24.64			106.36	2988555.39	0.00	0.00	0.00	0.00	630.57	1.00	113
_W 24" X 84	612	11.9	229	19.6	160.10	3933.00	4.96	99196.00	24.89			148.23	3450595.53	0.00	0.00	0.00	0.00	644.15	1.00	125
_W 24" X 104	611	12.7	324	19	198.10	10783.00	7.38	129583.00	25.58			188.58	9447633.28	0.00	0.00	0.00	0.00	708.56	1.00	155
_W 24" X 117	616	14	325	21.6	222.80	12374.00</														

_HEA600	590	13	300	25	226.00	11300.00	7.05	141000.00	25.00			353.88	9018106.25	0.00	0.00	0.00	0.00	673.89	1.00	178
_HEA650	640	13.5	300	26	242.00	11700.00	6.96	175000.00	26.90			401.88	11027133.00	0.00	0.00	0.00	0.00	771.49	1.00	190
_HEA700	690	14.5	300	27	260.00	12200.00	6.84	215000.00	28.70			461.03	13406854.50	0.00	0.00	0.00	0.00	873.85	1.00	204
_HEA800	790	15	300	28	286.00	12600.00	6.65	303000.00	32.60			524.77	18290286.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1103.50	1.00	224
_HEA900	890	16	300	30	321.00	13500.00	6.50	422000.00	36.30			657.42	24981500.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1356.70	1.00	252
_HEA1000	990	16.5	300	31	347.00	14000.00	6.35	554000.00	40.00			739.42	32188835.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1636.89	1.00	272
_IPE80	80	3.8	46	5.2	7.64	8.48	1.05	80.10	3.24			0.57	118.61	0.00	0.00	0.00	0.00	11.59	1.00	6
_IPE100	100	4.1	55	5.7	10.30	15.90	1.24	171.00	4.07			0.90	353.48	0.00	0.00	0.00	0.00	18.15	1.00	8.1
_IPE120	120	4.4	64	6.3	13.20	27.60	1.45	318.00	4.90			1.39	892.01	0.00	0.00	0.00	0.00	26.18	1.00	10.4
_IPE140	140	4.7	73	6.9	16.40	44.90	1.65	541.00	5.74			2.06	1988.58	0.00	0.00	0.00	0.00	35.73	1.00	12.9
_IPE160	160	5	82	7.4	20.10	68.20	1.84	869.00	6.58			2.85	3970.39	0.00	0.00	0.00	0.00	46.63	1.00	15.8
_IPE180	180	5.3	91	8	23.90	101.00	2.05	1320.00	7.42			3.96	7469.96	0.00	0.00	0.00	0.00	59.46	1.00	18.8
_IPE200	200	5.6	100	8.5	28.50	142.00	2.23	1940.00	8.26			5.22	13018.65	0.00	0.00	0.00	0.00	73.05	1.00	22.4
_IPE220	220	5.9	110	9.2	33.40	205.00	2.48	2770.00	9.11			7.15	22773.78	0.00	0.00	0.00	0.00	89.07	1.00	26.2
_IPE240	240	6.2	120	9.8	39.10	283.00	2.69	3890.00	9.97			9.36	37491.87	0.00	0.00	0.00	0.00	106.73	1.00	30.7
_IPE270	270	6.6	135	10.2	45.90	419.00	3.02	5790.00	11.20			12.04	70702.10	0.00	0.00	0.00	0.00	135.27	1.00	36.1
