



UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE
METODOLOGÍAS PARA EL DISEÑO DE
ELEMENTOS DE ACERO SOMETIDOS A
COMPRESIÓN AXIAL.**

Autor:
Acevedo R. Marisela A.
Robledo B. Tomas O.

Urb. Yuma II, calle N° 3. Municipio San Diego
Teléfono: (0241) 8714240 (master) – Fax: (0241) 8712394



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE METODOLOGÍAS PARA EL DISEÑO
DE ELEMENTOS DE ACERO SOMETIDOS A COMPRESIÓN AXIAL.**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

Autor: Acevedo R. Marisela A.

C.I. 22.676.942

Robleto B. Tomas O.

C.I. 24.553.975

Tutor: Ing. Ramón Mata

San Diego, Noviembre de 2017



Universidad José Antonio Páez
Facultad de Ingeniería

FI-I-039-2017-2

Valencia, 07 de Julio de 2017.

Ciudadanos:

Acevedo Marisela

C.I. 22.676.942

Robleto Tomas

C.I. 24.553.975

Presente.-

Cumplo con informarle que la Comisión de Trabajo de Grado y Pasantías de la Facultad de Ingeniería en su reunión N° 2-2017 de fecha **07/07/2017** aprobó el proyecto de trabajo de grado titulado **“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE METODOLOGÍAS PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE ACERO SOMETIDOS A COMPRESIÓN AXIAL.”** presentado por usted(es) como requisito para optar al título de Ingeniero Civil.

Se ratifica la designación del Ing. Ramón Mata, C.I.22.728.474 y la Ing. Alicia Pizzella, C.I. 4.598.880 como Tutotes Académicos que lo asesorarán en el desarrollo de este proyecto.

Atentamente,

Ing. José Gregorio Díaz
Decano de la Facultad de Ingeniería



c. c. Coordinación de Pasantías y Trabajo de Grado (2).

JGD/fr.



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ACEPTACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Ingeniero Ramón Mata portador de la cédula de identidad 22.728.474 , en mi carácter de tutor del trabajo de grado presentado por los ciudadanos Acevedo R. Marisela A.; Robleto B. Tomas O.; portadores de la cédula de identidad 22.676942; 24.553.975 titulado **“ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE METODOLOGÍAS PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE ACERO SOMETIDOS A COMPRESIÓN AXIAL.”**; presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En San Diego, a los _____ del año 2017.

Ing. Ramón Mata.
C.I.: 22.728.474

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a Dios, por brindarme cada día de mi vida, por la salud que él me da, y por no desampararme en los momentos difíciles.

A mi familia, padres y hermanos, por el apoyo incondicional que me han brindado; por compartir conmigo experiencias, alegrías, éxitos y fracasos.

A mi tutor, Ing. Ramon Mata Lemus, por su paciencia, sus conocimientos y apoyo en la elaboración de la tesis.

A mi compañero, Tomas Robleto, por su paciencia, apoyo y compañerismo a lo largo de lo que fue emprender la elaboración y defensa de nuestro trabajo de grado.

A la UJAP, por abrirme las puertas de su casa y brindarme el apoyo para culminar mi carrera universitaria.

Marisela Acevedo

AGRADECIMIENTOS

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

Mi madre Gioconda Barile, por darme la vida, quererme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaste. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti.

Mis abuelos Olga Pereira (QEPD) y Giovanni Barile (QEPD), por quererme y apoyarme siempre, esto también se lo debo a ustedes.

Mi hermana, Giovanna Robleto por estar conmigo y apoyarme siempre, te quiero mucho.

Todos mis compañeros, por compartir los buenos y malos momentos.

Ing. Ramón Mata por su gran apoyo y motivación para la culminación de nuestros estudios profesionales y para la elaboración de esta tesis.

Por último, mi agradecimiento a mi compañera de estudio durante el desarrollo de esta tesis, Marisela Acevedo. Agradezco las numerosas discusiones que hemos tenido a lo largo de nuestro trabajo en equipo.

Tomas Robleto

DEDICATORIA

Para mi mamá; Ester Rodríguez, porque sin tu apoyo incondicional no lo hubiera logrado

Marisela Acevedo

DEDICATORIA

A mí madre por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ti.

Tomas Robleto

ÍNDICE

CONTENIDO	pp.
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN INFORMATIVO.....	xi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO

I EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema.....	3
1.2 Formulación del problema	5
1.3 Objetivos de la Investigación	5
1.3.1 Objetivo General	5
1.3.2 Objetivo Específico	5
1.4 Justificación	5
1.5 Alcances y Limitaciones	6

II MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación	7
2.2 Bases teóricas	10
2.2.1 Ingeniería Estructural	10
2.2.2 Acero Estructural	11
2.2.2.1 Propiedades del Acero.....	11
2.2.2.2 Propiedades Mecánicas	11
2.2.3 Respuesta histerética para materiales y elementos estructurales elásticos e inelásticos	15
2.2.3.1 Comportamientos histerético del Acero Estructural	18
2.2.4 Efecto Bauschinger	19
2.2.5 Compresión Axial	20
2.2.5.1 Comportamiento de Elementos Solicitados a Compresión.....	20
2.2.5.2 Tipos de Equilibrio.....	21
2.2.5.3 Pandeo	22
2.2.5.4 Pandeo de Columnas	23
2.2.5.5 Longitud Efectiva.....	24

2.2.5.6 Factor de Longitud Efectiva.....	24
2.2.5.7 Teoría de Segundo Orden.....	26
2.2.6 Diseño de Elementos Solicitados a Compresion.....	28
2.2.6.1 Método de Resistencia por Pandeo Flexional	28
2.2.6.2 Método de Longitud Efectiva.....	32
2.2.6.3 Método de Análisis Directo	36
2.2.6.4 Método de Resistencia al Pandeo.....	41
2.2.7 Perfiles tipo HEA, HEB, Wide Flange y Tubulares.....	46
2.2.7.1 Perfiles Tipo He	46
2.2.7.2 Perfiles Tipo Wide Flange	47
2.2.7.3 Perfiles Tubulares.....	47
2.3 Base Legales	47
2.4 Definiciones de términos básicos.....	48

III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de Investigación.....	49
3.2 Diseño de investigación	49
3.3 Nivel de la investigación.....	50
3.4 Población y muestra	50
3.5 Técnicas e instrumento de recolección de datos	51
3.6 Fases Metodológicas	51

IV ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Fase 1: Describir el comportamiento de elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial	54
4.2 Fase 2: Caracterizar las diversas metodologías para elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial	56
4.2.1 Metodo de la Longitud Efectiva.....	56
4.2.2 Metodo de Resistencia al Pandeo.....	60
4.2.3 Metodo de Resistencia por Pandeo Flexional	63
4.2.4 Metodo de Análisis Directo	66
4.3 Fase 3: Elaborea una herramienta computacional para el cálculo de las diversas metodologías para elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial	71
4.3.1 Metodo de la Longitud Efectiva.....	71
4.3.2 Metodo de Resistencia al Pandeo.....	72

4.3.3 Metodo de Resistencia por Pandeo Flexional	73
4.3.4 Metodo de Análisis Directo	73
4.4 Fase 4: Diferenciar las metodologías para elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial	74
4.4.1 Metodo de la Longitud Efectiva.....	74
4.4.2 Metodo de Resistencia al Pandeo.....	81
4.4.3 Metodo de Resistencia por Pandeo Flexional	87
4.4.4 Metodo de Análisis Directo	93
4.4.5 Semejanzas y diferencias de las diferentes metodologías para elementos de acero sometido a compresión axial	99
4.5 Fase 5: Analizar comparativamente las metodologías para elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial.....	100
4.5.1 Gráficas Pu Vs Área Gruesa (A-36).....	100
4.5.2 Gráficas Pu Vs Área Gruesa (A500GrC)	103
4.5.3 Gráficas Pu Vs KI/r (A-36)	107
4.5.4 Gráficas Pu Vs KI/r (A500GrC).....	109
4.5.5 Gráficas de Método de la Longitud Efectiva	113
4.5.6 Gráficas de Norma Covenin 1618-98	116
4.5.7 Gráficas de Norma Eurocódigo 3.....	119
4.5.8 Gráficas de Análisis Directo	121
4.5.9 Tablas comparativas entre metodologías para miembros de acero comprimidos axialmente	124
4.5.9.1 Para Perfiles Tipo HEA.....	124
4.5.9.2 Para Perfiles Tipo HEB	126
4.5.9.3 Para Perfiles Tubulares Cuadrados	128
4.5.9.4 Para Perfiles Tubulares Circulares	130
4.5.9.5 Para Perfiles W.....	132
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	134
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137

ÍNDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	pp.
FIGURA	
1	Porción inicial de la curva esfuerzo-deformación para aceros de bajo contenido de carbono..... 13
2	Porción inicial de la curva esfuerzo-deformación para aceros de alto contenido de carbono..... 13
3	Curvas esfuerzo-deformación de algunas calidades de acero..... 14
4	Curva esfuerzo- deformación de los efectos de perfiles laminados en caliente ya enfriados..... 15
5	Material: a) linealmente elástico, b) no linealmente elástico, y c) inelástico..... 16
6	Efecto de carga y descarga, con inversión del sentido de carga..... 17
7	Respuesta histerética de una columna de acero sometida a fuerza axial constante, y a una fuerza horizontal alternante..... 19
8	Efecto Bauschinger..... 20
9	Tipos de Equilibrio..... 21
10	Nomagramas de Julian-Lawrence..... 25
11	Efectos de Segundo Orden..... 27
12	Relaciones ancho/ espesor para elementos comprimidos no rigidizados..... 29
13	Relaciones ancho/ espesor para elementos comprimidos rigidizados..... 30
14	Relaciones ancho/ espesor para elementos comprimidos rigidizados..... 30
15	Chequeo de la estabilidad local para elementos 35

	sometidos a compresión	
16	Comportamiento de las clases de secciones.....	42
17	Longitudes efectivas para tres tipos de condiciones finales.....	43
18	Coefficiente de imperfección para las curvas de pandeo.....	44
19	Elección de la curva de pandeo para cada sección transversal.....	45
20	Pu Vs Área Gruesa (Perfiles HEA A-36).....	100
21	Pu Vs Área Gruesa (Perfiles HEB A-36).....	101
22	Pu Vs Área Gruesa (Perfiles Circulares A-36)	101
23	Pu Vs Área Gruesa (Perfiles Cuadrados A-36).....	102
24	Pu Vs Área Gruesa (Perfiles W A-36).....	103
25	Pu Vs Área Gruesa (Perfiles HEA A500GrC).....	103
26	Pu Vs Área Gruesa (Perfiles HEB A500GrC)	104
27	Pu Vs Área Gruesa (Perfiles Circular A500GrC)	105
28	Pu Vs Área Gruesa (Perfiles Cuadrados A500GrC)	105
29	Pu Vs Área Gruesa (Perfiles W A500GrC)	106
30	Pu Vs Kl/r (Perfiles HEA A-36)	107
31	Pu Vs Kl/r (Perfiles HEB A-36)	107
32	Pu Vs Kl/r (Perfiles Circulares A-36)	108
33	Pu Vs Kl/r (Perfiles Cuadradas A-36)	109
34	Pu Vs Kl/r (Perfiles W A-36).....	109
35	Pu Vs Kl/r (Perfiles HEA A500GrC).....	110
36	Pu Vs Kl/r (Perfiles HEB A500GrC).....	111
37	Pu Vs Kl/r (Perfiles Circulares A500GrC)	111
38	Pu Vs Kl/r (Perfiles Cuadrados A500GrC).....	112
39	Pu Vs Kl/r (Perfiles W A500GrC)	113
40	Área Vs Pu (Método de la Longitud Efectiva A-36).....	113
41	Área Vs Pu (Método de la Longitud Efectiva A500GrC).....	114

42	Pu Vs kl/r (Método de la Longitud Efectiva A-36).....	115
43	Pu Vs kl/r (Método de la Longitud Efectiva A500GrC)	115
44	Área Vs Pu (Norma Covenin A-36).....	116
45	Área Vs Pu (Norma Covenin A500GrC)	117
46	Pu Vs kl/r (Norma Covenin A-36).....	117
47	Pu Vs kl/r (Norma Covenin A500GrC)	118
48	Área Vs Pu (Norma Eurocódigo A-36).....	119
49	Área Vs Pu (Norma Eurocódigo A500GrC)	119
50	Pu Vs kl/r (Norma Eurocódigo A-36).....	120
51	Pu Vs kl/r (Norma Eurocódigo A500GrC)	121
52	Área Vs Pu (Método de Análisis Directo A-36).....	121
53	Área Vs Pu (Método de Análisis Directo A500GrC)....	122
54	Pu Vs kl/r (Método de Análisis Directo A-36)	123
55	Pu Vs kl/r (Método de Análisis Directo A500GrC).....	123

ÍNDICE DE TABLAS

CONTENIDO	pp.
TABLA	
1 Miembros Sometido a Compresión Axial (Perfiles HEA, HEB,W).....	71
2 Estabilidad Local (Tabla B.4.1.a).....	72
3 Aplicación del Método de la Longitud Efectiva para el cálculo de la capacidad nominal.....	72
4 Miembros Sometidos a Compresión Axial.....	72
5 Método de Resistencia al Pandeo.....	72
6 Miembros Sometidos a Compresión Axial.....	73
7 Estabilidad Local.....	73

8	Miembros Sometidos a Compresión Axial	73
9	Método de Análisis Directo.....	73
10	Método de la Longitud Efectiva (Perfiles HEA Acero A-36).....	76
11	Método de la Longitud Efectiva (Perfiles HEA Acero A500GrC).....	76
12	Método de la Longitud Efectiva (Perfiles HEB Acero A-36).....	77
13	Método de la Longitud Efectiva (Perfiles HEB Acero A500GrC).....	77
14	Método de la Longitud Efectiva (Perfiles Cuadrados Acero A-36).....	78
15	Método de la Longitud Efectiva (Perfiles Cuadrados Acero A-500GrC).....	78
16	Método de la Longitud Efectiva (Perfiles Circulares Acero A-36).....	79
17	Método de la Longitud Efectiva (Perfiles Circulares Acero A500GrC).....	79
18	Método de la Longitud Efectiva (Perfiles W Acero A-36).....	80
19	Método de la Longitud Efectiva (Perfiles W Acero A500GrC).....	80
20	Eurocódigo 3 (Perfiles HEA Acero A-36).....	82
21	Eurocódigo 3 (Perfiles HEA Acero A500GrC)	82
22	Eurocódigo 3 (Perfiles HEB Acero A-36).....	83
23	Eurocódigo 3 (Perfiles HEB Acero A500GrC).....	83
24	Eurocódigo 3 (Perfiles Cuadrados Acero A-36).....	84
25	Eurocódigo 3 (Perfiles Cuadrados Acero A500GrC)....	84

26	Eurocódigo 3 (Perfiles Circulares Acero A-36).....	85
27	Eurocódigo 3 (Perfiles Circulares Acero A500GrC).....	85
28	Eurocódigo 3 (Perfiles W Acero A-36).....	86
29	Eurocódigo 3 (Perfiles W Acero A500GrC).....	86
30	Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles HEA Acero A-36).....	88
31	Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles HEA Acero A-500GrC).....	88
32	Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles HEB Acero A-36).....	89
33	Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles HEB Acero A500GrC).....	89
34	Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles Cuadrados Acero A-36).....	90
35	Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles Cuadrados Acero A500GrC).....	90
36	Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles Circulares Acero A-36).....	91
37	Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles Circulares Acero A500GrC).....	91
38	Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles W Acero A-36).....	92
39	Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles W Acero A500GrC).....	92
40	Método de Análisis Directo (Perfiles HEA Acero A-36)	94
41	Método de Análisis Directo (Perfiles HEA Acero A500GrC)	94
42	Método de Análisis Directo (Perfiles HEB Acero A-36).	95

43	Método de Análisis Directo (Perfiles HEB Acero A500GrC).....	95
44	Método de Análisis Directo (Perfiles Circulares Acero A-36)	96
45	Método de Análisis Directo (Perfiles Circulares Acero A500GrC).....	96
46	Método de Análisis Directo (Perfiles Cuadrado Acero A-36).....	97
47	Método de Análisis Directo (Perfiles Cuadrados Acero A500GrC).....	97
48	Método de Análisis Directo (Perfiles W Acero A-36)....	98
49	Método de Análisis Directo (Perfiles W Acero A500GrC).....	98
50	Tabla comparativa para los diferentes métodos de perfiles de acero solicitados a esfuerzo de compresión axial.....	99
51	Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles HEA Acero A-36).....	124
52	Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles HEA Acero A-36).....	125
53	Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles HEB Acero A-36).....	126
54	Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles HEB Acero A500GrC).....	127
55	Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles Cuadrados Acero A-36).....	128
56	Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles Cuadrados Acero A500GrC)....	129
57	Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles Circulares Acero A-36).....	130

58	Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles Circulares Acero A500GrC).....	131
59	Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles W Acero A-36).....	132
60	Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles W Acero A500GrC).....	133



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD JOSÉ ANTONIO PÁEZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE METODOLOGÍAS PARA EL
DISEÑO DE ELEMENTOS DE ACERO SOMETIDOS A COMPRESIÓN
AXIAL.**

Autor(es): Acevedo R. Marisela A.

Robleto B. Tomas O.

Tutor: Ramón Mata

Fecha: Noviembre, 2017

RESUMEN INFORMATIVO

La presente investigación consistió en el análisis comparativo entre metodologías para el diseño de elementos de acero sometidos a compresión axial, para los diferentes tipos de secciones tales como perfiles HEA, HEB, Wide Flange, Tubulares circulares y cuadrados, con el objetivo de observar que metodología es más conservadora, guiadas por las normativas internacionales American Institute of Steel Construction, AISC360-10; el Eurocódigo 3: Diseño para estructura de acero y la norma nacional COVENIN 1618-98: Estructuras de acero para edificaciones.

Descriptorios: compresión, acero, axial.

INTRODUCCIÓN

Cuando hablamos de estructuras, entre sus componentes básicos está las columnas. Las columnas reales trabajan generalmente en flexo-compresión y estas tienen imperfecciones geométricas iniciales, ni las cargas están aplicadas exactamente en los centroides de las secciones transversales. Esto hace que la compresión no sea rigurosamente axial por lo que ocasiona, desde el inicio, deflexiones laterales y momentos flexionantes que aumentan con rapidez y causan, eventualmente, la falla del miembro por la acción combinada de compresión axial y flexión en dos direcciones. Sin embargo, el estudio de la columna comprimida axialmente constituye un antecedente fundamental para resolver el problema de los elementos estructurales flexo-comprimidos; ya que estas se trataron como si fuesen perfectas y su falla se produjese por pandeo.

A lo largo del tiempo se ha venido utilizando el método de la longitud efectiva, donde buscan solucionar el problema para elementos comprimidos. Sin embargo, este método solo responde al tipo de falla por pandeo, es por ello, que para dar una solución a este problema, en la actualidad, las distintas normativas han propuesto alternativas aplicables que consideran los tipos de fallas que pueden tener estos elementos.

El presente estudio busca comparar que metodología de las planteadas en las normas de la AISC360-16, el Eurocódigo 3 y la COVENIN 1618-98, es factible para poder hacer un análisis del cual estas sería más aceptable en distintos ámbitos.

El capítulo I plantea el problema que se busca solucionar con la investigación, cuenta con objetivos que representan lo que se quiere hacer, lograr o, simplemente, analizar. Una justificación que explica las razones que motivan el estudio y por ultimo un alcance que muestra hasta donde se llegará con esta investigación.

El capítulo II se encarga de explicar la naturaleza del hecho investigado, o lo que es lo mismo, sustentar teóricamente el estudio; es por ello, que se debe realizar y exponer aquellos enfoques teóricos y conclusiones de investigaciones que se consideran válidas para que encuadre con el problema en cuestión. Todo esto se logra, con los antecedentes de la investigación ya que vinculan directamente el estudio, y como las bases teóricas.

El capítulo III describe el procedimiento práctico y metodológico que seguirá la investigación, es decir, las técnicas de análisis y elementos utilizados para la recopilación de datos, que ayuden entonces a su realización.

El capítulo IV menciona los recursos con los que se cuenta para la investigación en cuestión; como lo son: las personas que participaron, las instituciones u organismos a los que se recurre para obtener información, los materiales utilizados y el tiempo que se plasma en un cronograma de actividades.

Y por último, pero no menos importante, el capítulo V que plantea resultados, conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

Una estructura es un ensamblaje de elementos que mantiene su forma y su unidad, donde sus objetivos son: resistir cargas resultantes de su uso y de su peso propio para darle forma a un cuerpo u obra civil. La importancia de una estructura se basa en la forma, el material, la dimensión de los elementos y las cargas, los cuales determinan la funcionalidad, economía y estética de la solución propuesta. Es por ello que cuando se habla de estructuras, unos de los componentes o miembros básicos y de suma relevancia, son las columnas, ya que estas tienen una función estructural de gran importancia la cual es, transportar las tensiones de compresión axial a lo largo de la estructuras.

Ahora bien, las sollicitaciones axiales puras solo se dan en columnas idealizadas; en cambio, las columnas reales trabajan generalmente en flexo-compresión. Su comportamiento depende, en buena parte, de la estructura completa. Sin embargo, el estudio de la columna comprimida axialmente constituye un antecedente fundamental para resolver el problema de los elementos estructurales flexo-comprimidos. Las columnas reales tienen imperfecciones geométricas y las cargas no son aplicadas exactamente en los centroides de las secciones transversales. Esto hace, que la compresión no sea rigurosamente axial por lo que ocasiona, que la falla del miembro sea por la acción combinada de compresión axial y flexión en dos direcciones. Sin embargo, durante muchos años las columnas se trataron como si fuesen perfectas y su falla se produjese por pandeo. Analizando esta conducta se podrá decir que una columna sometidas a cargas gravitacionales, no solo presentar fallas debido a los esfuerzos de compresión, sino que también fallas por los esfuerzos de flexión, lo cuales originan desplazamientos laterales en la columna.

A nivel mundial se han planteado diversas metodologías para el cálculo de la capacidad nominal de un miembro comprimido, estas se referencian principalmente al método de longitud efectiva para el análisis a compresión y para esto las normativas más utilizadas a nivel mundial son el código americano AISC y el Euro-Código3; el primero plantea el Método de Longitud efectiva suponiendo falla única por pandeo y el segundo Plantea un análisis que aunque basándose en el método de longitud efectiva, incorpora los efectos de compresión y flexión en un mismo elemento.

En Venezuela se utiliza el método de resistencia a compresión por pandeo flexional, planteado por la normativa vigente Covenin 1618-98, en su capítulo 9, que de la misma manera que los otros códigos supone una falla única por pandeo, pero esta se encuentra desactualizada hoy en día, ya que a nivel mundial se han desarrollado muchas investigaciones que han modificado el estado del arte en cuanto al diseño de elementos de acero.

Como opción alternativa a partir del año 2010, el AISC (en su versión de ese año, en su apéndice 8), plantea un método alternativo para el análisis de elementos comprimidos, en el cual se considera directamente la degradación de la rigidez del elemento producto del efecto del pandeo, y no depender de las condiciones frontera del elemento para determinar una longitud efectiva del mismo, sin embargo los estudios y validaciones de esta metodología no se han desarrollado con mayor importancia, debido que al ser un método alternativo, los ingenieros diseñadores de estructuras de acero optan por los métodos tradicionales conocidos. Este método supone una única por pandeo; en cambio en otras normas como la europea Euro-código 3 en su sección 5.2.1, presenta un diseño donde se toma en cuenta los efectos de compresión y flexión en un mismo elemento comprimido.

Lo que conlleva a generar incertidumbre en los ingenieros proyectistas sobre cual normativa genera resultados más confiables o cuales son las diferencias entre utilizar un método u otro, así como, cuales son las ventajas de utilizar el método de análisis directo y que diferencias posee con los métodos tradicionales para el diseño de elementos de acero comprimidos.

1.2 Formulación del problema

¿Qué diferencias existen entre las metodologías para el diseño de elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

Analizar comparativamente las metodologías de diseño para elementos de acero sometidos a compresión axial.

1.3.2 Objetivo Específico

- Describir el comportamiento de elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial.
- Caracterizar las diversas metodologías para elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial.
- Elaborar una herramienta computacional para el cálculo de las diversas metodologías para elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial.
- Diferenciar las metodologías para elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial.
- Analizar comparativamente las metodologías para elementos de acero sometidos a compresión axial.

1.4 Justificación

Para todo profesional, es de suma importancia tener conocimientos sobre el comportamiento de elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial, ya que estos elementos conforman partes importantes en cualquier estructura; es por ello que el diseño debe hacerse con el máximo cuidado posible y aplicando el método más confiable, ya que las fallas de estos elementos pueden suponer un colapso total o parcial de una estructura lo cual podría significar pérdidas humanas y materiales.

Esta investigación tiene como fin, caracterizar las diferentes metodologías aplicables para el diseño de elementos de acero con solicitaciones de compresión axial para que de una manera más sencilla y clara estas sean llevadas a los

ingenieros proyectistas para una mejor comprensión sobre este tipo de comportamiento estructural, ya que el tener una mejor comprensión sobre las metodologías de diseño a utilizar, permite tener menos incertidumbre sobre el comportamiento estructural esperado, lo cual genera estructuras más confiables, económicas y seguras para los habitantes, lo que es un aporte económico y social.

Por último, se espera que esta investigación funcione como base e inspiración para promover e impulsar futuras investigaciones en el área, generando así mejores basamentos teóricos y normativos. Sirviendo esto como un aporte académico.

1.5 Alcances y Limitaciones

Este proyecto de investigación cubre la comparación entre los métodos de análisis para el diseño de estructura sometidas a solicitaciones de compresión axial basándose en: la norma internacional American Institute of Steel Construction, en su última edición AISC360-16; el Eurocódigo 3: Diseño para estructura de acero y la norma nacional COVENIN 1618-98: Estructuras de acero para edificaciones. Además, las designación de acero a utilizar será: A-36 y A500GrC, con la selección de perfiles tipo HEA, HEB, Wide Flange (W) y Tubulares circulares y cuadrados, los elementos solo estarán sometidos a cargas gravitacionales con combinaciones LFRD. La sección a estudiar es una columna arriostrada y empotradas en sus bases. Se asumieron pórticos arriostrados. No se tomara en consideración las tensiones residuales de elementos laminados en frío, las cargas por imperfecciones geométricas. Para efectos prácticos de la metodologías se asumirán cargas ultimas axiales de 10, 30, 50, 80, 100, 120, 150, 180, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 750 y 800 toneladas y el momento considerado será de un 30% del valor de la carga ultima y estarán reflejados en una unidad de tonelada por metro. Se asumió para el método de la longitud efectiva y para el método de resistencia por pandeo flexional un $K=0.65$, para el método de resistencia al pandeo un $K=0.7$, y para el método de análisis directo un $K=1$.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Según Balestrini (2002) el marco teórico es "el resultado de la selección de aquellos aspectos más relacionados del cuerpo teórico epistemológico que se asume, referidos al tema específico elegido para su estudio". (p.91) De allí pues, que su racionalidad, estructura lógica y consistencia interna, va a permitir el análisis de los hechos conocidos, así como, orientar la búsqueda de otros datos relevantes.

2.1 Antecedentes

“Los antecedentes reflejan los avances y el Estado actual del conocimiento en un área determinada, y sirven de modelo o ejemplo para futuras investigaciones.” Según Fidias Arias (2004), se refieren a todos los trabajos de investigación que anteceden al nuestro, es decir, aquellos trabajos donde se hayan manejado las mismas variables o se hallan propuestos objetivos similares; además sirven de guía al investigador y le permiten hacer comparaciones y tener ideas sobre cómo se trató el problema en esa oportunidad.

Yong Ayon D. (2007), presento una memoria a la distinguida Universidad de Navarra (San Sebastián, España) para optar por el grado de doctor, cuya memoria tuvo el título de: **“Diseño de elementos estructurales de acero sometidos a flexo-compresión: desarrollo teórico y estudio comparativo”**. El cual tiene como propósito general, el estudio comparativo de aproximaciones EC3 (2005) y el AISC LRFD (1994) en el cálculo de la capacidad resistentes de los elementos sometidos a compresión pura, flexión pura y una combinación de esfuerzos axial de compresión y momento flector, como también, el estudio de comportamiento estructural de un elemento flexo-comprimido y la obtención de una nueva fórmula, y a su vez, un nuevo factor de momento uniforme equivalente de pandeo lateral en vigas, mediante las metodologías descritas en los

ya mencionado códigos. Dejando documentado que, del estudio comparativo para las diferentes solicitaciones, se detectaron diferencias en las filosofías de diseño entre EC3 (2005) y el AISC LRFD (1994); además de diferencias significativas en los valores de resistencias. Destacando entonces, que para elementos solicitados a compresión pura se determinan la resistencia de manera similar, ya que ambos basan sus cálculos en las curvas de pandeo; para los elementos en flexión se detectó un 42% de diferencias entre ambas normas mientras en miembros flexo-comprimidos los resultados divergen en un 37%.

Por su parte Haro B. (2012), realizó un trabajo de ascenso presentado ante la ilustre Universidad de Carabobo para optar al cargo de profesor asistente el posee como título: **“Procedimiento de aplicación del método de análisis directo para el diseño por estabilidad de columnas de acero sin incluir efectos dinámicos, mediante el uso de un software de cálculo estructural”**. El cual tenía como objetivo básico el desarrollo de una metodología para la aplicación del método de análisis directo mediante la utilización del software SAP2000, como también esquematizar un procedimiento para el uso de este método en el software SAP2000, este trabajo se enmarcó en una investigación del tipo proyectiva, bajo un nivel descriptivo. A través de un tipo de investigación documental, y fue empleada como técnica de recolección de datos la observación directa ampliada, la cual engloba todos los procedimientos utilizados de ciencias. Pudiendo concluir que el método de análisis directo resulta menos conservador al momento del diseño.

A la vez Tolosa A. (2014) realizó un trabajo de investigación, el cual presento ante la Asociación de Ingenieros Estructurales de Argentina en las Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural, el cual llevó el título de: **“Metodología para el diseño de análisis directo inelástico según la norma ANSI/AISC 360-10”**. El cual presenta una propuesta de metodología para la implementación de un método de diseño por análisis directo (Tolosa, 2012). Esta metodología, que requiere de un análisis estructural en segundo orden de material (o inelástico), es denominada método de diseño por análisis directo inelástico (método DADI). La misma se basa sobre el método de diseño por análisis directo

de la Sección C1.1. (Método DAD) y el Apéndice 1 de la norma ANSI/AISC 360-10. Debido a que La norma ANSI/AISC 360-10, aunque admite su aplicación, no contiene ningún método de diseño estrictamente directo. Teniendo en cuenta desarrollos anteriores (Choi y Kim, 2002 y Modugno, 2010) la metodología propuesta busca facilitar la implementación sencilla y práctica del método DADI en marcos de acero aperturados planos. Detallando cada uno los pasos que hacen a la implementación de la metodología propuesta. Que permite llegar a las conclusiones que el método propuesto es verdaderamente un método directo: los requisitos vinculados a la resistencia y la estabilidad quedan satisfechos simplemente al encontrar una configuración equilibrada bajo el nivel de carga requerido, sin necesidad de verificaciones adicionales.

Elmi F. y Gutierrez G. (2016) publicaron un artículo para la Revista Estudiantil URU de la honorable Universidad Rafael Urdaneta, el cual fue titulado como: **“Análisis del factor de longitud efectiva para elementos comprimidos en estructuras de acero”**. Esta investigación ha analizado una nueva propuesta menos compleja y rápida en el cálculo para el método exacto, y que se encuentra dentro del lado de la seguridad para cualquier tipo de caso. En esta investigación se han considerado los siguientes métodos: las fórmulas empíricas de Dumonteil, el método de Julian-Lawrence (1959), las fórmulas de Cranston y Furlong, y una nueva propuesta por Raúl Canle (2002), comparándolos con el método exacto de MARC, el cual es un programa que utiliza el método de Pandeo Global Elástico basado en la teoría de elementos finitos. Esta investigación es descriptiva, debido a que se especifican los procedimientos de cálculo de los métodos antes mencionados. En esta investigación se ha demostrado que los métodos de Dumonteil, de Julian-Lawrence (1959) y de Cranston y Furlong no son confiables en todos los casos, debido a los errores que arrojaron con respecto al valor obtenido según el método exacto de MARC. Sin embargo, de los resultados conseguidos se determinó, qué para: pórticos articulados en las bases y no arriostrados, los métodos aceptables son Raúl Canle- Dumonteil y Raúl Canle-Julian-Lawrence, mientras qué: para pórticos empotrados en las bases y no arriostrados, pórticos articulados en las bases y arriostrados y pórticos empotrados

en las bases y arriostrados, los métodos aceptables son Raúl Canle- Cranston y Furlong.

2.2 Bases Teóricas

Según Arias (2006), las bases teóricas están formadas por: “un conjunto de conceptos y proposiciones que constituyen un punto de vista o enfoque determinado, dirigido a explicar el fenómeno o problema planteado” (p.39). Las bases teóricas son aquellas que permiten desarrollar los aspectos conceptuales del tema objeto de estudio. Es evidente entonces, la revisión necesaria de teorías, paradigmas, estudios, etc., vinculados al tema, para posteriormente construir una posición frente a la problemática que se pretende abordar. A continuación se presentan las bases teóricas que sustentan la presente investigación.

2.2.1 Ingeniería Estructural

La ingeniería estructural es una rama clásica de la ingeniería civil que se ocupa del diseño y cálculo de la parte estructural en elementos y sistemas estructurales. Su finalidad es la de conseguir estructuras seguras, resistentes y funcionales. En un sentido práctico, la ingeniería estructural es la aplicación de la mecánica de medios continuos para el diseño de estructuras que soporten su propio peso (cargas muertas), más las cargas ejercidas por el uso (cargas vivas), más las cargas producidas por eventos de la naturaleza, como vientos, sismos, nieve o agua.

Debe entenderse entonces, como una carga estructural, aquellas sollicitaciones mecánicas (fuerzas, momentos, deformaciones, desplazamientos) que deben ser incluidas en el cálculo de los elementos mecánicos resistentes. La estructura está constituida por el conjunto de elementos mecánicos resistentes y sus uniones mecánicas considerados como un sistema. Las cargas estructurales son generalmente clasificadas como:

- cargas muertas, que actúan de forma continua y sin cambios significativos, pertenecen a este grupo el peso propio de la estructura, empujes de líquidos (como en un dique) o sólidos (como el suelo en un muro de contención), tensores (como en puentes), pre-esfuerzo, asientos permanentes.

- cargas vivas, que son aquellas que varían su intensidad con el tiempo por uso o exposición de la estructura, tales como: el tránsito en puentes, cambios de temperatura, maquinaria (como una prensa), acumulación de nieve o granizo, etcétera.
- cargas accidentales, que tienen su origen en acciones externas al uso de la estructura y cuya manifestación es de corta duración como lo son los eventos sísmicos o ráfagas de viento.

2.2.2 Acero Estructural

El Acero estructural es uno de los materiales básicos utilizados en la construcción de estructuras, tales como: edificios industriales y comerciales, puentes y muelles. Se produce en una amplia gama de formas y grados, lo que permite una gran flexibilidad en su uso. Es relativamente barato de fabricar, y es el material más fuerte y más versátil disponible para la industria de la construcción.

2.2.2.1 Propiedades del Acero

El acero se caracteriza por sus propiedades metalúrgicas, químicas y mecánicas. Se espera que el acero estructural tenga cierta resistencia a la deformación y característica de su producción, que lo hace apto para su uso en estructuras. Las propiedades se establecen a través de aleaciones químicas específicas, las estructuras metalúrgicas y propiedades mecánicas. Éstas se reflejan en la respuesta del material, ya sea un acero de alta resistencia, un acero resistente a la intemperie, o un acero que tiene un determinado tipo de estructura cristalina, por mencionar algunas propiedades que son importantes.

2.2.2.2 Propiedades Mecánicas

- Ductilidad, ésta es una propiedad importante de los aceros estructurales. Permite la redistribución de esfuerzos en miembros continuos y en puntos de altos esfuerzos locales, como son: los agujeros u otras discontinuidades. En una prueba a tensión, la ductilidad se mide por el porcentaje de elongación sobre una determinada longitud de referencia o por el porcentaje de reducción del área de la sección transversal. El primero se determina al unir las piezas de la probeta después de la fractura,

observando el cambio en la longitud de referencia y dividiendo el aumento por la longitud de referencia original. De manera similar, el segundo se determina a partir de las mediciones de la sección transversal de la probeta efectuadas antes y después de la prueba. Ambos tipos de mediciones de ductilidad, son un índice de la capacidad de un material para deformarse en el rango inelástico. Sin embargo, no hay criterio de aceptación general sobre la ductilidad mínima requerida para diversas estructuras.

- Dureza, se define como la propiedad del acero a oponerse a la penetración de otro material.
- Tenacidad, viene siendo la conjugación de dos propiedades: ductilidad y resistencia. Un material tenaz será aquel que posee una buena ductilidad y una buena resistencia al mismo tiempo.
- Fatiga, cuando un elemento estructural se somete a cargas cíclicas, este puede fallar debido a las grietas que se forman y propagan, en especial cuando se presentan inversiones de esfuerzos, esto es conocido como falla por fatiga, que puede ocurrir con esfuerzos menores a la carga de deformación remanente.
- El módulo de elasticidad del acero E , es constante para todos los grados de acero estructural, equivalente a $2.039 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ (29,000 ksi) (200000 MPa).
- Maleabilidad, es la capacidad que presenta el acero de soportar la deformación, sin romperse, al ser sometido a un esfuerzo de compresión.
- Tensión, son la tensión de cedencia F_y , la resistencia a la tracción última F_u , las tensiones en la ruptura, la deformación unitaria y la deformación total,(

proporciona los datos de deformación unitaria, ya que generalmente no hay criterios aceptables para la prueba.

La curva de esfuerzo-deformación para el acero difiere significativamente entre aceros templados (carbono-manganeso) y los aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA). Las figuras 1 y 2 muestran ejemplos representativos de dichas curvas, y en la figura 3 se muestra las curvas esfuerzo deformación.

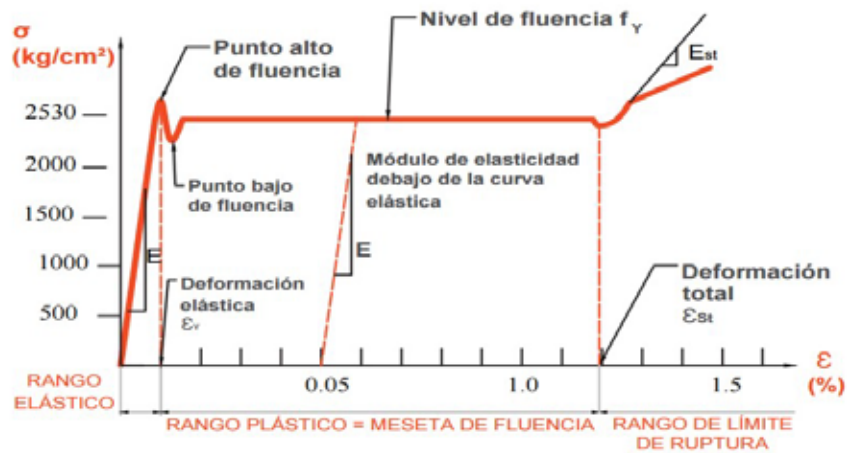


Figura 1. Porción Inicial de la curva esfuerzo – deformación para aceros de bajo contenido de carbono

Fuente. Gerdau, Elección Tipo de Acero para Estructuras

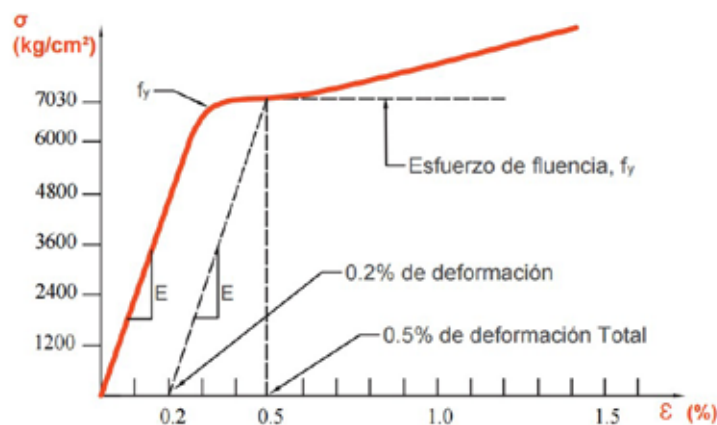


Figura 2. Porción Inicial de la curva esfuerzo – deformación para aceros de alto contenido de carbono

Fuente. Gerdau, Elección Tipo de Acero para Estructuras

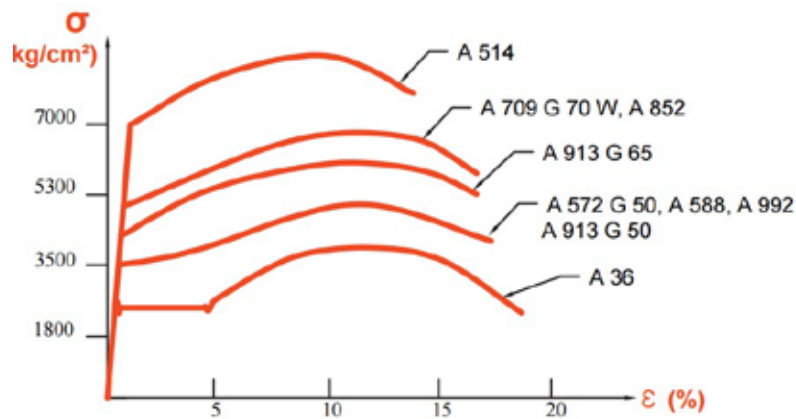


Figura 3. Curvas esfuerzo – deformación de algunas calidades de acero

Fuente. Gerdau, Elección Tipo de Acero para Estructuras

En esencia, los cambios de trabajo del acero tienen mayor resistencia y baja ductilidad en un solo material. Las deformaciones plásticas que ocurren, dejan al material sin memoria de lo que ha ocurrido. Esto significa que un acero originado en el molino, por ejemplo (ABCDE en la Figura 4), responderá de acuerdo a la línea D'DE inicialmente después de haber sido cargado y sometido a una tensión equivalente al punto D de la curva de esfuerzo. La pendiente de la porción inicial de la curva de esfuerzo es el módulo de elasticidad E. La pendiente de la curva inmediatamente después de σ_t , es el módulo de esfuerzo por deformación σ_t , E es constante para todos los grados de acero estructural, equivalente a 29.000 ksi (2.039×10^6 kg/cm²). σ_t es más bajo y está bien definido, su valor es de alrededor de 600 a 800 ksi (42000 a 56000 kg/cm²). Las pruebas de σ_t y σ_t se basan en vigas sujetas a flexión más que a valores de tensión, debido a lo sensible de la prueba de tensión y a las variaciones en la pendiente de la curva esfuerzo-deformación. El calor de la soldadura y el oxicorte provoca cambios locales en la estructura del acero, a menos que la entrada de calor y la velocidad de enfriamiento sean cuidadosamente controladas. Generalmente esto resulta en zonas muy localizadas del material en aceros de alta resistencia y baja ductilidad, como en los bordes de corte por flama (oxicorte) o el calor de la soldadura. Para todos los propósitos prácticos, estas zonas han aumentado los límites de fluencia en aproximadamente igual a la fuerza o la resistencia nominal del metal de la soldadura.