_IPE300	300	7.1	150	10.7	53.80	603.00	3.35	8360.00	12.50			15.70	126169.44	0.00	0.00	0.00	0.00	166.60	1.00	42.2
_IPE330	330	7.5	160	11.5	62.60	787.00	3.55	11800.00	13.70			20.70	199587.63	0.00	0.00	0.00	0.00	201.07	1.00	49.1
_IPE360	360	8	170	12.7	72.70	1040.00	3.79	16300.00	15.00			29.14	313604.95	0.00	0.00	0.00	0.00	238.51	1.00	57.1
_IPE400	400	8.6	180	13.5	84.50	1320.00	3.95	23100.00	16.50			37.72	492961.43	0.00	0.00	0.00	0.00	288.99	1.00	66.3
_IPE450	450	9.4	190	14.6	98.80	1670.00	4.12	33700.00	18.50			51.47	791467.94	0.00	0.00	0.00	0.00	358.00	1.00	77.6
_IPE500	500	10.2	200	16	116.00	2140.00	4.30	48200.00	20.40			71.73	1253269.60	0.00	0.00	0.00	0.00	433.97	1.00	90.7
_IPE550	550	11.1	210	17.2	134.00	2660.00	4.45	67100.00	22.30			95.53	1887774.34	0.00	0.00	0.00	0.00	520.60	1.00	106
_IPE600	600	12	220	19	156.00	3380.00	4.66	92100.00	24.30			134.06	2852390.45	0.00	0.00	0.00	0.00	612.05	1.00	122
1/2 W 6" X 8.5	74	4.3	100	4.9	8.30	37.49	2.13	41.42	2.23			0.58	1.63	0.00	15.57	0.00	13.12	11.23	0.85	6.5
1/2 W 6" X 9	75	4.3	100	5.5	9.10	39.38	2.08	45.66	2.24			0.75	1.99	0.00	14.88	0.00	12.13	10.82	0.86	6.75
1/2 W 6" X 12	76.5	5.8	102	7.1	11.70	54.73	2.16	62.27	2.31			1.69	4.74	0.00	16.58	0.00	13.03	11.70	0.85	9
1/2 W 6" X 15	76	5.8	152	6.6	14.50	58.51	2.01	193.94	3.66			1.93	9.09	0.00	13.75	0.00	10.45	18.50	0.94	11.25
1/2 W 6" X 20	78.5	6.6	153	9.3	19.25	73.19	1.95	276.38	3.79			4.81	23.22	0.00	13.85	0.00	9.20	19.01	0.96	14.9
1/2 W 6" X 25	81	8.1	154	11.6	23.90	95.10	1.99	355.02	3.85			9.34	45.87	0.00	15.23	0.00	9.43	19.72	0.95	18.55
1/2 W 8" X 10	100	4.3	100	5.2	9.55	88.58	3.05	43.55	2.14			0.73	3.02	0.00	23.87	0.00	21.27	18.36	0.75	7.5
1/2 W 8" X 13	101.5	5.8	102	6.5	12.55	119.47	3.09	56.77	2.13			1.57	7.16	0.00	25.43	0.00	22.18	18.96	0.74	9.65
1/2 W 8" X 15	103	6.2	102	8	14.50	135.81	3.06	70.91	2.21			2.53	10.20	0.00	24.80	0.00	20.80	18.58	0.77	11.25
1/2 W 8" X 18	103.5	5.8	133	8.4	17.10	141.47	2.88	165.79	3.11			3.27	14.99	0.00	20.79	0.00	16.59	20.72	0.87	13.3
1/2 W 8" X 24	100.5	6.2	165	10.2	22.85	146.90	2.54	381.21	4.08			6.59	38.85	0.00	17.32	0.00	12.22	24.60	0.94	17.95
1/2 W 8" X 31	101.5	7.2	203	11	29.30	178.01	2.46	772.81	5.14			10.20	86.50	0.00	16.70	0.00	11.20	33.71	0.96	23.05
1/2 W 8" X 40	105	9.1	205	14.2	38.00	238.47	2.51	1021.43	5.18			22.02	190.94	0.00	18.40	0.00	11.30	34.43	0.96	29.5