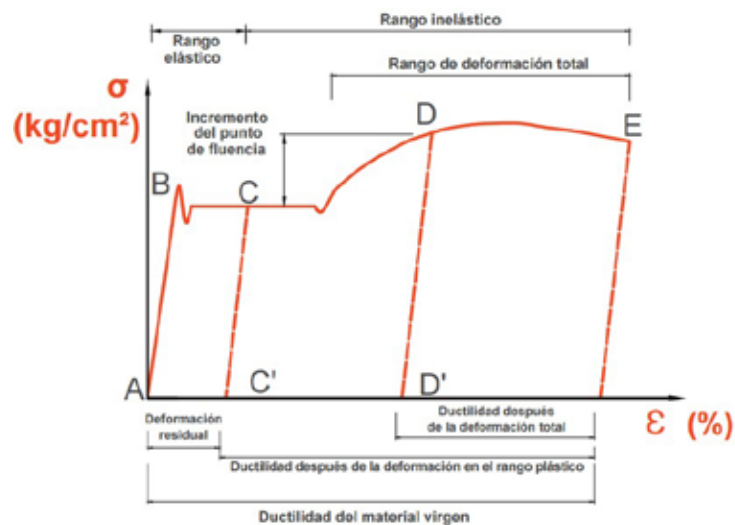


Figura 4. Curva esfuerzo – deformación de los efectos de perfiles laminados en caliente ya enfriados

Fuente. Gerdau, Elección Tipo de Acero para Estructuras

- Algunas composiciones mantienen su forma ante esfuerzos y se deforman casi linealmente al sobrepasar su límite elástico.
- Relación Poisson, El cociente entre la deformación transversal y la longitud bajo carga se conoce como la relación de Poisson. Esta relación es aproximadamente la misma para todos los aceros estructurales, es decir, 0.30 en el rango elástico y 0.50 en el rango plástico.
- La corrosión, es la mayor desventaja de los aceros ya que el hierro se oxida con suma facilidad incrementando su volumen y provocando grietas superficiales que facilitan el progreso de la oxidación hasta que se consume la pieza por completo.

2.2.3 Respuesta histerética para Materiales y elementos estructurales elásticos e inelásticos

Desde el punto de vista técnico [Popov, 1968], la elasticidad de un material se define como la capacidad de éste de volver a sus dimensiones originales, después de que se haya retirado una fuerza impuesta, recobrando totalmente la forma que tenía antes de imponer la fuerza. Por lo tanto, el comportamiento elástico implica la ausencia de cualquier deformación permanente debido a que se haya aplicado y retirado la fuerza. Algunos materiales exhiben una relación esencialmente lineal entre esfuerzos y deformaciones, como

muestra la Figura 5. (a), se denominan materiales linealmente elásticos. Otros materiales muestran alguna curvatura y en sus relaciones esfuerzo deformación, como se muestra en la Figura 5. (b); se denominan materiales no linealmente elásticos. En ambos casos la curva de carga y de descarga es la misma. Un tercer caso es el material inelástico, en el cual la descarga no ocurre siguiendo la misma trayectoria de la carga y se presenta deformación permanente, como muestra la Figura 5. (c).

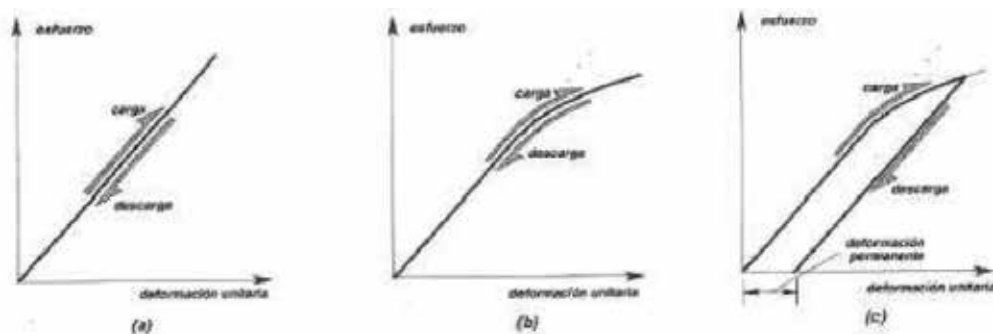


Figura 5. Material: a) linealmente elástico, b) no linealmente elástico, y c) inelástico.

Fuente. Mayorga, Caracterización mecánica y modelamiento estructural

Esta distinción entre materiales elásticos e inelásticos es algo ambigua; debido a que prácticamente todos los materiales presentan las dos características cuando se observan las relaciones esfuerzo-deformación en todo el rango de esfuerzos posibles, hasta llevarlos a la falla. En general la clasificación anterior hace referencia al comportamiento del material en el rango inicial de carga, cuando los esfuerzos y las deformaciones son pequeñas.

El área bajo la curva esfuerzo-deformación de cualquier material que se lleva hasta la falla, es una medida de la capacidad del material para absorber energía por unidad de volumen, y se denomina tenacidad del material (toughness, en inglés). Entre mayor sea el área bajo la curva, el material tiene mayor tenacidad. Los materiales inelásticos muestran características especiales cuando la carga no se aumenta monótonicamente hasta la falla. Se entiende por ensayo monótonico, aquel que se carga el material sin que haya inversión en el sentido de las fuerzas aplicadas.

Cuando al material se le imponen una serie de ciclos de carga, descarga, y carga en el sentido opuesto; en los cuales los esfuerzos sobrepasan el límite elástico del material, se obtiene este tipo de comportamiento y se conoce con el nombre de respuesta histerética.

La histéresis es un fenómeno por medio del cual dos, o más, propiedades físicas se relacionan de una manera que depende de la historia de su comportamiento previo. Por lo tanto, hace referencia al comportamiento de los materiales estructurales cuando se ven sometidos a deformaciones o esfuerzos alternantes que están fuera del rango de respuesta lineal, o elástica, ante una sollicitación; ya sea de fuerza o de deformación impuesta. Una gran parte de la energía que es capaz de disipar el material estructural en el rango inelástico de respuesta se asocia con el área comprendida dentro de los ciclos de histéresis.

2.2.3.1 Comportamiento Histerético del Acero Estructural

El comportamiento histerético de elementos de acero es mucho más simple que el de concreto reforzado, dado que se trata de elementos hechos de un solo material. Las bondades del comportamiento del acero como material se trasladan a los elementos contruidos con él. No obstante, todos los problemas asociados con estabilidad local de las alas y el alma, estabilidad general del elemento, alabeo, fractura frágil, etc.; se agravan dado que el elemento va a trabajar en el rango inelástico. Los problemas de comportamiento histerético del acero estructural se relacionan principalmente con la necesidad de proveer secciones estables en el rango inelástico, lo que se denomina secciones compactas; y la forma como se realicen las conexiones entre elementos, especialmente cuando se requiere que éstas sean resistentes a momentos.

En la Figura 7. Se muestra cualitativamente la respuesta histerética de una columna de acero sometida a fuerza axial constante, y a una fuerza horizontal alternante.

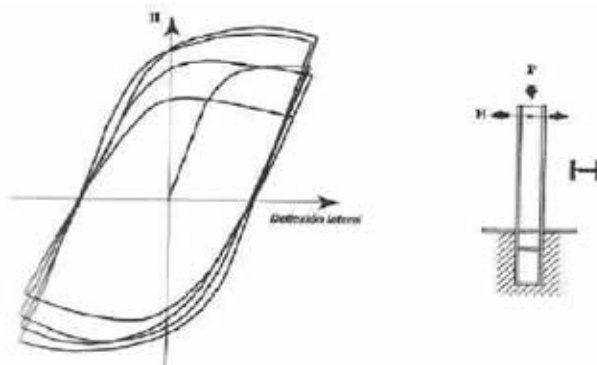


Figura 7. Respuesta histerética de una columna de acero sometida a fuerza axial constante, y a una fuerza horizontal alternante.

Fuente. Mayorga, Caracterización mecánica y modelamiento estructural

2.2.4 Efecto Bauschinger

Consiste en el hecho de que al deformar un metal en una dirección hasta que se ha sobrepasado su límite de elasticidad, y deformándolo después en la dirección contraria, su límite de proporcionalidad en esta última dirección es menor (ver Figura 8). El motivo para que esto ocurra, entre otros, son las imperfecciones del material. Si el metal se deforma en una dirección dada de manera que se desarrolla una deformación residual permanente y se deforma en la dirección inversa en la misma dirección, se observa que la resistencia a la cedencia disminuye.

Este fenómeno se explica por la distribución de dislocaciones en los metales conformados en frío: durante la deformación, las dislocaciones se multiplican a lo largo de los bordes de grano. Dependiendo de la estructura resultante de la conformación en frío, por lo general hay dos mecanismos en el efecto Bauschinger:

- La presencia de tensión residual local, promueve el desarrollo de dislocaciones en la dirección de la carga-contra, lo que disminuye el límite elástico. La concentración de las dislocaciones en los límites de grano y que forman bucles alrededor Orowan duros precipitados son las dos causas principales de estas tensiones residuales.
- Cuando la dirección de la deformación se invierte, la plastificación genera dislocaciones que tienen un vector de Burgers opuesta a la de las

dislocaciones anteriores. Así las dislocaciones tienden a anularse, lo que reduce el rendimiento.

En total, la tensión de flujo en la dirección contra-carga es menor que si hubiéramos vuelto a cargar el material en la misma forma que la primera carga.

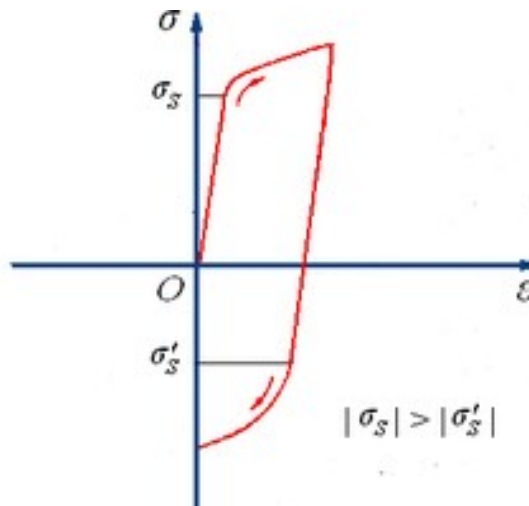


Figura 8. Efecto Bauschinger

Fuente. Página Web Wikipedia

2.2.5 Compresión Axial

Los miembros en compresión son elementos estructurales prismáticos, sometidos a esfuerzos de compresión axial producidos por fuerzas que actúan a lo largo de sus ejes centroidales.

Hay diversos tipos de miembros sujetos a compresión axial, siendo la columna el más conocido. Entre otros tipos están las acuerdas superiores de las armaduras, miembros de arrostramiento, los patines de compresión de las vigas laminadas y vigas armadas, y los miembros sujetos simultáneamente a cargas que producen flexión y compresión.

2.2.5.1 Comportamiento de Elementos Solicitados a Compresión

La compresión ocurre cuando dos fuerzas actúan en la misma dirección y sentido contrario haciendo que el elemento se acorte y se deforme. Cada pieza falla bajo diferente magnitud de carga. La cantidad de carga bajo la cual falla un elemento en compresión depende del tipo de material, la forma del elemento y la longitud de la pieza.

El problema es, que si se presionan dos extremos de una barra delgada la misma no permanece recta, se acorta y se flexiona fuera de su eje (fenómeno de pandeo).

Los miembros en compresión, tales como las columnas, están sujetas principalmente a carga axiales. Entonces, las tensiones principales en un miembro comprimido son las tensiones normales.

La falla de un miembro en compresión, tiene que ver con la resistencia, la rigidez del material y la geometría (relación de esbeltez) del miembro. La consideración de columna corta, intermedia o larga depende de estos factores.

2.2.5.2 Tipos de equilibrio

Se consideran tres estados de equilibrio de una columna cargada en compresión axial, analizando los efectos que tiene sobre la misma aplicación de una carga transversal unitaria y que produce una deformación lateral.

1. Equilibrio estable, cuando al remover la carga axial la columna regresa a su posición inicial. Ver Figura 9 (d).
2. Equilibrio indiferente, cuando se remueve la carga axial la columna permanece en la posición deformada. Ver Figura 9 (e).
3. Equilibrio inestable, se remueve la carga axial, pero la columna continua deformándose. Ver Figura 9 (f).

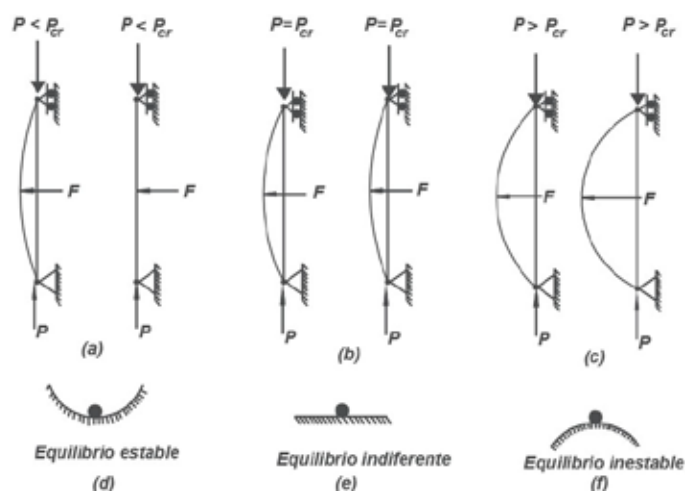


Figura 9. Tipos de equilibrio

Fuente. Gerdau, Miembros en Compresión

2.2.5.3 Pandeo

La carga crítica de Euler es la carga máxima que puede soportar una columna que se pandea con esfuerzos menores al límite de proporcionalidad del acero y depende de la forma de la sección transversal de la columna, de las condiciones de apoyo de las secciones extremas de la columna y de su longitud efectiva.

La carga de pandeo, carga crítica ó carga de Euler, es el valor de referencia con respecto al cual la resistencia de columnas reales se compara mediante la sustitución de una longitud equivalente ó longitud efectiva en vez de la longitud real de la columna.

Consecuentemente, de acuerdo con el tipo de apoyo de las secciones extremas de la columna, dimensiones de la sección transversal y longitud de la columna, la carga crítica puede aumentar o disminuir.

Existen tres modos principales de pandeo de miembros en compresión axial.

- Pandeo General: Es una deformación lateral, alrededor de los dos ejes principales y centroidales de la columna y suele ser crítico alrededor del eje de menor resistencia si la columna carece de soportes laterales intermedios.
- Pandeo Local: Esta deformación ocurre cuando alguna parte o partes de la sección transversal son tan delgadas que se pandean localmente en compresión antes de que alguno de los otros pandeos pueda ocurrir. La susceptibilidad de una columna a pandearse localmente se mide por la relación ancho/grueso de patines y almas. En este caso la magnitud de la carga crítica viene dada según el caso por la fórmula de Leonhard Euler o la de Engesser. La carga crítica de Euler depende de la longitud de la pieza, del material, de su sección transversal y de las condiciones de unión, vinculación o sujeción en los extremos. Para una pieza que puede considerarse biarticulada en sus extremos la carga crítica de Euler viene dada por:

Siendo: F_{crit} , la carga crítica; E , Módulo de Young del material de que está hecha la barra; I_{min} , momento de inercia mínimo de la sección transversal de la barra; L , longitud de la barra y λ la esbeltez mecánica de la pieza. Cuando las condiciones de sujeción de los extremos son diferentes la carga crítica de Euler viene dada por una ecuación del tipo:

- Pandeo por Flexo-torsión: En columnas de baja rigidez a la torsión, como en el caso de secciones transversales abiertas de paredes delgadas, es necesario tomar en cuenta la posibilidad de que ocurra el fenómeno de torsión. El pandeo por torsión o flexotorsión, es un modo de falla de las columnas, cuya sección transversal es asimétrica o tienen un eje de simetría, pero estas poseen baja resistencia a la torsión.

2.2.5.4 Pandeo de Columnas

Una columna puede ser definida como un elemento sometido a compresión que es tan esbelto que al recibir carga cada vez mayor fallará por pandeo mucho antes de que falle por aplastamiento. Las columnas pueden ser clasificadas en tres grupos según su comportamiento:

- Cortas. Su falla es por aplastamiento, no hay pandeo.
- Intermedias. Las columnas fallan por inestabilidad en el intervalo inelástico (falla por pandeo inelástico).
- Largas. Su falla se presenta en el intervalo elástico.

Una columna muy corta puede desarrollar una resistencia prácticamente igual a la de un miembro en tracción. Si la columna es larga, fallará con una carga menor que la anterior, que es proporcional a la rigidez, a la flexión, al módulo de elasticidad E , al momento de inercia I , y a su longitud, y es independiente de la

resistencia del material. Finalmente, si la columna tiene longitud intermedia, deben tomarse en cuenta otros factores en la determinación de su resistencia.

2.2.5.5 Longitud Efectiva

La longitud efectiva KL se utiliza para tener en cuenta el efecto de las condiciones de los extremos del miembro en compresión sobre su capacidad de carga, haciendo que pueda tomarse en lugar de la columna real, una columna con extremos articulados cuya tensión crítica es la misma, simplificando de este modo el proceso de cálculo.

K es el factor de la longitud efectiva, cuyo valor depende del tipo de restricciones de los apoyos y de la resistencia al movimiento lateral del miembro; una columna con ambos extremos articulados tiene un $K=1$ y su longitud efectiva es entonces igual a la longitud real. (Morales, 2003, p.45)

2.2.5.6 Factor de longitud Efectiva

La longitud efectiva de pandeo resulta la distancia entre puntos de inflexión del eje deformado de la columna. Por ello K , es un factor que modifica la luz real del miembro, asimilándola a la del pandeo, para que pueda salir de allí aplicada la ecuación de Euler.

Cálculos del Factor K

Determinación del factor de longitud efectiva aplicando las fórmulas empíricas de Dumonteil:

- Se determinan las longitudes y las inercias de los miembros a analizar.
- Se calcula la rigidez rotacional de cada uno de los nodos con la fórmula.

Dónde:

I_c : Inercia de la columna

I_v : Inercia de la viga

L_c : Longitud de la columna

L_v : Longitud de la viga

- Se necesita especificar si es un pórtico impedido de desplazarse lateralmente o es un pórtico desplazable lateralmente.
- Para finalizar se calcula el factor de longitud efectiva con las fórmulas, dependiendo de la condición del pórtico.
 - Pórticos No Desplazables

- Pórtico Desplazable

Determinación del factor de longitud efectiva utilizando el método de Julian-Lawrence

- Se necesitan conocer los datos de las longitudes y las inercias de los miembros que se van a analizar.
- Se calcula la rigidez rotacional de cada uno de los nodos a analizar con la fórmula, indicada anteriormente.
- Se necesita especificar si es un pórtico de desplazamiento lateral permitido o desplazamiento lateral no permitido.
- Para finalizar se entran en los nomogramas para calcular el factor de longitud efectiva dependiendo de cómo se encuentre el pórtico (ver Figura 10).

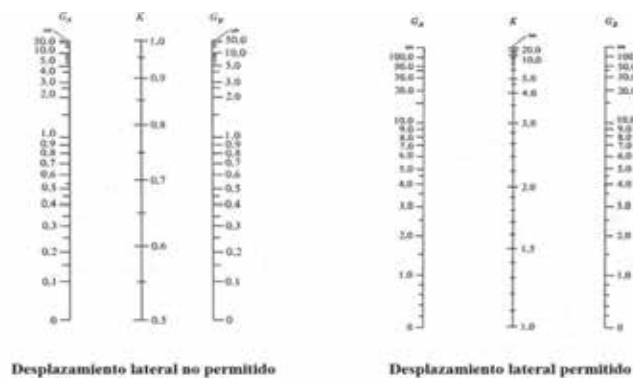


Figura 10. Nomogramas de Julian-Lawrence

Fuente. Vinakota, Estructuras de Acero: Comportamiento y LRFD

Determinación del factor de longitud efectiva aplicando las fórmulas de Cranston y Furlong

- Se verifican los arriostramientos de las columnas, si son arriostradas o no arriostradas.
 - Dependiendo de la respuesta del paso anterior se utilizan las fórmulas de Cranston, para columnas arriostradas, o de Furlong, para columnas no arriostradas.
 - Dichas fórmulas necesitan como datos las longitudes y las inercias de los miembros a utilizar.
 - Para las fórmulas de Cranston se calcula la rigidez rotacional de los diferentes nodos con la fórmula, indicada anteriormente.
 - Se selecciona la rigidez rotacional menor.
 - Tomando en cuenta la rigidez rotacional de los nodos de los extremos del miembro la rigidez rotacional menor, se calculan dos valores del factor de longitud efectiva con las fórmulas.
-
- Para finalizar se selecciona el factor de longitud efectiva que sea menor entre los dos valores obtenidos.
 - Para las fórmulas de Furlong se calcula la rigidez rotacional mayor.
 - Si el valor de rigidez rotacional da como resultado mayor que 2, se utiliza la fórmula (a), si da como resultado menor que 2, se utiliza la fórmula (b), determinándose de este modelo el valor del factor de longitud efectiva.

$$\frac{L}{\sqrt{2}} \quad (a)$$
$$L \quad (b)$$

2.2.5.7 Teoría de Segundo Orden

Una de las hipótesis del análisis estructural de sistemas elásticos lineales es que las deformaciones son finitas, pero suficientemente pequeñas en magnitud para poder establecer el equilibrio de la estructura en la configuración no deformada sin incurrir en errores significativos.

Esta suposición es generalmente válida para el estado de servicio de estructuras y, por tanto, el análisis elástico de 1er orden es adecuado para determinar la respuesta de la estructura para este nivel de solicitaciones.