1/2 W 8" X 48	108	10.2	206	17.4	45.50	285.18	2.50	1268.17	5.28			39.69	348.67	0.00	19.59	0.00	10.89	35.33	0.97	35.5
1/2 W 10" X 12	125.5	4.8	101	5.3	11.55	179.05	3.94	45.35	1.98			0.95	6.76	0.00	33.90	0.00	31.25	29.19	0.67	8.95
1/2 W 10" X 15	127	5.8	102	6.9	14.45	225.06	3.95	60.14	2.04			1.92	12.64	0.00	33.95	0.00	30.50	29.04	0.68	11.15
1/2 W 10" X 17	128.5	6.1	102	8.4	16.30	250.00	3.92	74.03	2.13			2.96	16.48	0.00	32.97	0.00	28.77	28.16	0.71	12.65
1/2 W 10" X 19	130	6.4	102	10	15.56	274.06	4.20	89.26	2.40			4.49	21.59	0.00	37.83	0.00	32.83	34.13	0.68	14.2
1/2 W 10" X 22	129	6.1	146	9.1	21.05	288.28	3.70	237.62	3.36			4.61	28.44	0.00	26.86	0.00	22.31	29.96	0.83	16.35
1/2 W 10" X 26	131	6.6	147	11.2	24.80	323.93	3.61	293.47	3.44			8.09	46.74	0.00	26.39	0.00	20.79	29.22	0.85	19.25
1/2 W 10" X 49	126.5	8.6	254	14.2	46.35	418.64	3.01	1943.02	6.47			26.77	355.91	0.00	20.18	0.00	13.08	52.66	0.97	36.5
1/2 W 12" X 14	151.5	5.1	101	5.7	13.60	315.18	4.81	48.99	1.90			1.28	13.43	0.00	44.18	0.00	41.33	43.86	0.61	10.5
1/2 W 12" X 16	152.5	5.6	101	6.7	15.35	359.69	4.84	58.60	1.95			1.89	18.34	0.00	43.82	0.00	40.47	43.63	0.62	11.9
1/2 W 12" X 22	156.5	6.6	102	10.8	21.05	483.73	4.79	96.83	2.14			5.73	36.83	0.00	41.04	0.00	35.64	40.28	0.68	16.35
1/2 W 12" X 26	155	5.8	165	9.7	24.85	482.73	4.41	360.55	3.81			6.00	46.82	0.00	31.05	0.00	26.20	40.80	0.83	19.35
1/2 W 12" X 30	156.5	6.6	166	11.2	28.60	554.86	4.40	423.36	3.85			9.22	72.07	0.00	31.76	0.00	26.16	41.04	0.83	22.25
1/2 W 12" X 65	154	9.9	305	15.4	61.80	853.37	3.72	3627.33	7.66			41.86	804.01	0.00	24.66	0.00	16.96	75.38	0.96	48.5
1/2 W 14" X 22	174.5	5.8	127	8.5	21.05	607.43	5.37	145.52	2.63			3.71	35.48	0.00	44.03	0.00	39.78	51.59	0.69	16.45
1/2 W 14" X 26	176.5	6.5	128	10.7	25.10	715.61	5.34	185.77	2.72			6.79	56.09	0.00	43.11	0.00	37.76	50.17	0.72	19.5
1/2 W 14" X 30	176	6.9	171	9.8	28.85	779.38	5.20	407.51	3.76			7.24	78.39	0.00	39.77	0.00	34.87	53.30	0.77	22
1/2 W 14" X 38	179	7.9	172	13.1	36.25	966.00	5.16	554.95	3.91			15.72	149.68	0.00	38.80	0.00	32.25	52.36	0.80	28.9
1/2 W 14" X 82	181.5	13	257	21.7	77.65	1708.18	4.69	3058.41	6.28			100.03	1507.81	0.00	34.97	0.00	24.12	67.21	0.91	61