Sin embargo, cuando se debe determinar la capacidad de la estructura, ya sea en términos de resistencia o de deformación, necesariamente tenemos que considerar los efectos de las solicitaciones, actuando en la configuración deformada de la estructura. Estos efectos se pueden dividir en dos (Ver Figura 11).

- a) Aumento en los esfuerzos internos de los elementos
- b) Aumento en las deformaciones de la estructura

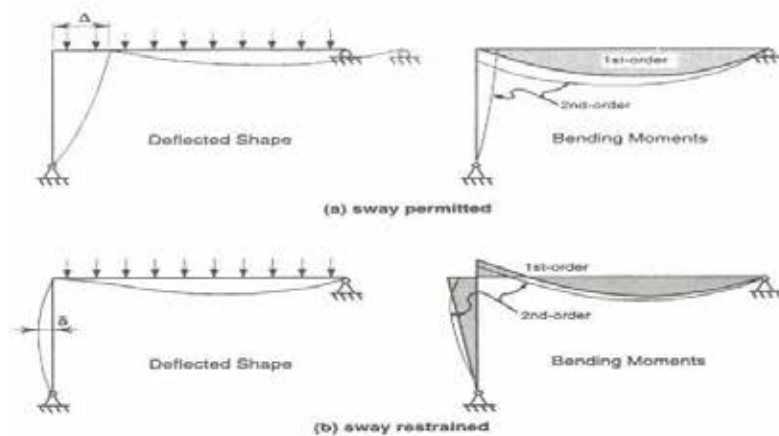


Figura 11. Efectos de segundo orden.

Fuente. Teoría de 2do Orden U-cursos.

Con respecto al aumento de los esfuerzos internos, normalmente se distingue entre dos tipos:

1. El primer aumento, proviene del momento adicional causado por las cargas axiales en los extremos del elemento actuando a través de la posición desplazada de estos. Es por eso que este efecto es normalmente llamado P-

2. El segundo efecto, tiene que ver con el momento adicional generado en el elemento por el esfuerzo axial actuando a través de la deformación transversal del elemento . De ahí el nombre comúnmente asociado a este efecto (P-).

Cuando se habla en general del efecto de segundo orden sobre los esfuerzos, se utiliza normalmente el término “efecto P-delta”, dónde:

- Los efectos de segundo orden afectan los esfuerzos tanto en columnas como en vigas y conexiones.
- Los momentos de segundo orden no tienen necesariamente la misma distribución que los de primer orden. Por lo tanto, el uso de factores de amplificación para considerar estos efectos debe hacerse con mucho cuidado de las hipótesis consideradas cuando se derivaron estos factores.
- Todos los elementos estructurales están sujetos a ambos tipos de P-delta. En muchos casos un efecto dominará sobre el otro, pero la distinción entre ambos no siempre es tan clara.
- Superposición ya no es aplicable. Para considerar los efectos de segundo orden en el análisis, es necesario aplicar todas las acciones al mismo tiempo, mayoradas por sus respectivos factores si se está utilizando un método de diseño con factores de carga.

Otra aplicación muy importante del análisis de segundo orden, es la determinación de la estabilidad de una estructura sometida a cargas laterales y verticales simultáneamente. Al analizar el límite de estabilidad de una estructura, se tiene que para el primer orden la carga crítica que causa inestabilidad de la estructura es la misma para los casos, con y sin carga lateral. Sin embargo, al considerar los efectos de segundo orden la carga crítica disminuye.

2.2.6 Diseño de Elementos Solicitados a Compresión

2.2.6.1 Método de Resistencia por Pandeo Flexional

De acuerdo con las especificaciones de la Norma Venezolana COVENIN 1618-98, Estructuras de Acero para Edificaciones.

- **Resistencia a compresión por pandeo flexional.**

La resistencia minorada por pandeo flexional de los miembros comprimidos sea N_t , donde: $\phi = 0.85$

a) Cuando $\frac{P_u}{\phi P_n} < 0.15$

b) Cuando $\frac{P_u}{\phi P_n} \geq 0.15$

Dónde:

—

— —

L= distancia entre secciones transversales arriostradas contra desplazamientos laterales o torsionales del miembro.

r= radio de giro que controla el diseño tomado con respecto al plano de pandeo.

= coeficiente de reducción por efecto de pandeo local.

=1.0 en secciones donde la relación ancho/ espesor de sus elementos no excede el valor límite de .

= secciones con elementos esbeltos cuya relación ancho/ espesor excede el valor límite de .

Referente a la figura 12, 13 y 14.

DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	RELACIÓN ANCHO ESPESOR	VALORES LÍMITES		
		Sección plástica	Sección compacta	Sección no compacta
		λ_{ps}	λ_p	λ_r
Alas de vigas laminadas en forma de I y canales solicitadas por flexión	b / t	$0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.376 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.816 \sqrt{E / (F_y - F_r)}$ (a)
Alas de vigas híbridas en forma de I, o vigas soldadas solicitadas por flexión	b / t	$0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.376 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.937 \sqrt{E / ((F_y - F_r) / k_c)}$ (a), (b), (c)
Alas comprimidas que sobresalgan de los miembros de sección compuesta	b / t			$0.631 \sqrt{E / (F_y / k_c)}$ (b)
Lados principales de ángulos dobles en contacto continuo; alas de canales en compresión axial; ángulos y planchas que sobresalgan de vigas o miembros comprimidos	b / t		$0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.55 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Alas de ángulos sencillos a compresión; alas de ángulos dobles a compresión con separadores; elementos no rigidizados, esto es, con soporte lateral a lo largo de un borde	b/t		$0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.44 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Almas de perfiles T	d / t		$0.30 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

Figura 12. Relaciones ancho/ espesor para elementos comprimidos no rigidizados.

Fuente. Norma Venezolana COVENIN 1618-98, Estructuras de Acero para Edificaciones.

DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	RELACIÓN ANCHO ESPESOR	VALORES LÍMITES		
		Sección plástica	Sección compacta	Sección no compacta
		λ_{pd}	λ_p	λ_r
Alas de secciones en cajón, cuadradas o rectangulares y secciones estructurales huecas de espesor uniforme solicitadas por flexión o compresión; planchas de cubierta y planchas de diafragma entre líneas de pernos o soldaduras	b / t		$1.10 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Anchos no arriestrados de platabandas perforadas con una sucesión de huecos de acceso (d)	b / t			$1.83 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Almas en compresión por flexión (c), (e)	h / t _w	$3.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.61 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

Figura 13. Relaciones ancho/ espesor para elementos comprimidos rigidizados.

Fuente. Norma Venezolana COVENIN 1618-98, Estructuras de Acero para Edificaciones.

DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO	RELACIÓN ANCHO ESPESOR	VALORES LÍMITES		
		Sección plástica	Sección compacta	Sección no compacta
		λ_{pd}	λ_p	λ_r
Almas solicitadas simultáneamente a compresión y flexión	h / t _w	Para $N_u / \phi_b N_y \leq 0.125$		
		$3.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{1.54 N_u}{\phi_b N_y} \right]$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{2.75 N_u}{\phi_b N_y} \right]$	$5.61 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[1 - \frac{0.74 N_u}{\phi_b N_y} \right]$
		Para $N_u / \phi_b N_y > 0.125$		
		$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \left[2.33 - \frac{N_u}{\phi_b N_y} \right] \geq 1.46 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$		
Todos los demás elementos rigidizados solicitados por compresión uniforme, esto es, con soporte lateral a lo largo de ambos bordes	b / t h / t _w			$1.46 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

Figura 14. Relaciones ancho/ espesor para elementos comprimidos rigidizados.

Fuente. Norma Venezolana COVENIN 1618-98, Estructuras de Acero para Edificaciones.

· **Resistencia a compresión por pandeo torsional o pandeo flexotorsional.**

La resistencia minorada de los miembros comprimidos determinada por los modos de pandeo torsional y flexotorsional será N_t donde:

Dónde:

A = área total de la sección transversal del miembro, cm^2

$\phi = 0.85$; La tensión Crítica teórica se determinara de la siguiente manera: a)

Cuando $\frac{K_y L}{r_y} < \frac{K_x L}{r_x}$

b) Cuando $\frac{K_y L}{r_y} > \frac{K_x L}{r_x}$

Dónde:

—
—

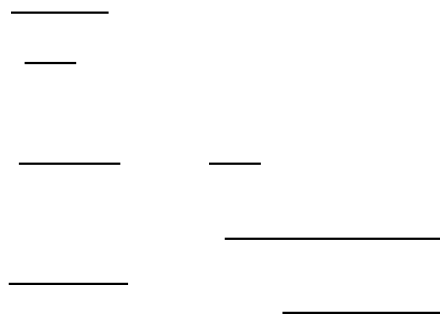
La tensión σ_c , se calculara de acuerdo con la simetría de la sección transversal del miembro comprimido, como se indica a continuación:

- i Para perfiles doblemente simétricos o de simetría puntual es igual a la tensión crítica de pandeo elástico por torsión, $\sigma_c = \frac{C_{t1} \pi^2 E I_p}{K L^2}$
- ii Para perfiles de un solo eje de simetría, suponiendo que el eje Y es el eje de simetría, es igual a la tensión crítica de pandeo elástico por flexotorsión, $\sigma_c = \frac{C_{t2} \pi^2 E I_p}{K L^2}$
- iii Para perfiles asimétricos, será la tensión de pandeo elástico por flexotorsión determinada como la menor raíz cubica de la siguiente ecuación:

$$\left(\frac{C_{t1} \pi^2 E I_p}{K L^2}\right) - \left(\frac{C_{t2} \pi^2 E I_p}{K L^2}\right) - \left(\frac{C_{t1} \pi^2 E I_p}{K L^2}\right)^2 - \left(\frac{C_{t2} \pi^2 E I_p}{K L^2}\right)^2 = 0$$

En las formulas precedentes:

—
—



Con

Dónde:

Constante de alabeo.

J= constante de torsión.

L= longitud no arriostrada lateralmente.

Factores de longitud efectiva para pandeo flexional de las direcciones x e y.

Factores de longitud efectiva por pandeo de torsión.

Radio de giro con respecto a los ejes principales.

Radio de giro polar respecto a los ejes principales.

Coordenadas del centro de corte de la sección transversal.

Ahora bien, de acuerdo con las especificaciones del American Institute of Steel Construction (AISC-2016) para edificios de acero estructural basadas en diseño por factores de carga (LRFD), la resistencia nominal de miembros cargados axialmente que no fallan por pandeo local ni por pandeo por torsión o flexotorsión, está dada por:

2.2.6.2 Método de la Longitud Efectiva

De acuerdo a las especificaciones AISC-LRFD 2016, la resistencia nominal por compresión será afectada por el factor de resistencia ϕ , y será

comparada con la carga última de diseño P_u , la cual será menor que este estado límite y está basada en factores de carga.

La tensión crítica, F_{cr} se determina:

a) $\frac{F_{cr}}{P_u} = \frac{F_{cr}}{P_u}$

—

b) $\frac{F_{cr}}{P_u} = \frac{F_{cr}}{P_u}$

—————
—

Para elementos que fallen por pandeo torsional o flexo-torsional el F_{cr} se calcula de la siguiente manera:

a) Para secciones doble ángulo y secciones T en compresión:

$$\frac{F_{cr}}{P_u} = \frac{F_{cr}}{P_u}$$

Dónde:

—

—————

Para la determinación de los F_e se calculara de la siguiente manera:

i) Para miembros de simetría doble:

$$\frac{F_e}{P_u} = \frac{F_e}{P_u}$$

ii) Para miembros con simetrías simple, donde Y es el de simetría:

iii) Para miembros asimétricos, F_e es la menor raíz de la ecuación cubica:

Dónde:

A_g = área bruta de miembro, $c = \text{cm}^2$ (mm^2)

C_w = constante de akabeo, cm^6 (mm^6)

G = modulo elástico de corte del acero= 790.00kgf/cm^2 (77.200Mpa)

I_x, I_y =momento de inercia en torno de los ejes principales, cm^4 (mm^4)

J = constante torsional, cm^4 (mm^4)

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

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

= radio de giro polar en torno al centro de corte, cm (mm)

r_x = radio de giro en torno al eje x, cm (mm)

r_y = radio de giro en torno al eje y, cm (mm)

X_o, Y_o = coordenadas del centro de corte con respecto al centroide, cm (mm)

Para los métodos de compresión hay que chequear la estabilidad local del elemento,(ver Figura 15).


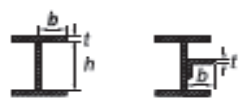
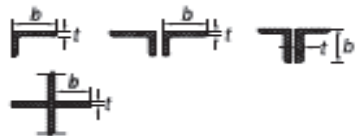




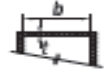

TABLE B4.1a Width-to-Thickness Ratios: Compression Elements Members Subject to Axial Compression				
Case	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio λ_c (nonslender/slender)	Examples
Unstiffened Elements	1 Flanges of rolled I-shaped sections, plates projecting from rolled I-shaped sections; outstanding legs of pairs of angles connected with continuous contact, flanges of channels, and flanges of tees	bt	$0.56\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2 Flanges of built-up I-shaped sections and plates or angle legs projecting from built-up I-shaped sections	bt	$0.64\sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ [a]	
	3 Legs of single angles, legs of double angles with separators, and all other unstiffened elements	bt	$0.45\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4 Stems of tees	dt	$0.75\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Stiffened Elements	5 Webs of doubly-symmetric I-shaped sections and channels	h/t_w	$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6 Walls of rectangular HSS and boxes of uniform thickness	bt	$1.40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7 Flange cover plates and diaphragm plates between lines of fasteners or welds	bt	$1.40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8 All other stiffened elements	bt	$1.49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9 Round HSS	D/t	$0.11\frac{E}{F_y}$	

Figura 15. Chequeo de la estabilidad local para elementos sometidos a compresión

Fuente. Código Americano AISC 360-10 en la Tabla B.4.1a.

2.2.6.3 Método de Análisis Directo

Este método es aplicable a todo tipo de estructura. No distingue entre los sistemas estructurales de construcción, tales como: los marcos arriostrados, los marcos para momento, el marco de cortante, o cualquier combinación de sistemas. Tiene la ventaja adicional de no tener que calcular el factor de longitud efectiva, K . Esto implica que para determinar la resistencia de compresión axial disponible, P_r se usa $K=1.0$.

- **Efectos de segundo orden**

La resistencia requerida, P_r se puede determinar usando un análisis riguroso de segundo orden que requiere un análisis iterativo con computadora del modelo, o mediante la técnica aproximada de utilizar un análisis amplificado de primer orden usando factores de amplificación, B_1 y B_2 , que se especifica en el apéndice 8 del AISC.

- **Reducción de rigidez**

El método del análisis directo usa una rigidez reducida a la flexión y axial para considerar la influencia de la inelasticidad y de la incertidumbre de la resistencia y la rigidez sobre los efectos de segundo orden. En el análisis, la rigidez reducida EI se reemplaza por $0.8 \cdot EI$ y EA se reemplaza con $0.8 EA$.

El factor \cdot depende del nivel de esfuerzo axial en el miembro, lo que implica que el módulo de elasticidad se reduce a medida que el material se vuelve inelástico.

Cuando: —

$$\cdot = 1.0$$

Cuando: —

— —

Dónde: $\cdot = 1.0$ (LRFD)

P_r =resistencia a la compresión axial requerida, klb.

P_y =resistencia a la fluencia axial, klb.

- **Cargas nocionales**

Para considerar que las columnas inicialmente están fuera de la vertical (imperfecciones geométricas) las disposiciones del Análisis Directo requiere la aplicación de cargas nocionales. Las cargas nocionales se aplican como cargas laterales a un modelo de la estructura que se basa en su geometría nominal. La magnitud de las cargas nominales será:

$$N_i = 0.002 Y_i$$

Dónde: $\phi = 1.0$ (LRFD)

N_i = carga nocional aplicada a nivel i , klb.

Y_i = carga por gravedad aplicada al nivel i a partir de una combinación de cargas, klb.

Nota: el termino 0.002 respectivamente de una desviación de la vertical de 1/500, es la tolerancia máxima permitida en la verticalidad de una columna, tal como, lo especifica el AISC (*Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges*).

La carga nocional se suma a otras cargas laterales y se aplica a todas las combinaciones de cargas, excepto por lo indicado en la Sección C2.2b (4) de la Especificación del AISC. Esta sección establece, que para las estructuras donde la relación de la deriva máxima de segundo orden entre la deriva máxima de primer orden en todos los pisos, donde sea igual o menos que 1.7,

Será permisible aplicar la carga nocional, N_i , solo a combinaciones de cargas exclusivamente gravitacionales y no a combinaciones que incluyan a otras cargas laterales.

- **Efecto de primer orden**

Este método que se encuentra en el apéndice 7 de la especificación del AISC, es aplicable donde la relación de la deriva máxima de segundo orden entre la deriva máxima de primer orden en todos los pisos sea igual o menos que 1.5, Es decir,

La resistencia requerida, P_r se calcula a partir de un análisis conforme a los requisitos de la especificación C2.1 del AISC, excepto que no es necesario aplicar la reducción de rigidez indicada en C2.1 (2). Se usa la rigidez nominal de los miembros estructurales. Las cargas nocionales se aplican solo a los casos de cargas exclusivamente gravitacionales.

El factor K se debe determinar a partir de un análisis de pandeo por lado o de los monogramas que se muestran en el capítulo 7 de esta norma. Se permite usar $K=1.0$ para el diseño de todos los sistemas arriostrados y en marcos para momento donde la relación de la deriva máxima de segundo orden entre la deriva máxima de primer orden en todos los pisos sea igual o menor que 1.1.

Es decir,

- **Análisis aproximado de segundo orden**

La resistencia de segundo orden requerido a flexión M_r y la resistencia axial P_r , de todos los miembros deben ser determinadas de la siguiente manera:

Dónde:

B_1 = es el factor que amplifica los efectos $P-\Delta$.

B_2 = factor amplificador que toma en cuenta los efectos $P-\delta$.

M_{1t} = momento de primer orden originado solo por el desplazamiento lateral de la estructura.

M_{nt} =momento de primer orden cuando en la estructura no hay desplazamiento lateral.

M_r = resistencia requerida de segundo orden de flexión.

P_{1t} = fuerza axial de primer orden originado solo por el desplazamiento lateral de la estructura.

P_{nt} = fuerza axial de primer orden cuando en la estructura no hay desplazamiento lateral.

P_r = resistencia requerida de segundo orden a tensión axial.

· **Amplificador B_1 por efecto P-**

Dónde:

C_m = coeficiente que supone un marco sin translación lateral, cuyo valor se calcula de la siguiente manera:

- a) Para vigas- columnas no afectadas a cargas transversales entre apoyos en el plano de flexión,

Donde M_1 y M_2 son el momento menor y mayor respectivamente en los extremos del miembro no arriostrado en el plano de flexión, calculados mediante un análisis de primer orden.

- b) Para vigas- columnas sometidas a cargas transversales entre los apoyos, el valor de C_m es de 1.

P_{e1} = resistencia a pandeo elástico del elemento en el plano de flexión calculada suponiendo que no hay desplazamiento de nudos, kgf (N).

Dónde:

EI^* = rigidez en flexión a ser usada en el análisis ($=0,8 \cdot EI$ cuando se use el método de análisis directo donde \cdot es definido en el capítulo C; $= EI$ para los métodos de longitud efectiva y análisis de primer orden)

E = módulo de elasticidad del acero

I = momento de inercia en el plano de flexión

L = longitud del miembro

K_1 = factor de largo efectivo en el plano de flexión

· **Amplificador B2 por efecto P-**

$$\frac{P_{\text{story}}}{P_{e \text{ story}}}$$

P_{story} =carga vertical total soportada por el piso.

$P_{e \text{ story}}$ = resistencia a pandeo elástico del entrepiso.

$$—$$

Dónde:

L = altura de entrepiso, m (mm)

P_{mf} = carga vertical total en las columnas en el piso que sean parte de marcos rígidos.

H = deriva de entrepiso de primer orden en la dirección de translación considerada, debido a las cargas laterales, mm (cm).

H = tensión de corte en entrepiso, en la dirección de traslación considerada, producido por las cargas laterales.

· **Miembros con simetría simple y doble solicitados a flexión y carga axial.**

La interacción de flexión y compresión en miembros con simetría doble y

solicitados a flexión en torno a un eje geométrico (x y/o y) deben satisfacer las Ecuaciones H1-1a y H1-1b, donde I es el momento de inercia en torno al eje y referido al ala en compresión, cm^4 (mm^4).

a) Cuando —

$$\frac{P}{P_c} + \frac{M}{M_c} \leq 1 \quad \text{(H1-1a)}$$

b) Cuando —

$$\frac{P}{P_c} + \frac{M}{M_c} \leq 1 \quad \text{(H1-1b)}$$

Dónde:

P_r = resistencia de compresión axial requerida

$P_c = \phi P_n$ = resistencia de compresión axial disponible

M_r = resistencia de flexión requerida

$M_c = \phi M_n$ = resistencia de flexión disponible

x = subíndice que indica flexión en torno al eje fuerte

y = subíndice que indica flexión en torno al eje débil

$c = 0,90$, factor de resistencia en compresión

$b = 0,90$, factor de resistencia en flexión

2.2.6.4 Método de Resistencia al Pandeo

De acuerdo con las especificaciones del Eurocódigo3 (EC3), del diseño para estructura de acero, donde plantea lo siguiente:

- **Clase de secciones**

La comprobación por agotamiento, requiere previamente de una clasificación de los materiales en 4 clases, lo que permite dimensionar la estructura en función de los materiales empleados:

- Clase 1: Aceros con capacidad de rotación ilimitada (todas las fibras pueden plastificar sin que se sobrevenga la inestabilidad por abolladura). Es el caso de los perfiles laminados.
- Clase 2: Estos elementos no tienen rotación ilimitada. Se incluyen en este grupo los perfiles laminados del tipo HA.
- Clase 3: Este grupo no puede sobrepasar el límite elástico porque la pieza no tiene capacidad resistente para ello. Es el caso de las vigas armadas para puentes, polideportivos, pasarelas, etc.
- Clase 4: Para estos elementos hay que considerar la imposibilidad de que alcancen el límite elástico en su comportamiento. Se incluyen los aceros conformados en frío o chapa ligera.

De la gráfica que se muestra a continuación se puede deducir, en función de la clase de sección y en base a los diagramas de momento-rotación, el comportamiento de cada uno de los grupos descritos:

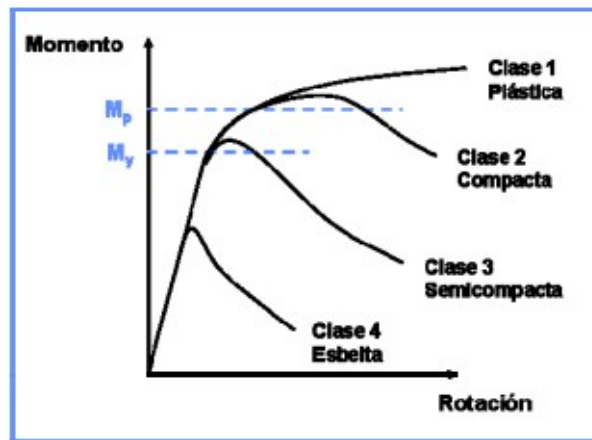


Figura 16. Comportamiento de las clases de secciones

Fuente. Eurocódigo 3, Proyecto de estructuras de acero.

- **Resistencia de la sección transversal**

EN 1993-1-1 Cláusula 6.2.4 del EC3, la siguiente ecuación establece que el valor de diseño de la fuerza de compresión (N_{Ed}) debe ser menor que la resistencia transversal de diseño de las secciones a la fuerza de compresión uniforme (N_c, R_d):

$$N_{Ed} < N_c, R_d$$

La resistencia de la sección transversal en compresión depende de la clasificación de la sección transversal. Para las clases 1, 2 y 3:

$$N_c, R_d = A \cdot f_y$$

Para secciones de Clase 4:

$$N_c, R_d = A \cdot f_t$$

- **Resistencia a pandeo**

Un elemento comprimido debería ser comprobado frente a pandeo como sigue:

$$N_{Ed} < N_{b,Rd}$$

Dónde:

N_{Ed} es el valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión.

$N_{b,Rd}$ es la resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

Para elementos con sección transversal clase 4 no simétrica, debería considerarse el momento adicional debido a la excentricidad del eje que pasa por el centro de la gravedad de la sección reducida, es por ello que debe determinarse de la siguiente manera:

Para secciones transversales de clase 1,2 y 3.

Para secciones transversales de clase 4.

Donde es el coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado.

Al determinar χ y χ_{eff} , no es necesario tener en cuenta los agujeros para los elementos de unión que existen en zonas extremas del pilar.

- **Curvas de pandeo**

La selección de la curva de pandeo depende de la geometría de la sección. El cuadro 6.2 de la norma EC3 EN 1993-1-1 proporciona orientación sobre una serie de secciones.

- **Longitudes de pandeo efectivas**

La longitud efectiva de un miembro dependerá de sus condiciones finales. EC3 no proporciona una orientación directa sobre el cálculo de la longitud de pandeo. Algunas longitudes eficaces típicas se dan en la Figura 17.

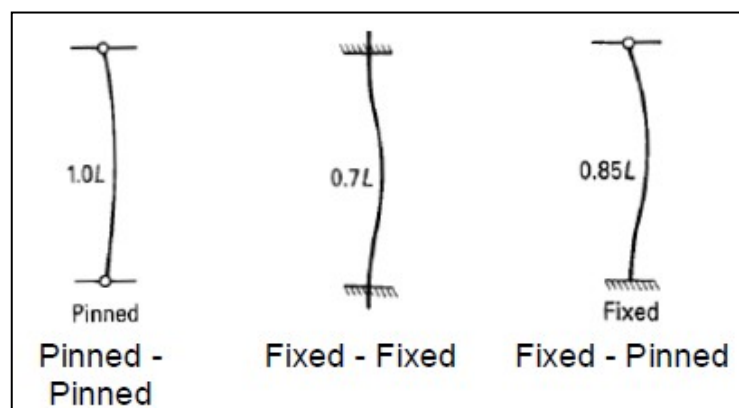


Figura 17. Longitudes efectivas para tres tipos de condiciones finales

Fuente. Eurocódigo3, Proyecto de estructuras de acero.

- **Carga elástica de pandeo crítica**

N_{cr} es la carga elástica de pandeo crítico para el correspondiente modo de pandeo basado en las propiedades brutas de la sección transversal.

- **Esbeltez no dimensional**

Para las secciones con las Clases 1, 2 y 3:

Para las secciones de clases 4:

- **Factor de imperfección,**

El valor del coeficiente de imperfección para cada una de las curvas de pandeo debería obtenerse de las figura 18 y 19, como se muestra a continuación:

Curva de pandeo	a_0	a	b	c	d
Coeficiente de imperfección α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Figura 18. Coeficiente de imperfección para las curvas de pandeo

Fuente. Eurocódigo 3, Proyecto de estructuras de acero

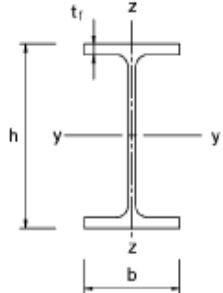
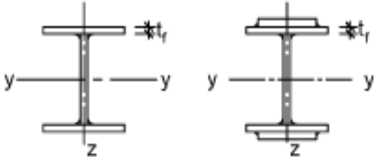

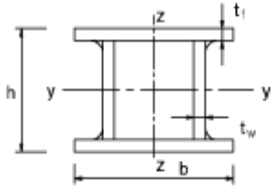
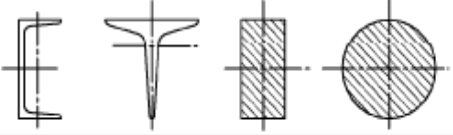

Sección transversal	Límites	Pandeo alrededor del eje	Curva de pandeo		
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460	
 Secciones de perfiles laminados	$h/b > 1,2$	y-y z-z	$t_f \leq 40$ mm	a b	a_0 a_0
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	b c	a a
	$h/b \leq 1,2$	y-y z-z	$t_f \leq 100$ mm	b c	a a
			$t_f > 100$ mm	d d	c c
 Secciones en I de vigas soldadas	$t_f \leq 40$ mm	y-y z-z	b c	b c	
	$t_f > 40$ mm	y-y z-z	c d	c d	
 Secciones huecas	Acabados en caliente	cualquiera	a	a_0	
	Conformados en frío	cualquiera	c	c	
 Secciones en cajón de vigas soldadas	En general (excepto el caso del recuadro inferior)	cualquiera	b	b	
	Soldaduras gruesas: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	cualquiera	c	c	
 Secciones en U o en simple T y secciones rectangulares		cualquiera	c	c	
 Secciones de perfiles de angulares		cualquiera	b	b	

Figura 19. Elección de la curva de pandeo para cada sección transversal.

Fuente. Eurocódigo 3, Proyecto de estructuras de acero.

• **Factor de reducción,**

Dónde:

2.2.7 Perfiles tipo HEA, HEB, Wide Flange y Tubulares.

2.2.7.1 Perfiles tipo HE

Es un tipo de perfil laminado correspondiente a la normativa europea cuya sección transversal tiene forma de doble T, con alas más anchas que un perfil doble T de tipo IPN o IPE. Las caras exteriores e interiores de las alas son paralelas entre sí y perpendiculares al alma, por lo que las alas tienen espesor constante. Las uniones entre las caras del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas. Además, las alas tienen el borde con aristas exteriores e interiores vivas.

Estos perfiles son designados por las letras HEA, HEB o HEM, seguidas de un número que indica la altura total nominal (h) del perfil base HEB, expresada en milímetros.

Los perfiles HE tienen un mejor comportamiento a la torsión y también tienen una carga crítica notablemente superior por tener los dos momentos de inercia seccionales más equilibrados.

Estos perfiles de acero inoxidable se pueden atornillar, soldar, laminar en caliente o extrudir. El uso de perfiles de acero inoxidable se caracteriza por una alta flexibilidad de la composición y por una construcción rápida y económica (a través de la posibilidad de prefabricación en la producción de acero). Los perfiles de acero inoxidable se desarrollan sobre todo a partir de residuos y pueden ser reciclados después de su uso, con el consiguiente ahorro de recursos naturales.

- **Tipo HEA:**

Serie ligera, más ligero que el HEB.

- **Tipo HEB:**

Serie normal, perfil base.

Para los perfiles de altura nominal del perfil HEB igual o inferior a 300 mm, la anchura de las alas (b) es igual a la altura h . Para los perfiles de $h > 300$ mm, la anchura de las alas es igual a 300 mm.

2.2.7.2 Perfiles tipo Wide Flange

Perfiles con nomenclatura de la serie americana WF (wide flange), siendo ángulos de alas desiguales. Son piezas únicas, que se obtienen por la laminación de tochos o palanquillas provenientes del proceso de colada continua.

Las características técnicas de los perfiles laminados facilitan la solución de las conexiones y uniformidad estructural, por no presentar soldaduras o costuras e inclusive un bajo nivel de tensiones residuales localizadas, gracias a la ausencia de soldadura en su proceso de fabricación.

2.2.7.3 Perfiles Tubulares.

Se utilizan en todo tipo de elementos estructurales como columnas, vigas y contra venteo, en general como en cualquier otra aplicación en la que sea necesaria la resistencia y fiabilidad que ofrecen las secciones tubulares.

Los tubos estructurales soldados ofrecen grandes ventajas sobre los clásicos perfiles estructurales:

- Por su forma cerrada y bajo peso presentan un mejor comportamiento a esfuerzos de torsión y resistencia al pandeo.
- Facilidad de montaje, permitiendo la realización de uniones simples por soldadura.
- Superficies exteriores reducidas, sin ángulos vivos ni rebabas, permitiendo un fácil mantenimiento y protección contra corrosión.
- Posibilidad de configuraciones de gran belleza

2.3 Bases Legales

- Norma Venezolana 1618:2016, Estructuras de Acero para Edificaciones. Método de los Estados Límites.
- ANSI/AISC 360-16, Specification for Structural Steel Buildings (Especificaciones para construcciones de acero).
- Eurocode 3, Design of steel structures design of steel structures, using the limit state design philosophy. (Especificaciones para construcciones de acero).

2.4 Definición de Términos Básicos

Alabeo: El alabeo unitario o alabeo seccional es una función (y,z) que predice la forma deformada de la sección transversal de un prisma mecánico y que define varias características geométricas importantes relacionadas con el cálculo de tensiones en caso de flexión, torsión y cortante combinados.

Cedencia: deformación irre recuperable de la probeta, a partir de la cual sólo se recuperará la parte de su deformación correspondiente a la deformación elástica, quedando una deformación irreversible.

Cedencia de la Sección: este mecanismo de falla es característico de columnas cortas, donde la carga de la columna alcanza el esfuerzo de fluencia de acero.

Coefficiente de Poisson: Relación entre la deformación lateral y la correspondiente deformación longitudinal, en un cuerpo elástico sometido a un esfuerzo longitudinal.

Columna: Elemento arquitectónico de soporte, rígido, más alto que ancho y normalmente de sección cilíndrica o poligonal, que sirve para soportar la estructura horizontal de un edificio, un arco u otra construcción; también puede constituir por sí solo un elemento decorativo.

Columnas Cortas: son las que el esfuerzo de falla será igual al esfuerzo de fluencia y no ocurrirá el pandeo.

Columnas intermedias: algunas fibras alcanzan los esfuerzos de cedencia y otras no; estas fallaran tanto por fluencia como por pandeo y su comportamiento se denominara inelástico.

Columnas Largas: son las que el esfuerzo axial de pandeo permanece por abajo del límite proporcional. Dichas columnas fallan elásticamente.

Compresión: comprimir.

Este verbo refiere a estrechar, apretar, oprimir o reducir a menor volumen.

Curvatura. La rotación por unidad de longitud debida a flexión (curvature).

Deformación: Cualquier cambio en la forma, estructura o dimensiones de un cuerpo causadas por un esfuerzo o fuerza.

Desplazamiento: es el vector que define la posición de un punto o partícula en relación a un origen A con respecto a una posición B.

Histéresis: es la tendencia de un material a conservar una de sus propiedades, en ausencia del estímulo que la ha generado. Podemos encontrar diferentes manifestaciones de este fenómeno. Por extensión se aplica a fenómenos que no dependen sólo de las circunstancias actuales, sino también de cómo se ha llegado a esas circunstancias.

Pandeo: fenómeno de inestabilidad elástica que puede darse en elementos comprimidos esbeltos, y que se manifiesta por la aparición de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión.

Perfiles Metálicos: son aquellos productos laminados, fabricados usualmente para su empleo en estructuras de edificación, o de obra civil.

Pórtico: es un espacio arquitectónico cubierto conformado por una galería de columnas adosada a un edificio.

Radio de Curvatura R: radio interior de porción doblada de la sección.

Rigidez: Medida de la resistencia que ofrece un material a la deformación

Sección esbelta: La sección transversal de un miembro que por poseer elementos esbeltos puede experimentar pandeo local en el rango elástico.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLOGICO

Con el objetivo principal de cumplir la presente investigación, el cual consiste en el análisis comparativo de metodologías para elementos de acero sometidos a tensiones de compresión axial, el presente capítulo busca explicar de qué manera se llevó a cabo lo antes expuesto y como se logró, sabiendo que el marco metodológico es “un proceso que, mediante el método científico, procura obtener información relevante para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento” (Tamayo y Tamayo,2003).

3.1 Tipo de investigación

La investigación descriptiva “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento” (Arias, 2006) .Su meta no se limita a la recolección de datos, sino a la predicción e identificación de las relaciones que existen entre dos o más variables, en este sentido ya que el objetivo de esta investigación es el análisis comparativo de metodologías para elementos de acero sometidos a compresión axial, se considera que la misma es de tipo descriptiva.

Es importante resaltar que el tipo de investigación es documental-descriptiva ya que permite observar y cuantificar de manera independiente, aquellas variables influyentes en el análisis comparativo de metodologías, para así poder identificar minuciosamente los resultados, a fin de extraer generalidades significativas que contribuyan al conocimiento.

3.2 Diseño de la investigación

“Es el diseño o estrategia adoptada para responder al problema planteado. Según esto, la investigación puede ser documental, de campo y experimental” (Arias, 2006). Es por ello que el diseño en la presente investigación, describe el comportamiento de los elementos de acero, de modo que sea posible caracterizar y

diferenciar las metodologías de diseño de miembros sometidos a solicitaciones de compresión axial, para así elaborar un balance comparativo entre dichas metodologías.

Es importante destacar que en esta investigación la información fué extraída de la norma venezolana COVENIN 1618-98: Estructuras de acero para edificaciones, la norma internacional American Institute of Steel Construction, en su última edición AISC360-16,y del Eurocódigo 3: Diseño para estructura de acero; lo cual se corresponde a un diseño de investigación documental, el cual se basa en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores.

3.3 Nivel de la Investigación

“Es el grado de profundidad con el que se realiza el estudio, en este sentido la investigación podrá ser: exploratoria, descriptiva o explicativa” (Arias, 2006). De acuerdo con esto, el nivel del presente trabajo se corresponde al descriptivo, el cual “consiste en describir y analizar sistemáticamente características homogéneas de los fenómenos estudiados según la realidad, esto va más a la búsqueda de aquellos aspectos que desean conocer y de los que se pretende obtener respuestas” (Bavaresco, 2002). Es por ello, que la actual investigación busca profundizar las diferentes metodológicas respecto a los elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial, generando así conclusiones y recomendaciones específicas de los mismos. De esta forma, se puede facilitar el cálculo de las metodologías a caracterizar, siendo esto un aporte académico relevante en materia de acero en Venezuela.

3.4 Población y muestra

Según Tamayo y Tamayo, (2003), “La población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población posee una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación” y la muestra como “el grupo de individuos que se toma de la población, para estudiar un fenómeno estadístico” . Ahora bien, la presente investigación representa un estudio de concepción técnica, es por ello que este no se ve afectado por el comportamiento de individuos, por lo que no resulta factible, plantear o

determinar de forma específica la población y la muestra, ya que no se puede aplicar una probabilidad al tema en estudio.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

“Las técnicas e instrumentos de recolección de datos se consideran como aquellos que permiten al investigador obtener la información necesaria para el desarrollo del trabajo. Se pueden mencionar como técnicas de recolección de la información: la observación, la encuesta, la entrevista, la revisión documental, las sesiones de profundidad” (Hurtado, 2008). Ahora bien, en función a la técnica, aparecen los instrumentos de recolección de datos, estos sintetizan en si toda la labor previa de la investigación, resume los aportes del marco teórico al seleccionar datos que corresponden a los indicadores y, por lo tanto a las variables o conceptos utilizados. Cualquiera información o dato referente al contenido de la tesis que elaboramos en consonancia directa con el problema planteado, como la verificación de las variables, la hipótesis formulada y la naturaleza del instrumento a utilizar, dependerá del tipo de investigación. Referente a esto, la información presentada en el actual trabajo es proveniente directamente de recursos físicos de carácter bibliográfico, como también, información correspondiente a medios digitales y tecnológicos.

3.6 Fases metodológicas

Con el fin de llevar un procedimiento ordenado y secuencial para el logro de los objetivos, se presenta una metodología estructurada en cinco (5) fases en las que se desarrollará el tema en estudio:

Fase I: Describir el comportamiento de elementos de acero sometidos a sollicitaciones de compresión axial.

Para describir el comportamiento de un elemento de acero sometido a sollicitaciones de compresión axial es importante entender sus propiedades, su curva de esfuerzo-deformación, su capacidad de falla por pandeo respecto a la curva o flexión que se produce en la mitad de un elemento debido a la compresión, antes que su capacidad de falla por aplastamiento.

Es el pandeo un fenómeno que obedece a la inestabilidad de ciertos materiales al ser sometidos a una compresión. Si dicha deformación se incrementa hasta superar la resistencia de la estructura, donde se produce una falla o colapso.

Fase II: Caracterizar las diversas metodologías para el diseño de los elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial.

El método de Análisis Directo consiste básicamente que la falla de un elemento sometido a compresión axial tiene desplazamientos laterales y no es exclusivamente por pandeo, al contrario de los métodos de la longitud efectiva, el método de Resistencia por Pandeo Flexional y el de resistencia por pandeo, ya que estos suponen fallas únicas por pandeo.

Fase III: Elaborar una herramienta computacional para el cálculo de las diversas metodologías para elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial.

Se elaboró un software tipo Excel que permita realizar el diseño de columnas de perfiles HEA, Wide Flanges, Tubulares Circulares y Cuadradas, bajo las normativas AISC360-10, COVENIN 1618-1998, Eurocódigo 3, considerando la longitud libre del pandeo, parámetros de estabilidad de la sección, en el cual se le introduce unas cargas iniciales como carga servicios, además de la propiedad de los materiales para que devuelva los resultados de la capacidad de diseño.

Fase IV: Diferenciar las metodologías para elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial.

Para diferenciar las metodologías para elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial es importante presentar el procedimiento de cálculo que se utilizó donde, al adquirir la información general recolectada de la herramienta computacional, y se procedió a construir tablas de cada una de las metodologías para posteriormente realizar un balance comparativo que permitió ver de una forma más clara y ordenada las semejanzas y diferencias de cada una de ellas.

Fase V: Analizar comparativamente las metodologías para elementos de acero sometidos a compresión axial.

El procedimiento de diferenciar las metodologías, permitió obtener de una manera más audaz y sencilla, tablas que mostraron los datos obtenidos de manera tabulados como también, las diferencias de áreas entre las diferentes metodologías según el perfil utilizado y a su vez, gráficas donde se compararon cargas vs áreas, carga vs factor Kl/r , para cada uno de los perfiles estudiados y carga vs Acero, sabiendo que se utilizará un A-36 y A500GrC, donde se podrá observar el comportamiento de cada una de las metodologías, y esto agilizará el análisis comparativo para así, determinar que método posee las características favorables para el comportamiento estructural, y ver cual se adecue mejor a la mayoría de los parámetros expuestos.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se exponen todos los resultados obtenidos, que fueron necesarios para realizar el análisis comparativo de las metodologías para elementos de acero sometidos a compresión axial, en las mismas se presentan figuras, tablas y gráficos que fueron recolectados y desarrollados. Es por ello que a continuación se describe el desarrollo de cada fase presentada anteriormente en la metodología del trabajo de grado.

4.1 Fase 1: Describir el comportamiento de elementos de acero sometidos a sollicitaciones de compresión axial.

En base a la teoría desarrollada en el capítulo dos, se puede sustentar una metodología para el comportamiento de elementos de acero sometidos a compresión axial, es por ello, que existen varios tipos de miembros que trabajan a compresión, de los cuales la columna es el más conocido. Las columnas son miembros verticales rectos cuyas longitudes son considerablemente mayores que su ancho. Hay tres modos generales según los cuales las columnas cargadas axialmente pueden fallar. Éstos son: por pandeo flexionante (llamado también pandeo de Euler), estos están sometidos a flexión cuando se vuelven inestables. El pandeo local, que ocurre cuando alguna parte de la sección transversal de una columna son tan delgadas que se pandean localmente en compresión antes que los otros modos de pandeo puedan ocurrir (la susceptibilidad de una columna al pandeo local se mide por las relaciones ancho a espesor de las partes de su sección transversal) y el pandeo torsionante que puede ocurrir en columnas que tienen ciertas configuraciones en su sección transversal. Esas columnas fallan por torsión o por una combinación de pandeo torsional y flexionante.