1/2 W 16" X 26	199.5	6.4	140	8.8	25.15	972.29	6.22	199.50	2.82			4.89	67.06	0.00	52.70	0.00	48.30	69.92	0.67	19.4
1/2 W 16" X 31	201.5	7	140	11.2	29.60	1140.33	6.21	258.64	2.96			8.80	98.40	0.00	50.83	0.00	45.23	67.72	0.70	23.05
1/2 W 16" X 36	201.5	7.5	177	10.9	34.20	1276.50	6.11	510.06	3.86			10.40	138.17	0.00	47.46	0.00	42.01	69.89	0.75	26.5
1/2 W 16" X 45	205	8.8	179	14.4	43.15	1562.07	6.02	684.85	3.98			22.31	265.42	0.00	46.94	0.00	39.74	67.87	0.77	33.5
1/2 W 18" X 35	225	7.6	152	10.8	33.30	1658.41	7.06	319.21	3.10			9.60	159.85	0.00	60.30	0.00	54.90	89.53	0.66	26
1/2 W 18" X 50	228.5	9	190	14.5	47.45	2226.23	6.85	835.40	4.20			24.68	364.53	0.00	53.53	0.00	46.28	85.94	0.75	37
1/2 W 18" X 60	231.5	10.5	192	17.7	57.05	2669.95	6.84	1043.69	4.28			44.08	627.48							

1/2 HEA280	135	8	280	13	48.65	476.85	3.13	2378.65	6.99			22.70	365.10	0.00	19.71	0.00	13.21	60.44	0.97	38.2
1/2 HEA300	145	8.5	300	14	56.50	628.73	3.34	3150.67	7.47			30.26	559.33	0.00	20.87	0.00	13.87	68.82	0.97	44.15
1/2 HEA320	155	9	300	15.5	62.00	806.68	3.61	3488.35	7.50			40.82	762.88	0.00	23.08	0.00	15.33	71.62	0.97	48.8
1/2 HEA340	165	9.5	300	16.5	66.50	1017.71	3.91	3713.56	7.47			49.40	934.00	0.00	25.39	0.00	17.14	74.09	0.96	52.5
1/2 HEA360	175	10	300	17.5	71.50	1266.57	4.21	3938.81	7.42			59.14	1132.52	0.00	27.63	0.00	18.88	76.37	0.95	56
1/2 HEA400	195	11	300	19	79.50	1890.69	4.88	4276.95	7.33			76.82	1522.06	0.00	32.87	0.00	23.37	83.04	0.93	62.5
1/2 HEA450	220	11.5	300	21	89.00	2809.61	5.62	4727.52	7.29			103.23	2124.89	0.00	38.42	0.00	27.92	92.48	0.92	70
1/2 HEA500	245	12	300	23	99.00	4008.66	6.36	5178.20	7.23			135.12	2892.40	0.00	44.07	0.00	32.57	103.41	0.90	77.5
1/2 HEA550	270	12.5	300	24	106.00	5512.31	7.21	5404.01	7.14			155.04	3523.72	0.00	50.79	0.00	38.79	118.03	0.87	83
1/2 HEA600	295	13	300	25	113.00	7373.32	8.08	5629.94	7.06			176.94	4305.57	0.00	58.00	0.00	45.50	135.77	0.85	89
1/2 HEA650	320	13.5	300	26	121.00	9636.86	8.92	5856.03	6.96			200.94	5272.99	0.00	65.13	0.00	52.13	155.21	0.82	95
1/2 HEA700	345	14.5	300	27	130.00	12678.26	9.88	6083.08	6.84			230.52	6775.54	0.00	74.38	0.00	60.88	181.39	0.80	102
1/2 HEA800	395	15	300	28	143.00	19205.53	11.59	6310.32	6.64			262.38	9300.97	0.00	89.64	0.00	75.64	235.65	0.76	112
1/2 HEA900	445	16	300	30	160.50	28513.48	13.33	6764.17	6.49			328.71	14108.63	0.00	106.67	0.00	91.67	303.83	0.72	126