Una columna sujeta a compresión axial se acortará en la dirección de la carga. Si la carga se incrementa hasta que la columna se pandea, el acortamiento cesará y la columna se flexionará o deformará súbitamente en sentido lateral,

Pudiendo al mismo tiempo torcerse en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.

Entre más larga sea una columna para una misma sección transversal, mayor es su tendencia a pandearse y menor será la carga que pueda soportar. La tendencia de un miembro a pandearse se mide por lo general con la relación de esbeltez, que se ha definido como la relación entre la longitud del miembro y su radio de giro mínimo. La tendencia al pandeo depende también de los siguientes factores: tipo de conexión en los extremos, excentricidad de la aplicación de la carga, imperfecciones en el material de la columna, torceduras iniciales en la columna y esfuerzos residuales de fabricación.

La resistencia de una columna y el modo de falla dependen en gran medida de su longitud efectiva. Una columna de acero muy corta y robusta puede cargarse hasta que el acero fluya y tal vez prosiga hasta el rango de endurecimiento por deformación. Como resultado, puede soportar aproximadamente la misma carga a compresión que a tensión.

Al crecer la longitud efectiva de una columna, disminuye su esfuerzo de pandeo. Si la longitud efectiva excede un cierto valor, el esfuerzo de pandeo será menor que el límite proporcional del acero. Las columnas en este intervalo fallan elásticamente.

Las columnas muy largas de acero fallan bajo cargas que son proporcionales a la rigidez por flexión (EI) de la columna e independientes de la resistencia del acero. Es por ellos, que según la longitud de las columnas estas se clasifican de tres formas:

- Columnas cortas: En columnas muy cortas el esfuerzo de falla será igual al esfuerzo de cedencia y no ocurrirá el pandeo.
- Columnas intermedias: En columnas intermedias, algunas fibras alcanzarán el esfuerzo de cedencia y otras no. Los miembros fallarán tanto por cedencia como por pandeo y su comportamiento se denomina inelástico. La mayoría de las columnas caen en este rango.

- Columnas largas: La fórmula de Euler predice muy bien la resistencia de columnas largas en las que el esfuerzo axial de pandeo permanece por abajo del límite proporcional. Dichas columnas se pandean elásticamente.

Por otro lado, otro de los componentes que afectan la resistencia de una columna son los esfuerzos residuales. Estos son de gran importancia en columnas con relaciones de esbeltez de 40 a 120, intervalo que incluye un gran porcentaje de las columnas usadas en la práctica.

Una columna con esfuerzos residuales se comporta como si tuviese una sección transversal más pequeña. Esta sección reducida o parte elástica de la columna cambiará al hacerlo los esfuerzos aplicados. Los cálculos relativos al pandeo de una columna específica con esfuerzos residuales pueden efectuarse usando un momento de inercia efectivo (I_e) de la parte elástica de la sección transversal, o bien, usando el módulo tangente. Para las secciones comunes usadas como columnas, los dos métodos dan resultados casi iguales.

4.2 Fase 2: Caracterizar las diversas metodologías para elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial.

Para el desarrollo de este objetivo fue necesario caracterizar el procedimiento de cada una de las metodologías utilizadas, como se presenta a continuación:

4.2.1 Método de la Longitud Efectiva (AISC 360-16)

En las especificaciones de acero la longitud efectiva de una columna se denomina KL , en donde K es el factor de longitud efectiva. K es el número por el que debe multiplicarse la longitud de la columna para obtener su longitud efectiva. Su magnitud depende de la restricción rotacional en los extremos de la columna y de la resistencia al movimiento lateral de ésta. El concepto de longitud efectiva es simplemente un método matemático para reemplazar una columna con cualquier condición en los extremos, por una columna equivalente con extremos articulados. El factor K se determina encontrando la columna articulada con una longitud equivalente que proporcione el mismo esfuerzo crítico. El procedimiento

del factor K es un método para encontrar soluciones simples a problemas complicados de pandeo en marcos.

Ahora bien, la resistencia nominal por compresión será afectada por el factor de resistencia $\phi = 0.9$, y será comparada con la carga última de diseño P_u , la cual será menor que este estado límite y está basada en factores de carga.

La tensión crítica, F_{cr} se determina:

a) $\phi F_{cr} < \phi F_y$

—

b) $\phi F_{cr} > \phi F_y$

—————
—

Para elementos que fallen por pandeo torsional o flexo-torsional el F_{cr} se calcula de la siguiente manera:

a) Para secciones doble ángulo y secciones T en compresión:

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E I_x}{L^2} \left[\frac{K_y^2 I_x + K_z^2 I_y}{I_x + I_y} + \frac{K_y K_z (I_x - I_y)}{L^2} \right]$$

Dónde:

—

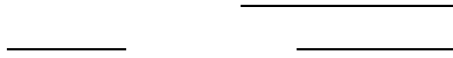
—————

Para la determinación de los F_e se calculara de la siguiente manera:

i) Para miembros de simetría doble:

$$F_e = \frac{\pi^2 E I_x}{L^2}$$

ii) Para miembros con simetrías simple, donde Y es el de simetría:



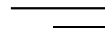
iii) Para miembros asimétricos, Fe es la menor raíz de la ecuación cubica:



Dónde:

A_g = área bruta de miembro, $c=cm^2$ (mm^2)

C_w = constante de akabeo, cm^6 (mm^6)



G = modulo elástico de corte del acero= $790.00kgf/cm^2$ ($77.200Mpa$)



I_x, I_y =momento de inercia en torno de los ejes principales, cm^4 (mm^4)

J = constante torsional, cm^4 (mm^4)

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

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

= radio de giro polar en torno al centro de corte, cm (mm)



r_x = radio de giro en torno al eje x, cm (mm)

r_y = radio de giro en torno al eje y, cm (mm)

X_o, Y_o = coordenadas del centro de corte con respecto al centroide, cm (mm)

A continuación se muestra como se realiza el método:

- Chequeo de la estabilidad local para elementos sometidos a compresión

Para el ala:

$$\frac{F_{cr}}{F_c} \geq 1$$

Para el alma:

$$\frac{F_{cr}}{F_c} \geq 1$$

Ambos deben cumplir para no esbeltos.

- Chequeamos la tensión crítica, y se calcula F_{cr} :

a) $F_{cr} = \frac{\pi^2 E I_x}{L^2}$

$$=$$

b) $F_{cr} = \frac{\pi^2 E I_y}{L^2}$

Siendo F_c :

$$=$$

- Obtención de ϕ :

Siendo el factor de resistencia:

- Verificación de que cumpla la carga última con la carga obtenida:

Dónde:

P_n = resistencia de compresión nominal.

F_e = tensión de pandeo elástico.

F_r = tensión crítica.

4.2.2 Método de Resistencia al Pandeo (Eurocódigo 3)

Eurocódigo 3, habla de una clasificación de los materiales para comprobar la sección por agotamiento, lo que permite dimensionar la estructura en función de los materiales empleados:

- Clase 1: Aceros con capacidad de rotación ilimitada (todas las fibras pueden plastificar sin que se sobrevenga la inestabilidad por abolladura). Es el caso de los perfiles laminados.
- Clase 2: Estos elementos no tienen rotación ilimitada. Se incluyen en este grupo los perfiles laminados del tipo HA.
- Clase 3: Este grupo no puede sobrepasar el límite elástico porque la pieza no tiene capacidad resistente para ello. Es el caso de las vigas armadas para puentes, polideportivos, pasarelas, etc.
- Clase 4: Para estos elementos hay que considerar la imposibilidad de que alcancen el límite elástico en su comportamiento. Se incluyen los aceros conformados en frío o chapa ligera.

Según su clase se plantean las ecuaciones con las siguientes condiciones:

- **Resistencia de la sección transversal:** establece que el valor de diseño de la fuerza de compresión (N_{Ed}) debe ser menor que la resistencia transversal de diseño de las secciones a la fuerza de compresión uniforme (N_c, R_d):

La resistencia de la sección transversal en compresión depende de la clasificación de la sección transversal. Para las clases 1, 2 y 3:

Para secciones de Clase 4:

- **Resistencia a pandeo:** Un elemento comprimido debería ser comprobado frente a pandeo como sigue:

Dónde:

N_{ed} es el valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión.

$N_{b,Rd}$ es la resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

Para elementos con sección transversal clase 4 no simétrica, debería considerarse el momento adicional debido a la excentricidad del eje que pasa por el centro de la gravedad de la sección reducida, es por ello que debe determinarse de la siguiente manera:

Para secciones transversales de clase 1,2 y 3.

Para secciones transversales de clase 4.

Donde es el coeficiente de reducción para el modo de pandeo considerado.

Al determinar η y η_{eff} , no es necesario tener en cuenta los agujeros para los elementos de unión que existen en zonas extremas del pilar.

- **Curvas de pandeo:** La selección de la curva de pandeo depende de la geometría de la sección.
- **Longitudes de pandeo efectivas:** La longitud efectiva de un miembro dependerá de sus condiciones finales.
- **Carga elástica de pandeo crítica:** N_{cr} es la carga elástica de pandeo crítico para el correspondiente modo de pandeo basado en las propiedades brutas de la sección transversal.

-
- **Esbeltez no dimensional:** Para las secciones con las Clases 1, 2 y 3:
-
-

Para las secciones de clases 4:

A continuación se muestra como se realiza el método para las secciones con las Clases 1, 2 y 3:

- Cálculo del esfuerzo axial crítico para pandeo:

- Se toman las curvas de pandeo (Tabla 6.1 Eurocódigo 3)

- Cálculo de la esbeltez no dimensional:

- Cálculo de

Dónde:

- Cálculo

- Comprobación frente al pandeo:

Dónde:

N_{cr} es la carga elástica de pandeo crítico

N_{ed} es el valor de cálculo del esfuerzo axial de compresión.

$N_{b,Rd}$ es la resistencia de cálculo a pandeo del elemento comprimido.

Factor de reducción

esbeltez no dimensional

factor de imperfección

4.2.3 Método de resistencia por pandeo flexional (COVENIN 1618-1998A)

Los miembros comprimidos se diseñarán a partir de su longitud efectiva kL , definida como el producto del factor de longitud efectiva, k , y la longitud no arriostrada lateralmente, L .

La relación de esbeltez es la relación entre la longitud efectiva de un miembro comprimido normalmente respecto al radio de giro, ambos referidos al mismo eje de flexión.

La resistencia minorada a compresión, $\phi_c N_t$, será el menor valor que se obtenga de analizar los posibles modos de pandeo flexional, torsional y flexotorsional de la sección del miembro comprimido normalmente. El pandeo local se ha incluido en la formulación de los modos de pandeo mediante el factor de reducción por efecto de pandeo local ϕ .

La resistencia minorada de los miembros comprimidos determinada por los modos de pandeo torsional y flexotorsional será N_t donde:

Dónde:

A = área total de la sección transversal del miembro, cm^2

$\phi = 0.85$; La tensión Crítica teórica se determinara de la siguiente manera: a)

Cuando $\lambda < \lambda_c$

b) Cuando $\lambda > \lambda_c$

Dónde:

—
—

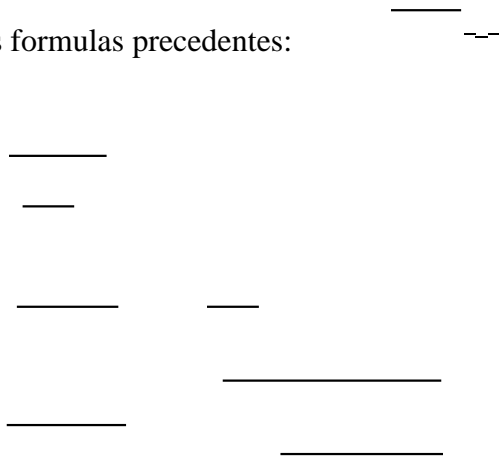
La tensión, σ_c , se calculara de acuerdo con la simetría de la sección transversal del miembro comprimido, como se indica a continuación:

- i Para perfiles doblemente simétricos o de simetría puntual es igual a la tensión crítica de pandeo elástico por torsión, $\sigma_c = \sigma_{cr}$

- i Para perfiles de un solo eje de simetría, suponiendo que el eje Y es el eje de simetría, es igual a la tensión crítica de pandeo elástico por flexotorsión, =
- ii Para perfiles asimétricos, será la tensión de pandeo elástico por flexotorsión determinada como la menor raíz cubica de la siguiente ecuación:

$$(-)(-)(-)-(-)(/)^2-(-)(/)^2=0$$

En las formulas precedentes:



Con



Dónde:

Constante de alabeo.

J= constante de torsión.

L= longitud no arriostrada lateralmente.

Factores de longitud efectiva para pandeo flexional de las direcciones x e y.

Factores de longitud efectiva por pandeo de torsión.

Radio de giro con respecto a los ejes principales.

Radio de giro polar respecto a los ejes principales.

Coordenadas del centro de corte de la sección transversal.

A continuación se muestra como se realiza el método:

- Chequeo de relaciones ancho/espesor para elementos comprimidos rigidizados Tabla 4-1(B)

Ambos elementos del perfil deben clasificarse como no esbeltos.

- $\lambda_{as} = 1.0$ en secciones donde la relación ancho / espesor de sus elementos no excede el valor límite de λ r dado en la Tabla 4.1.
- Calculo

—
— —

- Para donde caigan los cálculos en las siguientes condiciones, obtenemos F_{cr}

a) Cuando _____

b) Cuando _____

- Determinación de la resistencia minorada de los miembros comprimidos
- Verificación que cumpla la condición de la resistencia nominal respecto a la minorada

Dónde:

L= distancia entre secciones transversales arriostradas contra desplazamientos laterales o torsionales del miembro.

= coeficiente de reducción por efecto de pandeo local.

A= área total de la sección transversal del miembro, cm²

=0.85; La tensión Crítica teórica

4.2.4 Método de Análisis Directo (AISC360-16)

Este método es aplicable a todo tipo de estructura. No distingue entre los sistemas estructurales de construcción, tales como: los marcos arriostrados, los marcos para momento, el marco de cortante, o cualquier combinación de sistemas. Tiene la ventaja adicional de no tener que calcular el factor de longitud efectiva, K . Esto implica que para determinar la resistencia de compresión axial disponible, P_r se usa $K=1.0$.

- **Efectos de segundo orden:** La resistencia requerida, P_r se puede determinar usando un análisis de segundo orden que requiere la técnica aproximada de utilizar un análisis amplificado de primer orden usando factores de amplificación, B_1 y B_2 .
- **Reducción de rigidez:** el análisis de la estructura debe usar rigideces reducidas con tal de determinar la resistencia requerida de los distintos componentes, es por ello, que se debe aplicar un factor de 0,8 a todas las rigideces que se consideren contribuyentes a la estabilidad de la estructura.

El factor α depende del nivel de esfuerzo axial en el miembro, lo que implica que el módulo de elasticidad se reduce a medida que el material se vuelve inelástico, este deberá ser aplicado en la rigidez a flexión de todos los miembros cuya rigidez a flexión se considere que contribuye a la estabilidad de la estructura.

- **Cargas nocionales:** se aplican como cargas laterales a un modelo de la estructura que se basa en su geometría nominal. La magnitud de las cargas nominales será:

$$Y_i$$

Dónde:

N_i = carga nocional aplicada a nivel i , klb.

Y_i =carga por gravedad aplicada al nivel i a partir de una combinación de cargas, klb.

La carga nocional se suma a otras cargas laterales y se aplica a todas las combinaciones de cargas, excepto por lo indicado en la Sección C2.2b (4) de la Especificación del AISC. Esta sección establece, que para las estructuras donde la

relación de la deriva máxima de segundo orden entre la deriva máxima de primer orden en todos los pisos, donde sea igual o menos que 1.7,

Será permisible aplicar la carga nocional, N_i , solo a combinaciones de cargas exclusivamente gravitacionales y no a combinaciones que incluyan a otras cargas laterales.

- **Efecto de primer orden:** Este método es aplicable donde la relación de la deriva máxima de segundo orden entre la deriva máxima de primer orden en todos los pisos sea igual o menos que 1.5,

La resistencia requerida, P_r se calcula a partir de un análisis conforme a los requisitos de la especificación C2.1 del AISC, excepto que no es necesario aplicar la reducción de rigidez indicada en C2.1 (2). Se usa la rigidez nominal de los miembros estructurales. Las cargas nocionales se aplican solo a los casos de cargas exclusivamente gravitacionales.

Para el factor K se permite usar $K=1.0$ para el diseño de todos los sistemas arriostrados y en marcos para momento donde la relación de la deriva máxima de segundo orden entre la deriva máxima de primer orden en todos los pisos sea igual o menor que 1.1.

- **Análisis aproximado de segundo orden:** La resistencia de segundo orden requerido a flexión M_r y la resistencia axial P_r , de todos los miembros deben ser determinadas de la siguiente manera:

Dónde:

B_1 = es el factor que amplifica los efectos P- .

B_2 = factor amplificador que toma en cuenta los efectos P- .

M_{1t} = momento de primer orden originado solo por el desplazamiento lateral de la estructura.

M_{1nt} =momento de primer orden cuando en la estructura no hay desplazamiento lateral.

M_r = resistencia requerida de segundo orden de flexión.

P_{1t} = fuerza axial de primer orden originado solo por el desplazamiento lateral de la estructura.

P_{1n} = fuerza axial de primer orden cuando en la estructura no hay desplazamiento lateral.

P_r = resistencia requerida de segundo orden a tensión axial.

· **Amplificador B_1 por efecto P-**

Dónde:

C_m =coeficiente que supone un marco sin translación lateral, cuyo valor se calculara de la siguiente manera:

- a) Para vigas- columnas no afectadas a cargas transversales entre apoyos en el plano de flexión,

- b) Para vigas- columnas sometidas a cargas transversales entre los apoyos, el valor de C_m es de 1.

P_{e1} =resistencia a pandeo elástico del elemento en el plano de flexión calculada suponiendo que no hay desplazamiento de nudos, kgf (N).

Dónde:

EI^* = rigidez en flexión a ser usada en el análisis ($=0,8 \cdot EI$ cuando se use el método de análisis directo donde γ es definido en el capítulo C; $= EI$ para los métodos de longitud efectiva y análisis de primer orden)

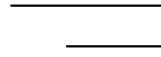
E = módulo de elasticidad del acero

I = momento de inercia en el plano de flexión

L = longitud del miembro

K_1 = factor de largo efectivo en el plano de flexión

· **Amplificador B2 por efecto P-**



P_{story} = carga vertical total soportada por el piso.

$P_{e \text{ story}}$ = resistencia a pandeo elástico del entrepiso.



Dónde:

L = altura de entrepiso, m (mm)

P_{mf} = carga vertical total en las columnas en el piso que sean parte de marcos rígidos.

H = deriva de entrepiso de primer orden en la dirección de translación considerada, debido a las cargas laterales, mm (cm).

H = tensión de corte en entrepiso, en la dirección de translación considerada, producido por las cargas laterales.

A continuación se muestra como se realiza el método:

Teniendo datos previos:

...

- Obtenidos del método de la longitud efectiva:



- Obtenido del chequeo de flexión de la sección

- obtención del factor α_b , si:

a) Cuando —

$$\alpha_b = 1.0$$

b) Cuando —

Se toma, — —

- Cálculo de coeficiente que supone un marco sin translación lateral:

—

- Cálculo de resistencia al pandeo elástico:

————

Se debe multiplicar en el denominador por el factor 0,8 de reducción de rigidez

- Cálculo de B_1 por efecto P-

————
——

- Cálculo de la resistencia requerida de segundo orden

- Cálculo de miembros con simetría simple y doble solicitados a flexión y carga axial.

- a) Cuando —

— - — —

- b) Cuando —

— — —

Dónde:

P_r =resistencia a la compresión axial requerida, klb.

P_y =resistencia a la fluencia axial, klb.

$P_c = \phi P_n$ = resistencia de compresión axial disponible

M_1 = momento menor en los extremos del miembro no arriostrado en el plano de flexión.

M_2 = momento mayor en los extremos del miembro no arriostrado en el plano de flexión.

E = módulo de elasticidad del acero; I = momento de inercia en el plano de flexión

M_r = resistencia de flexión requerida

$M_c = \phi M_n$ = resistencia de flexión disponible

x = subíndice que indica flexión en torno al eje fuerte

y = subíndice que indica flexión en torno al eje débil

$c = 0,90$, factor de resistencia en compresión

$\phi = 0,90$, factor de resistencia en flexión

0.8 = factor de reducción de rigidez

ϕ = factor que debe ser aplicado en la rigidez a flexión

4.3 Fase 3: Elaborar una herramienta computacional para el cálculo de las diversas metodologías para elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial.

Se requirió elaborar una herramienta computacional basada en el programa Microsoft Excel, para así, facilitar el cálculo de las diversas metodologías para elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial. Es importante destacar que cada uno de los datos analizados en dichas tablas, se encuentran explicadas detalladamente en la fase 4, respectivamente para cada una de las metodologías.