1/2 HEA1000	495	16.5	300	31	173.50	39532.78	15.09	6992.37	6.35			369.71	19342.54	0.00	124.36	0.00	108.86	386.67	0.69	136
1/2 IPE80	40	3.8	46	5.2	3.82	4.80	1.12	4.23	1.05			0.28	0.17	0.00	9.45	0.00	6.85	2.83	0.83	3
1/2 IPE100	50	4.1	55	5.7	5.15	10.24	1.41	7.93	1.24			0.45	0.41	0.00	11.56	0.00	8.71	4.29	0.82	4.05
1/2 IPE120	60	4.4	64	6.3	6.60	19.22	1.71	13.80	1.45			0.69	0.89	0.00	13.79	0.00	10.64	6.14	0.82	5.2
1/2 IPE140	70	4.7	73	6.9	8.20	32.91	2.00	22.42	1.65			1.03	1.74	0.00	16.03	0.00	12.58	8.33	0.81	6.45
1/2 IPE160	80	5	82	7.4	10.05	52.56	2.29	34.08	1.84			1.43	3.09	0.00	18.02	0.00	14.32	10.67	0.81	7.9
1/2 IPE180	90	5.3	91	8	11.95	79.85	2.58	50.34	2.05			1.98	5.31	0.00	20.26	0.00	16.26	13.54	0.80	9.4
1/2 IPE200	100	5.6	100	8.5	14.25	116.18	2.86	70.97	2.23			2.61	8.55	0.00	22.04	0.00	17.79	16.30	0.81	11.2
1/2 IPE220	110	5.9	110	9.2	16.70	164.38	3.14	102.22	2.47			3.58	13.88	0.00	24.01	0.00	19.41	19.73	0.81	13.1
1/2 IPE240	120	6.2	120	9.8	19.55	225.66	3.40	141.34	2.69			4.68	21.39	0.00	25.63	0.00	20.73	23.07	0.81	15.35
1/2 IPE270	135	6.6	135	10.2	22.95	342.93	3.87	209.43	3.02			6.02	35.64	0.00	29.12	0.00	24.02	29.84	0.81	18.05
1/2 IPE300	150	7.1	150	10.7	26.90	505.68	4.34	301.35	3.35			7.85	58.80	0.00	32.73	0.00	27.38	37.50	0.80	21.1
1/2 IPE330	165	7.5	160	11.5	31.30	710.07	4.76	393.07	3.54			10.35	90.59	0.00	35.84	0.00	30.09	44.30	0.80	24.55
1/2 IPE360	180	8	170	12.7	36.35	984.31	5.20	520.67	3.78			14.57	144.36	0.00	39.25	0.00	32.90	52.22	0.79	28.55
1/2 IPE400	200	8.6	180	13.5	42.25	1434.77	5.83	657.09	3.94			18.86	227.16	0.00	44.41	0.00	37.66	63.69	0.78	33.15
1/2 IPE450	225	9.4	190	14.6	49.40	2195.80	6.67	835.97	4.11			25.74	386.28	0.00	52.06	0.00	44.76	81.41	0.75	38.8
1/2 IPE500	250	10.2	200	16	58.00	3232.03	7.46	1068.74	4.29			35.87	645.33	0.00	59.15	0.00	51.15	100.31	0.74	45.35
1/2 IPE550	275	11.1	210	17.2	67.00	4612.43	8.30	1330.35	4.46			47.76	1045.49	0.00	67.04	0.00	58.44	122.85	0.72	53
1/2 IPE600	300	12	220	19	78.00	6430.75	9.08	1689.98	4.65			67.03	1683.92	0.00	74.04	0.00	64.54	145.77	0.71	61
T 19x3.2	19.05	3.17	19.05	3.17	2.22	0.73	0.57	3.38	1.23			0.08	0.01	0.00	5.90	0.00	4.32	2.04	0.91	1.76
T 25x3.2	25.4	3.17	25.4	3.17	3.04	1.81	0.77	6.54	1.47			0.11	0.02	0.00	7.46	0.00	5.88	3.09	0.89	2.3864
T 25x4.8	25.4	4.76	25.4	4.76	4.42	2.49	0.75	9.98	1.50			0.37	0.07	0.00	8.01	0.00	5.63	3.14	0.90	3.4697
T 32x3.2	31.7	3.17	31.7	3.17	3.86	3.68	0.98	11.34	1.71			0.13	0.04	0.00	9.00	0.00	7.41	4.44	0.88	3
T 32x4.8	31.7	4.76	31.7	4.76	5.58	5.14	0.96	17.22	1.76			0.46	0.13	0.00	9.67	0.00	7.29	4.54	0.88	4.4
T 38x3.2	38.1	3.17	38.1	3.17	4.68	6.48	1.18	17.92	1.96			0.16	0.07	0.00	10.58	0.00	9.00	6.02	0.87	3.66
T 38x4.8	38.1	4.76	38.1	4.76	6.86	9.15	1.15	27.15	1.99			0.55	0.22	0.00	11.17	0.00	8.79	6.07	0.87	5.36
T 38x6.4	38.1	6.35	38.1	6.35	8.80	11.53	1.14	36.70	2.04			1.30	0.50	0.00	11.93	0.00	8.75	6.25	0.88	6.96
T 51x3.2	50.8	3.17	50.8	3.17	6.20	15.84	1.60	38.15	2.48			0.22	0.16	0.00	13.97	0.00	12.38	10.24	0.85	4.92
T 51x4.8	50.8	4.76	50.8	4.76	9.22	22.67	1.57	57.57	2.50			0.73	0.51	0.00	14.45	0.00	12.07	10.16	0.86	7.26
T 51x6.4	50.8	6.35	50.8	6.35	12.12	28.94	1.55	77.47	2.53			1.73	1.17	0.00	15.00	0.00	11.82	10.18	0.86	9.5
T 64x4.8	63.5	4.76	63.5	4.76	11.62	45.48	1.98	105.12	3.01			0.91	0.98	0.00	17.66	0.00	15.28	15.30	0.85	9.22
T 64x6.4	63.5	6.35	63.5	6.35	15.36	58.53	1.95	141.10	3.03			2.17	2.27	0.00	18.17	0.00	15.00	15.25	0.85	12.2
T 76x6.4	76.2	6.35	76.2	6.35	18.58	103.58	2.36	232.76	3.54			2.60	3.91	0.00	21.36	0.00	18.19	21.41	0.85	14.58
T 76x7.9	76.2	7.94	76.2	7.94	22.96	125.72	2.34	293.06	3.57			5.09	7.47	0.00	21.95	0.00	17.98	21.47	0.85	18.16
T 76x9.5	76.2	9.53	76.2	9.53	27.22	146.55	2.32	352.91	3.60			8.79	12.61	0.00	22.55	0.00	17.79	21.51	0.85	21.44
T 76x12.7	76.2	12.7	76.2	12.7	35.48	184.51	2.28	475.45	3.66			20.81	28.50	0.00	23.67	0.00	17.32	21.60	0.86	27.98
T 102x6.4	101.6	6.35	101.6	6.35	25.04	256.10	3.20	528.14	4.59			3.47	9.25	0.00	27.71	0.00	24.54	37.34	0.84	19.64
T 102x7.9	101.6	7.94	101.6	7.94	30.96	313.09	3.18	661.93	4.62			6.78	17.77	0.00	28.38	0.00	24.41	37.45	0.84	24.4
T 102x9.5	101.6	9.53	101.6	9.53	36.90	367.50	3.16	795.61	4.64			11.72	30.19	0.00	28.93	0.00	24.16	37.36	0.84	29.16
T 102x12.7	101.6	12.7	101.6	12.7	48.38	468.78	3.11	1069.49	4.70			27.75	68.94	0.00	30.06	0.00	23.71	37.42	0.85	38.1
T 127x9.5	127	9.53	127	9.53	46.58	728.30	3.95	1484.28	5.64			14.66	59.37	0.00	35.29	0.00	30.52	56.82	0.84	36.6