4.3.1 Método de la Longitud Efectiva (AISC 360-16)

Miembros Sometidos a Compresion Axial (Perfiles HEA,HEB,W)							
Tipo de Perfil	HEA-120	I_x (cm ⁴)	1030.00	tw (mm)	5.50	Área (cm ²)	31.40
bf (mm)	140.00	tf (mm)	8.50	h (mm)	133.00	I_y (cm ⁴)	389.00
Tipo de Acero	A-36	K	0.65	Longitud No Arriestrada(cm)	300.00	F_y (kg/cm ²)	2530.00

Tabla 1. Miembros Sometido a Compresión Axial (Perfiles HEA, HEB,W)

Fuente. Acevedo M, Robledo T. (2017)

Estabilidad Local (Tabla B.4.1.a)						
Ala	Razón Ancho- espesor	8.24	Razón Limite	16.13	Ala No Esbelta	Perfil No Esbelto
Alma	Razón Ancho- espesor	21.09	Razón Limite	42.93	Alma No Esbelta	

Tabla 2. Estabilidad Local (Tabla B.4.1.a)

Fuente. Adaptada del AISC por Acevedo M, Robleto T. (2017)

Metodo de la Longitud Efectiva							
r	3.52	Kl/r	55.40	Límite de tensión por pandeo	135.70	Fe	6752.61
Fcr	2162.79	ϕP_n (ton)	61.12	Pu (ton)	50.00	Cumple	

Tabla 3. Aplicación del Método de la Longitud Efectiva para el cálculo de la capacidad nominal

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

4.3.2 Método de Resistencia al Pandeo (Eurocódigo 3)

Miembros Sometidos a Compresión Axial							
Tipo de Perfil	12 3/4' e=9	Área (cm ²)	82.96	Tipo de Acero	A-36	Fy (Kg/cm ²)	2530.00
Ix (cm ⁴)	10327.77	Iy (cm ⁴)	0.00	KL	210.00	r	11.16

Tabla 4. Miembros Sometidos a Compresión Axial

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de Resistencia al Pandeo							
Curva de Pandeo	c	α	0.49	Ncr	4853855.18	λ	0.21
Φ	0.52	χ	0.995947561	Nb,rd (Ton)	209.04	Ned (Ton)	200.00
Ned/Nb,rd		0.96		Cumple			

Tabla 5. Método de Resistencia al Pandeo

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

4.3.3 Método de resistencia por pandeo flexional (COVENIN 1618-1998A)

Miembros Sometidos a Compresión Axial							
Tipo de Perfil	310x143	I_x (cm ⁴)	34800.00	I_y (cm ⁴)	11300.00	Area (cm ²)	182.00
bf (mm)	309.00	tf (mm)	22.90	h (mm)	323.00	tw (mm)	14.00
Tipo de Acero	A500Gr	F_y (kg/cm ²)	3520.00	Longitud No Arriestrada (m)	300.00	K	0.65

Tabla 6. Miembros Sometidos a Compresión Axial

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Estabilidad Local (Tabla 4.1(B))						
Ala	Razón Ancho-espesor	6.75	λ_p	26.87	Ala No Esbelta	Perfil No Esbelto
Alma	Razón Ancho-espesor	19.80	λ_p	90.37	Alma No Esbelta	

Tabla 7. Estabilidad Local

Fuente. Tabla 4.1 (B) Adaptada por Acevedo M, Robleto T. (2017)

4.3.4 Método de Análisis directo para el cálculo de la capacidad nominal a compresión axial (AISC 360-16)

Miembros Sometidos a Compresión Axial (Marco Arriestrados)							
Tipo de Perfil	w260x260	Área	98.61	I_x	10052.00	F_y	2530
Pnt	80.00	Mntx	24.00	L	3	KLx	3.00

Tabla 8. Miembros Sometidos a Compresión Axial

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de Análisis Directo							
P_c	304.22	P_r	80.00	P_r/P_c	0.26296759	Ecuacion H1-1a	
P_y	249.4833	P_r/P_y	0.32066275	τ_b	1.00	C_{mx}	1
P_{elx}	23148.8178	B_{1x}	1.00346788	M_{rx}	24.0832292	M_{cx}	32.11
0.929654443				Cumple			

Tabla 9. Método de Análisis Directo

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

4.4 Fase 4: Diferenciar las metodologías para elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial.

Para diferenciar las metodologías para elementos de acero sometidos a solicitaciones de compresión axial se fijaron un conjunto de cargas que varían de 10 ton a 800 ton, esto para verificar la variación del perfil a utilizar para cada metodología a medida que se aumenta la sollicitación de compresión axial, adicionalmente estas son cargas típicas que se presentan en edificaciones altas medianas y bajas.

A continuación se presenta el procedimiento de cálculo utilizado para cada metodología estudiada que conducen a los valores obtenidos por la herramienta de cálculo computacional en Excel, tabulados posteriormente.

4.4.1 Método de la Longitud Efectiva (AISC 360-16)

Datos:

Perfil	Area	Ix	Iy	h	bf	tf	tw
HEA-140	31,40 cm ²	1030 cm ⁴	389 cm ⁴	133 mm	140 mm	8,5 mm	5,5 mm

Acero A-36: $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$, $E = 21000000 \text{ kg/cm}^2$

Datos de la sección: Columna Empotrada-Empotrada, Longitud No Arriostrada= 3 m, $P_u = 50 \text{ Ton}$

Chequeo de la estabilidad local para elementos sometidos a compresión Código Americano AISC 360-10 en la Tabla B.4.1a.

$8,24 < 16,13$ *Cumple (Ala no Esbelta)*

$21,09 < 42,93$ *Cumple (Ala no Esbelta)*

Como ambos elementos del perfil no son esbeltos, se puede clasificar el mismo como No Esbelto.

Método de la Longitud Efectiva (Perfiles HEA Acero A-36)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	HEA-100	21.20	2.51	0.65	300.00	77.69
30.00	HEA-100	21.20	2.51	0.65	300.00	77.69
50.00	HEA-140	31.40	3.52	0.65	300.00	55.40
80.00	HEA-180	45.30	4.52	0.65	300.00	43.14
100.00	HEA-200	53.80	4.97	0.65	300.00	39.24
120.00	HEA-220	64.30	5.51	0.65	300.00	35.39
150.00	HEA-240	76.80	6.01	0.65	300.00	32.45
180.00	HEA-260	86.80	6.49	0.65	300.00	30.05
200.00	HEA-280	97.30	6.99	0.65	300.00	27.90
250.00	HEA-320	124.00	7.50	0.65	300.00	26.00
300.00	HEA-360	143.00	7.42	0.65	300.00	26.28
350.00	HEA-450	178.00	7.29	0.65	300.00	26.75
400.00	HEA-500	198.00	7.25	0.65	300.00	26.90
450.00	HEA-550	212.00	7.14	0.65	300.00	27.31
500.00	HEA-650	242.00	6.95	0.65	300.00	28.06
550.00	HEA-700	260.00	6.85	0.65	300.00	28.47
600.00	HEA-800	286.00	6.64	0.65	300.00	29.37
750.00	HEA-1000	347.00	6.35	0.65	300.00	30.71
800.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!

Tabla 10. Método de la Longitud Efectiva (Perfiles HEA Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de la Longitud Efectiva (Perfiles HEA Acero A500GrC)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	HEA-100	21.20	2.51	0.65	300.00	77.69
30.00	HEA-100	21.20	2.51	0.65	300.00	77.69
50.00	HEA-140	31.40	3.52	0.65	300.00	55.40
80.00	HEA-160	38.80	3.98	0.65	300.00	48.99
100.00	HEA-160	38.80	3.98	0.65	300.00	48.99
120.00	HEA-180	45.30	4.52	0.65	300.00	43.14
150.00	HEA-200	53.80	4.97	0.65	300.00	39.24
180.00	HEA-220	64.30	5.71	0.65	300.00	34.15
200.00	HEA-240	76.80	6.01	0.65	300.00	32.45
250.00	HEA-260	86.80	6.49	0.65	300.00	30.05
300.00	HEA-300	113.00	7.47	0.65	300.00	26.10
350.00	HEA-320	124.00	7.50	0.65	300.00	26.00
400.00	HEA-340	133.00	7.47	0.65	300.00	26.10
450.00	HEA-400	159.00	7.34	0.65	300.00	26.57
500.00	HEA-450	178.00	7.29	0.65	300.00	26.75
550.00	HEA-500	198.00	7.29	0.65	300.00	26.75
600.00	HEA-600	212.00	7.14	0.65	300.00	27.31
750.00	HEA-700	260.00	6.85	0.65	300.00	28.47
800.00	HEA-800	286.00	6.64	0.65	300.00	29.37

Tabla 11. Método de la Longitud Efectiva (Perfiles HEA Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de la Longitud Efectiva (Perfiles HEB Acero A-36)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	HEB-100	26.00	2.53	0.65	300.00	77.08
30.00	HEB-100	26.00	2.53	0.65	300.00	77.08
50.00	HEB-120	34.00	3.05	0.65	300.00	63.93
80.00	HEB-140	43.00	3.57	0.65	300.00	54.62
100.00	HEB-160	54.30	4.05	0.65	300.00	48.15
120.00	HEB-180	65.30	4.56	0.65	300.00	42.76
150.00	HEB-200	78.10	5.06	0.65	300.00	38.54
180.00	HEB-220	91.00	5.59	0.65	300.00	34.88
200.00	HEB-240	106.00	6.08	0.65	300.00	32.07
250.00	HEB-260	118.00	6.59	0.65	300.00	29.59
300.00	HEB-300	149.00	7.58	0.65	300.00	25.73
350.00	HEB-320	161.00	7.57	0.65	300.00	25.76
400.00	HEB-400	198.00	7.39	0.65	300.00	26.39
450.00	HEB-450	218.00	7.33	0.65	300.00	26.60
500.00	HEB-500	239.00	7.26	0.65	300.00	26.86
550.00	HEB-550	254.00	7.18	0.65	300.00	27.16
600.00	HEB-650	286.00	7.00	0.65	300.00	27.86
750.00	HEB-900	371.00	6.53	0.65	300.00	29.86
800.00	HEB-900	371.00	6.53	0.65	300.00	29.86

Tabla 12. Método de la Longitud Efectiva (Perfiles HEB Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robledo T. (2017)

Método de la Longitud Efectiva (Perfiles HEB Acero A500GrC)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	HEB-100	26.00	2.53	0.65	300.00	77.08
30.00	HEB-100	26.00	2.53	0.65	300.00	77.08
50.00	HEB-100	26.00	2.53	0.65	300.00	77.08
80.00	HEB-120	34.00	3.05	0.65	300.00	63.93
100.00	HEB-140	43.00	3.57	0.65	300.00	54.62
120.00	HEB-160	54.30	4.05	0.65	300.00	48.15
150.00	HEB-180	65.30	4.56	0.65	300.00	42.76
180.00	HEB-180	65.30	4.56	0.65	300.00	42.76
200.00	HEB-200	78.10	5.06	0.65	300.00	38.54
250.00	HEB-220	91.00	5.59	0.65	300.00	34.88
300.00	HEB-240	106.00	6.08	0.65	300.00	32.07
350.00	HEB-260	118.00	6.59	0.65	300.00	29.59
400.00	HEB-300	149.00	7.58	0.65	300.00	25.73
450.00	HEB-300	149.00	7.58	0.65	300.00	25.73
500.00	HEB-340	171.00	7.52	0.65	300.00	25.93
550.00	HEB-400	198.00	7.39	0.65	300.00	26.39
600.00	HEB-450	218.00	7.33	0.65	300.00	26.60
750.00	HEB-550	254.00	7.18	0.65	300.00	27.16
800.00	HEB-600	270.00	7.07	0.65	300.00	27.58

Tabla 13. Método de la Longitud Efectiva (Perfiles HEB Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robledo T. (2017)

Método de la Longitud Efectiva (Tubulares Cuadrados Acero A-36)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	90x90	7.97	3.56	0.65	300.00	54.78
30.00	120x120	16.83	4.71	0.65	300.00	41.40
50.00	155x155 e=4,5	24.64	6.12	0.65	300.00	31.86
80.00	200x200 e=5,5	38.98	7.91	0.65	300.00	24.65
100.00	155x155 e=9,2	47.61	5.89	0.65	300.00	33.11
120.00	220x220 e=7	54.14	8.65	0.65	300.00	22.54
150.00	220x220 e=9	64.45	8.56	0.65	300.00	22.78
180.00	260x260 e=9	81.84	10.19	0.65	300.00	19.14
200.00	260x260 e=11	98.61	10.10	0.65	300.00	19.31
250.00	-	-	-	0.65	300.00	#i VALOR!
300.00	-	-	-	0.65	300.00	#i VALOR!
350.00	-	-	-	0.65	300.00	#i VALOR!
400.00	-	-	-	0.65	300.00	#i VALOR!
450.00	-	-	-	0.65	300.00	#i VALOR!
500.00	-	-	-	0.65	300.00	#i VALOR!
550.00	-	-	-	0.65	300.00	#i VALOR!
600.00	-	-	-	0.65	300.00	#i VALOR!
750.00	-	-	-	0.65	300.00	#i VALOR!
800.00	-	-	-	0.65	300.00	#i VALOR!

Tabla 14. Método de la Longitud Efectiva (Perfiles Cuadrados Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de la Longitud Efectiva (Tubulares Cuadrados Acero A500GrC)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	70x70	5.53	2.75	0.65	300.00	70.91
30.00	110x110	13.17	4.33	0.65	300.00	45.03
50.00	100x100 e=6	20.01	3.80	0.65	300.00	51.32
80.00	120x120 e=7,2	28.81	4.56	0.65	300.00	42.76
100.00	175x175 e=5,5	33.86	6.88	0.65	300.00	28.34
120.00	55x155 e=9,2	47.61	5.89	0.65	300.00	33.11
150.00	220x220 e=7	54.14	8.65	0.65	300.00	22.54
180.00	75x175 e=10	61.27	6.65	0.65	300.00	29.32
200.00	220x220 e=9	68.45	8.56	0.65	300.00	22.78
250.00	260x260 e=9	81.84	10.19	0.65	300.00	19.14
300.00	260x260 e=9	81.84	10.19	0.65	300.00	19.14
350.00	260x260 e=11	98.61	10.10	0.65	300.00	19.31
400.00	-	-	-	0.65	300.00	#i VALOR!
450.00	-	-	-	0.65	300.00	#i VALOR!
500.00	-	-	-	0.65	300.00	#i VALOR!
550.00	-	-	-	0.65	300.00	#i VALOR!
600.00	-	-	-	0.65	300.00	#i VALOR!
750.00	-	-	-	0.65	300.00	#i VALOR!
800.00	-	-	-	0.65	300.00	#i VALOR!

Tabla 15. Método de la Longitud Efectiva (Perfiles Cuadrados Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de la Longitud Efectiva (Tubulares Circulares Acero A-36)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	3 1/2'	5.71	3.07	0.65	300.00	63.52
30.00	6' e=4	17.31	5.26	0.65	300.00	37.07
50.00	7 5/8' e=4,5	24.92	6.70	0.65	300.00	29.10
80.00	6 5/8 e=8	37.60	5.69	0.65	300.00	34.27
100.00	9 5/8 e=7	48.67	8.42	0.65	300.00	23.16
120.00	10 3/4' e=7	54.52	9.43	0.65	300.00	20.68
150.00	10 3/4' e=9	69.61	9.36	0.65	300.00	20.83
180.00	12 3/4' e=9	82.96	11.16	0.65	300.00	17.47
200.00	12 3/4' e=11	100.79	11.09	0.65	300.00	17.58
250.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
300.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
350.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
400.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
450.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
500.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
550.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
600.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
750.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
800.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!

Tabla 16. Método de la Longitud Efectiva (Perfiles Circulares Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de la Longitud Efectiva (Tubulares Circulares Acero A500GrC)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	3.00	4.87	2.62	0.65	300.00	74.43
30.00	5 e=3	10.89	4.39	0.65	300.00	44.42
50.00	5 1/2	13.56	5.26	0.65	300.00	37.07
80.00	6 e=7,2	30.64	5.16	0.65	300.00	37.79
100.00	8 5/8 e=5,5	34.39	7.57	0.65	300.00	25.76
120.00	9 5/8 e=7	48.67	8.42	0.65	300.00	23.16
150.00	10 3/4' e=7	54.52	9.43	0.65	300.00	20.68
180.00	8 5/8' e=10,5	64.22	7.41	0.65	300.00	26.32
200.00	10 3/4' e=9	69.61	9.36	0.65	300.00	20.83
250.00	12 3/4' e=9	82.96	11.16	0.65	300.00	17.47
300.00	12 3/4' e=11	100.74	11.09	0.65	300.00	17.58
350.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
400.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
450.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
500.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
550.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
600.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
750.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
800.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!

Tabla 17. Método de la Longitud Efectiva (Perfiles Circulares Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de la Longitud Efectiva (Perfiles W Acero A-36)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	360x33	41.90	2.64	0.65	300.00	73.86
30.00	360x33	41.90	2.64	0.65	300.00	73.86
50.00	360x33	41.90	2.64	0.65	300.00	73.86
80.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
100.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
120.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
150.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
180.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
200.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
250.00	360x91	116.00	6.21	0.65	300.00	31.40
300.00	250x115	146.00	6.17	0.65	300.00	31.60
350.00	310x143	182.00	7.88	0.65	300.00	24.75
400.00	310x143	182.00	7.88	0.65	300.00	24.75
450.00	760x185	235.00	5.65	0.65	300.00	34.51
500.00	760x185	235.00	5.65	0.65	300.00	34.51
550.00	610x195	249.00	8.09	0.65	300.00	24.10
600.00	840x251	319.00	6.36	0.65	300.00	30.66
750.00	610x285	363.00	7.80	0.65	300.00	25.00
800.00	610x285	363.00	7.80	0.65	300.00	25.00

Tabla 18. Método de la Longitud Efectiva (Perfiles W Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de la Longitud Efectiva (Perfiles W Acero A500GrC)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	360x33	41.90	2.64	0.65	300.00	73.86
30.00	360x33	41.90	2.64	0.65	300.00	73.86
50.00	360x33	41.90	2.64	0.65	300.00	73.86
80.00	360x33	41.90	2.64	0.65	300.00	73.86
100.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
120.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
150.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
180.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
200.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
250.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
300.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
350.00	460x106	134.00	4.33	0.65	300.00	45.03
400.00	250x115	146.00	6.17	0.65	300.00	31.60
450.00	310x143	182.00	7.88	0.65	300.00	24.75
500.00	310x143	182.00	7.88	0.65	300.00	24.75
550.00	310x143	182.00	7.88	0.65	300.00	24.75
600.00	760x185	253.00	5.65	0.65	300.00	34.51
750.00	310x195	249.00	8.09	0.65	300.00	24.10
800.00	840x251	319.00	6.36	0.65	300.00	30.66

Tabla 19. Método de la Longitud Efectiva (Perfiles W Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

4.4.2 Método de Resistencia al Pandeo (Eurocódigo 3)

Datos:

Perfil | Tubular Circular 12 3/4' e=9

Área | 82,96 cm²

I | 10327,77 cm⁴

Acero A-36: Fy= 2530 kg/cm², E=2100000kg/cm²

Datos de la sección:

Columna Empotrada-Empotrada, Longitud No Arriostrada= 3 m, =200 Ton

Esfuerzo axial crítico para pandeo considerado:

Coeficientes de imperfección de curvas de pandeo (Tabla 6.1 Eurocódigo 3):

Curvas de Pandeo

A continuación se presenta las tablas resumen tras aplicar la metodología anteriormente para cada uno de los casos expuestos:

EUROCÓDIGO 3 (Perfiles HEA Acero A-36)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	HEA-100	21.20	2.51	0.70	300.00	83.67
30.00	HEA-100	21.20	2.51	0.70	300.00	83.67
50.00	HEA-140	31.40	3.52	0.70	300.00	59.66
80.00	HEA-160	38.80	3.98	0.70	300.00	52.76
100.00	HEA-180	45.30	4.52	0.70	300.00	46.46
120.00	HEA-200	53.80	4.97	0.70	300.00	42.25
150.00	HEA-240	76.80	6.01	0.70	300.00	34.94
180.00	HEA-240	76.80	6.01	0.70	300.00	34.94
200.00	HEA-260	86.80	6.49	0.70	300.00	32.36
250.00	HEA-300	113.00	7.47	0.70	300.00	28.11
300.00	HEA-320	124.00	7.54	0.70	300.00	27.85
350.00	HEA-400	159.00	7.34	0.70	300.00	28.61
400.00	HEA-450	178.00	7.29	0.70	300.00	28.81
450.00	HEA-500	198.00	7.25	0.70	300.00	28.97
500.00	HEA-550	212.00	7.14	0.70	300.00	29.41
550.00	HEA-650	242.00	6.95	0.70	300.00	30.22
600.00	HEA-700	260.00	6.88	0.70	300.00	30.52
750.00	HEA-900	321.00	6.49	0.70	300.00	32.36
800.00	HEA-1000	347.00	6.35	0.70	300.00	33.07

Tabla 20. Eurocódigo 3 (Perfiles HEA Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

EUROCÓDIGO 3 (Perfiles HEA Acero A500GrC)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	HEA-100	21.20	2.51	0.70	300.00	83.67
30.00	HEA-100	21.20	2.51	0.70	300.00	83.67
50.00	HEA-120	25.30	3.02	0.70	300.00	69.54
80.00	HEA-140	31.40	3.52	0.70	300.00	59.66
100.00	HEA-160	38.80	3.98	0.70	300.00	52.76
120.00	HEA-180	45.30	4.52	0.70	300.00	46.46
150.00	HEA-200	53.80	4.97	0.70	300.00	42.25
180.00	HEA-220	64.30	5.51	0.70	300.00	38.11
200.00	HEA-220	64.30	5.51	0.70	300.00	38.11
250.00	HEA-260	86.80	6.49	0.70	300.00	32.36
300.00	HEA-280	97.30	6.99	0.70	300.00	30.04
350.00	HEA-300	113.00	7.47	0.70	300.00	28.11
400.00	HEA-320	124.00	7.59	0.70	300.00	27.67
450.00	HEA-360	143.00	7.42	0.70	300.00	28.30
500.00	HEA-400	159.00	7.34	0.70	300.00	28.61
550.00	HEA-450	178.00	7.29	0.70	300.00	28.81
600.00	HEA-500	198.00	7.25	0.70	300.00	28.97
750.00	HEA-650	242.00	6.95	0.70	300.00	30.22
800.00	HEA-700	260.00	6.85	0.70	300.00	30.66

Tabla 21. Eurocódigo 3 (Perfiles HEA Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