T 127x12.7	127	12.7	127	12.7	61.30	936.54	3.91	1986.96	5.69			34.69	136.51	0.00	36.42	0.00	30.07	56.74	0.84	48.22
T 152x9.5	152.4	9.53	152.4	9.53	56.26	728.30	3.60	1484.28	5.14			17.59	103.11	0.00	41.65	0.00	36.88	52.93	0.74	44.34
T 152x12.7	152.4	12.7	152.4	12.7	74.20	1643.72	4.71	3326.96	6.70			41.62	238.19	0.00	42.79	0.00	36.44	80.27	0.83	58.34
T 152x15.9	152.4	15.88	152.4	15.88	91.74	1997.15	4.67	4183.28	6.75			81.37	454.45	0.00	43.96	0.00	36.02	80.34	0.84	72.02
Li 19x3.2	19.05	3.17	19.05	3.17	2.22	0.74	0.58	315.64	11.92			0.08	190.31	0.00	5.90	0.00	0.00	142.51	1.00	1.76
Li 25x3.2	25.4	3.17	25.4	3.17	3.04	1.84	0.78	421.82	11.78			0.11	500.82	0.00	7.46	0.00	0.00	139.36	1.00	2.3864
Li 25x4.8	25.4	4.76	25.4	4.76	4.42	2.50	0.75	607.49	11.72			0.37	667.06	0.00	8.01	0.00	0.00	138.01	1.00	3.4697
Li 32x3.2	31.7	3.18	31.7	3.18	3.86	3.66	0.97	523.10	11.64			0.14	1052.75	0.00	9.00	0.00	0.00	136.47	1.00	3
Li 32x4.8	31.7	4.76	31.7	4.76	5.58	5.08	0.95	747.33	11.57			0.46	1433.99	0.00						

LI 127x12.7	127	12.7	127	12.7	61.30	936.60	3.91	5746.11	9.68			34.69	422290.77	0.00	36.42	0.00	0.00	109.02	1.00	48.22
LI 152x9.5	152.4	9.53	152.4	9.53	56.26	1281.20	4.77	5189.80	9.60			17.59	678795.59	0.00	41.65	0.00	0.00	115.02	1.00	44.34
LI 152x12.7	152.4	12.7	152.4	12.7	74.20	1657.40	4.73	6672.24	9.48			41.62	853541.45	0.00	42.79	0.00	0.00	112.26	1.00	58.34
LI 152x15.9	152.4	15.88	152.4	15.88	91.74	2011.20	4.68	8036.81	9.36			81.37	1006606.96	0.00	43.96	0.00	0.00	109.53	1.00	72.02
L 19x3.2	19.05	3.17	19.05	3.17	1.11	0.37	0.58	0.37	0.58	0.16	0.38	0.04	0.01	5.90	5.90	4.32	4.32	1.04	0.64	0.88
L 25x3.2	25.4	3.17	25.4	3.17	1.52	0.92	0.78	0.92	0.78	0.41	0.52	0.05	0.02	7.46	7.46	5.88	5.88	1.90	0.64	1.1932
L 25x4.8	25.4	4.76	25.4	4.76	2.21	1.25	0.75	1.25	0.75	0.41	0.43	0.17	0.05	8.01	8.01	5.63	5.63	1.76	0.64	1.73485
L 32x3.2	31.7	3.17	31.7	3.17	1.93	1.83	0.97	1.83	0.97	0.83	0.66	0.06	0.04	9.00	9.00	7.41	7.41	2.99	0.63	1.5
L 32x4.8	31.7	4.76	31.7	4.76	2.79	2.54	0.95	2.54	0.95	0.83	0.55	0.21	0.12	9.67	9.67	7.29	7.29	2.88	0.63	2.2
L 38x3.2	38.1	3.17	38.1	3.17	2.34	3.25	1.18	3.25	1.18	1.24	0.73	0.08	0.08	10.58	10.58	9.00	9.00	4.40	0.63	1.83
L 38x4.8	38.1	4.76	38.1	4.76	3.43	4.58	1.16	4.58	1.16	1.66	0.70	0.26	0.22	11.17	11.17	8.79	8.79	4.22	0.63	2.68
L 38x6.4	38.1	6.35	38.1	6.35	4.40	5.83	1.15	5.83	1.15	2.49	0.75	0.60	0.46	11.93	11.93	8.75	8.75	4.18	0.63	3.48
L 51x3.2	50.8	3.17	50.8	3.17	3.10	7.91	1.60	7.91	1.60	3.32	1.03	0.10	0.19	13.97	13.97	12.38	12.38	8.17	0.62	2.46
L 51x4.8	50.8	4.76	50.8	4.76	4.61	11.45	1.58	11.45	1.58	4.57	1.00	0.35	0.58	14.45	14.45	12.07	12.07	7.88	0.63	3.63
L 51x6.4	50.8	6.35	50.8	6.35	6.06	14.57	1.55	14.57	1.55	5.82	0.98	0.81	1.25	15.00	15.00	11.82	11.82	7.60	0.63	4.75
L 64x4.8	63.5	4.76	63.5	4.76	5.81	22.89	1.98	22.89	1.98	9.15	1.25	0.44	1.21	17.66	17.66	15.28	15.28	12.55	0.63	4.61
L 64x6.4	63.5	6.35	63.5	6.35	7.68	29.14	1.95	29.14	1.95	11.65	1.23	1.03	2.66	18.17	18.17	15.00	15.00	12.09	0.63	6.1
L 76x6.4	76.2	6.35	76.2	6.35	9.29	51.60	2.36	51.60	2.36	20.39	1.48	1.25	4.85	21.36	21.36	18.19	18.19	17.72	0.63	7.29
L 76x7.9	76.2	7.94	76.2	7.94	11.48	62.90	2.34	62.90	2.34	24.97	1.47	2.41	8.84	21.95	21.95	17.98	17.98	17.43	0.63	9.08
L 76x9.5	76.2	9.53	76.2	9.53	13.61	73.30	2.32	73.30	2.32	29.55	1.47	4.12	14.25	22.55	22.55	17.79	17.79	17.10	0.63	10.72
L 76x12.7	76.2	12.7	76.2	12.7	17.74	92.40	2.28	92.40	2.28	38.29	1.47	9.54	29.14	23.67	23.67	17.32	17.32	16.42	0.63	13.99
L 102x6.4	101.6	6.35	101.6	6.35	12.52	124.90	3.16	124.90	3.16	48.10	1.96	1.68	12.29	27.71	27.71	24.54	24.54	31.99	0.62	9.82
L 102x7.9	101.6	7.94	101.6	7.94	15.48	154.40	3.16	154.40	3.16	61.60	1.99	3.26	22.85	28.38	28.38	24.41	24.41	31.87	0.63	12.2
L 102x9.5	101.6	9.53	101.6	9.53	18.45	181.50	3.14	181.50	3.14	73.25	1.99	5.59	37.53	28.93	28.93	24.16	24.16	31.35	0.63	14.58
L 102x12.7	101.6	12.7	101.6	12.7	24.19	231.40	3.09	231.40	3.09	94.48	1.98	13.01	79.95	30.06	30.06	23.71	23.71	30.38	0.63	19.05
L 127x9.5	127	9.53	127	9.53	23.29	363.80	3.95	363.80	3.95	148.00	2.52	7.05	77.94	35.29	35.29	30.52	30.52	49.88	0.63	18.3
L 127x12.7	127	12.7	127	12.7	30.65	468.30	3.91	468.30	3.91	190.10	2.49	16.48	169.93	36.42	36.42	30.07	30.07	48.65	0.63	24.11
L 152x9.5	152.4	9.53	152.4	9.53	28.13	640.60	4.77	640.60	4.77	262.60	3.06	8.52	140.23	41.65	41.65	36.88	36.88	72.75	0.63	22.17
L 152x12.7	152.4	12.7	152.4	12.7	37.10	828.70	4.73	828.70	4.73	331.30	2.99	19.94	310.26	42.79	42.79	36.44	36.44	71.23	0.63	29.17
L 152x15.9	152.4	15.88	152.4	15.88	45.87	1005.60	4.68	1005.60	4.68	406.40	2.98	38.57	566.07	43.96	43.96	36.02	36.02	69.79	0.63	36.01