EUROCÓDIGO 3 (Perfiles HEB Acero A-36)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	HEB-100	26.00	2.53	0.70	300.00	83.00
30.00	HEB-100	26.00	2.53	0.70	300.00	83.00
50.00	HEB-120	34.00	3.05	0.70	300.00	68.85
80.00	HEB-140	43.00	3.57	0.70	300.00	58.82
100.00	HEB-160	54.30	4.05	0.70	300.00	51.85
120.00	HEB-180	65.30	4.56	0.70	300.00	46.05
150.00	HEB-200	78.10	5.06	0.70	300.00	41.50
180.00	HEB-220	91.00	5.59	0.70	300.00	37.57
200.00	HEB-220	91.00	5.59	0.70	300.00	37.57
250.00	HEB-240	106.00	6.08	0.70	300.00	34.54
300.00	HEB-280	131.00	7.09	0.70	300.00	29.62
350.00	HEB-300	149.00	7.58	0.70	300.00	27.70
400.00	HEB-340	171.00	7.52	0.70	300.00	27.93
450.00	HEB-400	198.00	7.39	0.70	300.00	28.42
500.00	HEB-450	218.00	7.33	0.70	300.00	28.65
550.00	HEB-500	239.00	7.26	0.70	300.00	28.93
600.00	HEB-550	254.00	7.18	0.70	300.00	29.25
750.00	HEB-800	334.00	6.68	0.70	300.00	31.44
800.00	HEB-900	371.00	6.53	0.70	300.00	32.16

Tabla 22. Eurocódigo 3 (Perfiles HEB Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

EUROCÓDIGO 3 (Perfiles HEB Acero A500GrC)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	HEB-100	26.00	2.53	0.70	300.00	83.00
30.00	HEB-100	26.00	2.53	0.70	300.00	83.00
50.00	HEB-100	26.00	2.53	0.70	300.00	83.00
80.00	HEB-140	43.00	3.57	0.70	300.00	58.82
100.00	HEB-140	43.00	3.57	0.70	300.00	58.82
120.00	HEB-160	54.30	4.05	0.70	300.00	51.85
150.00	HEB-160	54.30	4.05	0.70	300.00	51.85
180.00	HEB-180	65.30	4.56	0.70	300.00	46.05
200.00	HEB-200	78.10	5.06	0.70	300.00	41.50
250.00	HEB-220	91.00	5.59	0.70	300.00	37.57
300.00	HEB-240	106.00	6.08	0.70	300.00	34.54
350.00	HEB-260	118.00	6.59	0.70	300.00	31.87
400.00	HEB-280	131.00	7.09	0.70	300.00	29.62
450.00	HEB-300	149.00	7.58	0.70	300.00	27.70
500.00	HEB-320	161.00	7.57	0.70	300.00	27.74
550.00	HEB-340	171.00	7.52	0.70	300.00	27.93
600.00	HEB-400	198.00	7.39	0.70	300.00	28.42
750.00	HEB-500	239.00	7.26	0.70	300.00	28.93
800.00	HEB-550	254.00	7.18	0.70	300.00	29.25

Tabla 23. Eurocódigo 3 (Perfiles HEB Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

EUROCÓDIGO 3 (Tubulares Cuadrados Acero A-36)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	90x90	7.97	3.56	0.70	300.00	58.99
30.00	120x120	16.83	4.71	0.70	300.00	44.59
50.00	155x155 e=4,5	24.64	6.12	0.70	300.00	34.31
80.00	200x200 e=5,5	38.98	7.91	0.70	300.00	26.55
100.00	155x155 e=9,2	47.61	5.89	0.70	300.00	35.65
120.00	220x220 e=7	54.14	8.65	0.70	300.00	24.28
150.00	220x220 e=9	64.45	8.56	0.70	300.00	24.53
180.00	260x260 e=9	81.84	10.19	0.70	300.00	20.61
200.00	260x260 e=9	81.84	10.19	0.70	300.00	20.61
250.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
300.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
350.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
400.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
450.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
500.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
550.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
600.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
750.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
800.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!

Tabla 24. Eurocódigo 3 (Perfiles Cuadrados Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

EUROCÓDIGO 3 (Tubulares Cuadrados Acero A500GrC)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	70x70	5.53	2.75	0.70	300.00	76.36
30.00	110x110	13.17	4.33	0.70	300.00	48.50
50.00	100x100 e=6	20.01	3.80	0.70	300.00	55.26
80.00	175x175 e=5,5	33.86	6.88	0.70	300.00	30.52
100.00	175x175 e=5,5	33.86	6.88	0.70	300.00	30.52
120.00	200x200 e=5,5	38.98	7.91	0.70	300.00	26.55
150.00	200x200 e=7	54.14	7.84	0.70	300.00	26.79
180.00	220x220 e=9	61.27	6.65	0.70	300.00	31.58
200.00	220x220 e=9	68.45	8.56	0.70	300.00	24.53
250.00	260x260 e=9	81.84	10.19	0.70	300.00	20.61
300.00	260x260 e=11	98.61	10.10	0.70	300.00	20.79
350.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
400.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
450.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
500.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
550.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
600.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
750.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
800.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!

Tabla 25. Eurocódigo 3 (Perfiles Cuadrados Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

EUROCÓDIGO 3 (Tubulares Circulares Acero A-36)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	4 1/2'	8.18	3.96	0.70	300.00	53.03
30.00	6' e=4	17.31	5.26	0.70	300.00	39.92
50.00	7 5/8' e=4,5	24.92	6.70	0.70	300.00	31.34
80.00	8 5/8' e=5,5	34.39	7.57	0.70	300.00	27.74
100.00	9 5/8' e=7	48.67	8.42	0.70	300.00	24.94
120.00	10 3/4' e=7	54.52	9.43	0.70	300.00	22.27
150.00	8 5/8' e=10,5	64.22	7.37	0.70	300.00	28.49
180.00	12 3/4' e=9	82.96	11.16	0.70	300.00	18.82
200.00	12 3/4' e=9	82.96	11.16	0.70	300.00	18.82
250.00	12 3/4' e=11	100.79	11.09	0.70	300.00	18.94
300.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
350.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
400.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
450.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
500.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
550.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
600.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
750.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
800.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!

Tabla 26. Eurocódigo 3 (Perfiles Circulares Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

EUROCÓDIGO 3 (Tubulares Circulares Acero A500GrC)						
Pu (ton)	Perfil	Area Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	3 1/2'	5.71	3.07	0.70	300.00	68.40
30.00	5 1/2'	13.56	4.83	0.70	300.00	43.48
50.00	6' e=4	17.38	5.26	0.70	300.00	39.92
80.00	6' e=7,2	30.64	5.16	0.70	300.00	40.70
100.00	8 5/8' e=5,5	34.39	7.56	0.70	300.00	27.78
120.00	9 5/8' e=5,5	38.47	8.46	0.70	300.00	24.82
150.00	10 5/8' e=7	48.67	8.42	0.70	300.00	24.94
180.00	10 3/4' e=7	54.52	9.43	0.70	300.00	22.27
200.00	8 5/8' e=10,5	64.22	7.41	0.70	300.00	28.34
250.00	12 3/4' e=9	82.96	11.16	0.70	300.00	18.82
300.00	12 3/4' e=11	100.79	11.09	0.70	300.00	18.94
350.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
400.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
450.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
500.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
550.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
600.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
750.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!
800.00	-	-	-	0.70	300.00	#¡VALOR!

Tabla 27. Eurocódigo 3 (Perfiles Circulares Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

EUROCÓDIGO 3 (Perfiles W Acero A-36)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	360x33	41.90	2.64	0.70	300.00	79.55
30.00	360x33	41.90	2.64	0.70	300.00	79.55
50.00	360x33	41.90	2.64	0.70	300.00	79.55
80.00	250x80	102.00	6.50	0.70	300.00	32.31
100.00	250x80	102.00	6.50	0.70	300.00	32.31
120.00	250x80	102.00	6.50	0.70	300.00	32.31
150.00	250x80	102.00	6.50	0.70	300.00	32.31
180.00	250x80	102.00	6.50	0.70	300.00	32.31
200.00	250x80	102.00	6.50	0.70	300.00	32.31
250.00	310x86	110.00	6.37	0.70	300.00	32.97
300.00	250x115	146.00	6.17	0.70	300.00	34.04
350.00	310x143	182.00	7.88	0.70	300.00	26.65
400.00	310x143	182.00	7.88	0.70	300.00	26.65
450.00	760x185	235.00	5.65	0.70	300.00	37.17
500.00	760x185	235.00	5.65	0.70	300.00	37.17
550.00	610x195	249.00	7.67	0.70	300.00	27.38
600.00	610x195	249.00	7.67	0.70	300.00	27.38
750.00	840x251	319.00	6.36	0.70	300.00	33.02
800.00	610x285	363.00	7.80	0.70	300.00	26.92

Tabla 28. Eurocódigo 3 (Perfiles W Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

EUROCÓDIGO 3 (Perfiles W Acero A500GrC)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	360x33	41.90	2.64	0.70	300.00	79.55
30.00	360x33	41.90	2.64	0.70	300.00	79.55
50.00	360x33	41.90	2.64	0.70	300.00	79.55
80.00	360x33	41.90	2.64	0.70	300.00	79.55
100.00	250x80	102.00	6.50	0.70	300.00	32.31
120.00	250x80	102.00	6.50	0.70	300.00	32.31
150.00	250x80	102.00	6.50	0.70	300.00	32.31
180.00	250x80	102.00	6.50	0.70	300.00	32.31
200.00	250x80	102.00	6.50	0.70	300.00	32.31
250.00	250x80	102.00	6.50	0.70	300.00	32.31
300.00	250x80	102.00	6.50	0.70	300.00	32.31
350.00	310x86	110.00	6.37	0.70	300.00	32.97
400.00	250x115	146.00	6.17	0.70	300.00	34.04
450.00	250x115	146.00	6.17	0.70	300.00	34.04
500.00	310x143	182.00	7.88	0.70	300.00	26.65
550.00	310x143	182.00	7.88	0.70	300.00	26.65
600.00	310x143	182.00	7.88	0.70	300.00	26.65
750.00	610x195	249.00	8.09	0.70	300.00	25.96
800.00	610x195	249.00	8.09	0.70	300.00	25.96

Tabla 29. Eurocódigo 3 (Perfiles W Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

4.4.3 Método de resistencia por pandeo flexional (COVENIN 1618-1998A)

Datos:

Perfil	Area	Ix	Iy	h	bf	tf	tw
W310x143	182 cm ²	34800 cm ⁴	113004 cm ⁴	323 mm	309 mm	22,9 mm	14 mm

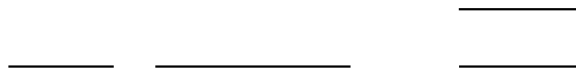
Acero A500Gr: $F_y = 3520 \text{ kg/cm}^2$, $E = 2100000 \text{ kg/cm}^2$.

Datos de la sección:

Columna Empotrada-Empotrada, Longitud No Arriostrada= 3 m, $N_c = 500 \text{ Ton}$

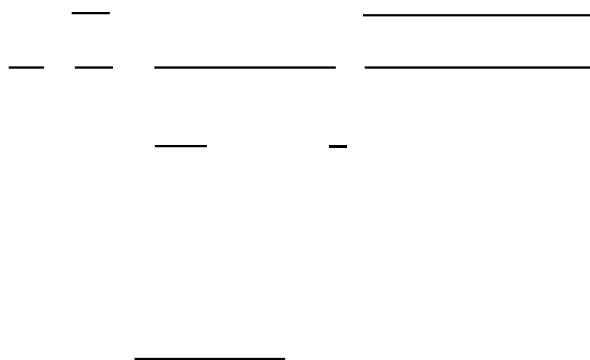
Chequeo de relaciones ancho/espesor para elementos comprimidos rigidizados

Tabla 4-1(B)



Como ambos elementos del perfil no son esbeltos, se puede clasificar el mismo como No Esbelto.

$\lambda = 1.0$ en secciones donde la relación ancho / espesor de sus elementos no excede el valor límite de λ dado en la Tabla 4.1.



A continuación se presenta las tablas resumen tras aplicar la metodología anteriormente para cada uno de los casos expuestos:

Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles HEA Acero A-36)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	HEA-100	21.20	2.51	0.65	300.00	77.69
30.00	HEA-100	21.20	2.51	0.65	300.00	77.69
50.00	HEA-140	31.40	3.52	0.65	300.00	55.40
80.00	HEA-180	45.30	4.52	0.65	300.00	43.14
100.00	HEA-200	53.80	4.97	0.65	300.00	39.24
120.00	HEA-220	64.30	5.51	0.65	300.00	35.39
150.00	HEA-240	76.80	6.01	0.65	300.00	32.45
180.00	HEA-280	97.30	6.99	0.65	300.00	27.90
200.00	HEA-300	113.00	7.47	0.65	300.00	26.10
250.00	HEA-320	124.00	7.50	0.65	300.00	26.00
300.00	HEA-400	159.00	7.34	0.65	300.00	26.57
350.00	HEA-450	178.00	7.29	0.65	300.00	26.75
400.00	HEA-500	198.00	7.25	0.65	300.00	26.90
450.00	HEA-600	226.00	7.07	0.65	300.00	27.58
500.00	HEA-700	260.00	6.85	0.65	300.00	28.47
550.00	HEA-800	286.00	6.64	0.65	300.00	29.37
600.00	HEA-900	321.00	6.49	0.65	300.00	30.05
750.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
800.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!

Tabla 30. Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles HEA Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robledo T. (2017)

Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles HEA Acero A500GrC)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	HEA-100	21.20	2.51	0.65	300.00	77.69
30.00	HEA-100	21.20	2.51	0.65	300.00	77.69
50.00	HEA-120	25.30	3.02	0.65	300.00	64.57
80.00	HEA-160	38.80	3.98	0.65	300.00	48.99
100.00	HEA-180	45.30	4.52	0.65	300.00	43.14
120.00	HEA-200	53.80	4.97	0.65	300.00	39.24
150.00	HEA-220	64.30	5.51	0.65	300.00	35.39
180.00	HEA-240	76.80	6.01	0.65	300.00	32.45
200.00	HEA-240	76.80	6.01	0.65	300.00	32.45
250.00	HEA-280	97.30	6.99	0.65	300.00	27.90
300.00	HEA-300	113.00	7.47	0.65	300.00	26.10
350.00	HEA-320	124.00	7.50	0.65	300.00	26.00
400.00	HEA-360	143.00	7.42	0.65	300.00	26.28
450.00	HEA-400	159.00	7.34	0.65	300.00	26.57
500.00	HEA-450	178.00	7.29	0.65	300.00	26.75
550.00	HEA-500	198.00	7.25	0.65	300.00	26.90
600.00	HEA-550	212.00	7.14	0.65	300.00	27.31
750.00	HEA-800	286.00	6.64	0.65	300.00	29.37
800.00	HEA-801	286.00	6.64	0.65	300.00	29.37

Tabla 31. Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles HEA Acero A-500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robledo T. (2017)

Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles HEB Acero A-36)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	HEB-100	26.00	2.53	0.65	300.00	77.08
30.00	HEB-100	26.00	2.53	0.65	300.00	77.08
50.00	HEB-120	34.00	3.05	0.65	300.00	63.93
80.00	HEB-160	54.30	4.05	0.65	300.00	48.15
100.00	HEB-160	54.30	4.05	0.65	300.00	48.15
120.00	HEB-180	65.30	4.56	0.65	300.00	42.76
150.00	HEB-200	78.10	5.06	0.65	300.00	38.54
180.00	HEB-220	91.00	5.59	0.65	300.00	34.88
200.00	HEB-240	106.00	6.08	0.65	300.00	32.07
250.00	HEB-280	131.00	7.09	0.65	300.00	27.50
300.00	HEB-300	149.00	7.58	0.65	300.00	25.73
350.00	HEB-340	171.00	7.52	0.65	300.00	25.93
400.00	HEB-400	198.00	7.39	0.65	300.00	26.39
450.00	HEB-450	218.00	7.33	0.65	300.00	26.60
500.00	HEB-550	254.00	7.18	0.65	300.00	27.16
550.00	HEB-600	270.00	7.07	0.65	300.00	27.58
600.00	HEB-700	306.00	6.86	0.65	300.00	28.43
750.00	HEB-900	371.00	6.53	0.65	300.00	29.86
800.00	HEB-900	371.00	6.53	0.65	300.00	29.86

Tabla 32. Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles HEB Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robledo T. (2017)

Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles HEB Acero A500GrC)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	HEB-100	26.00	2.53	0.65	300.00	77.08
30.00	HEB-100	26.00	2.53	0.65	300.00	77.08
50.00	HEB-100	26.00	2.53	0.65	300.00	77.08
80.00	HEB-140	43.00	3.57	0.65	300.00	54.62
100.00	HEB-140	43.00	3.57	0.65	300.00	54.62
120.00	HEB-160	54.30	4.05	0.65	300.00	48.15
150.00	HEB-180	65.30	4.56	0.65	300.00	42.76
180.00	HEB-200	78.10	5.06	0.65	300.00	38.54
200.00	HEB-200	78.10	5.06	0.65	300.00	38.54
250.00	HEB-240	106.00	6.08	0.65	300.00	32.07
300.00	HEB-260	118.00	6.59	0.65	300.00	29.59
350.00	HEB-280	131.00	7.09	0.65	300.00	27.50
400.00	HEB-300	149.00	7.58	0.65	300.00	25.73
450.00	HEB-320	161.00	7.57	0.65	300.00	25.76
500.00	HEB-360	181.00	7.47	0.65	300.00	26.10
550.00	HEB-400	198.00	7.39	0.65	300.00	26.39
600.00	HEB-450	218.00	7.33	0.65	300.00	26.60
750.00	HEB-600	270.00	7.07	0.65	300.00	27.58
800.00	HEB-650	286.00	7.00	0.65	300.00	27.86

Tabla 33. Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles HEB Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robledo T. (2017)

Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Tubulares Cuadrados Acero A-36)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	90x90	7.97	3.56	0.65	300.00	54.78
30.00	120x120	16.83	4.71	0.65	300.00	41.40
50.00	155x155 e=4,5	24.64	6.12	0.65	300.00	31.86
80.00	200x200 e=5,5	38.98	7.91	0.65	300.00	24.65
100.00	200x200 e=7	48.93	7.84	0.65	300.00	24.87
120.00	75x175 e=10	61.27	6.65	0.65	300.00	29.32
150.00	220x220 e=9	68.45	8.56	0.65	300.00	22.78
180.00	260x260 e=11	98.61	10.10	0.65	300.00	19.31
200.00	260x260 e=11	98.61	10.10	0.65	300.00	19.31
250.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
300.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
350.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
400.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
450.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
500.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
550.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
600.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
750.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
800.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!

Tabla 34. Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles Cuadrados Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Tubulares Cuadrados Acero A500GrC)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	70x70	5.53	2.76	0.65	300.00	70.65
30.00	110x110	13.17	4.33	0.65	300.00	45.03
50.00	135x135 e=4,3	20.41	5.31	0.65	300.00	36.72
80.00	175x175 e=5,5	33.86	6.88	0.65	300.00	28.34
100.00	200x200 e=5,5	38.98	7.91	0.65	300.00	24.65
120.00	55x155 e=9,	47.61	5.89	0.65	300.00	33.11
150.00	220x220 e=7	54.14	8.65	0.65	300.00	22.54
180.00	00x200 e=10,	71.03	7.67	0.65	300.00	25.42
200.00	260x260 e=9	81.84	10.19	0.65	300.00	19.14
250.00	260x260 e=11	98.61	10.10	0.65	300.00	19.31
300.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
350.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
400.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
450.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
500.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
550.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
600.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
750.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!
800.00	-	-	-	0.65	300.00	#¡VALOR!

Tabla 35. Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles Cuadrados Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Tubulares Circulares Acero A-36)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	4 1/2'	8.18	3.96	0.65	300.00	49.24
30.00	6' e=4	17.31	5.26	0.65	300.00	37.07
50.00	7 5/8' e=4,5	24.92	6.70	0.65	300.00	29.10
80.00	9 5/8 e=5,5	38.47	8.46	0.65	300.00	23.05
100.00	9 5/8 e=7	48.67	8.42	0.65	300.00	23.16
120.00	8 5/8 e=10,5	64.22	7.41	0.65	300.00	26.32
150.00	9 5/8 e=10,5	72.01	8.31	0.65	300.00	23.47
180.00	12 3/4' e=11	100.79	11.16	0.65	300.00	17.47
200.00	12 3/4' e=11	100.79	11.09	0.65	300.00	17.58
250.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!
300.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!
350.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!
400.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!
450.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!
500.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!
550.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!
600.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!
750.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!
800.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!

Tabla 36. Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles Circulares Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de Resistencia por Pandeo Flexional(Tubulares Circulares Acero A500GrC)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	3' 1/2	5.71	3.07	0.65	300.00	63.52
30.00	5' 1/2	13.56	5.26	0.65	300.00	37.07
50.00	6' 5/8 e=4,3	17.38	5.81	0.65	300.00	33.56
80.00	6 e=7,2	30.64	5.16	0.65	300.00	37.79
100.00	6' 5/8 e=8	34.39	7.57	0.65	300.00	25.76
120.00	9 5/8 e=7	48.67	8.42	0.65	300.00	23.16
150.00	10 3/4' e=7	54.52	9.43	0.65	300.00	20.68
180.00	8 5/8' e=10,5	64.22	7.41	0.65	300.00	26.32
200.00	10 3/4' e=9	69.61	9.36	0.65	300.00	20.83
250.00	12 3/4' e=9	82.96	11.16	0.65	300.00	17.47
300.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!
350.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!
400.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!
450.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!
500.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!
550.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!
600.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!
750.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!
800.00	-	-	-	0.65	300.00	#iVALOR!

Tabla 37. Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles Circulares Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles W Acero A-36)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	360x33	41.90	2.64	0.65	300.00	73.86
30.00	360x33	41.90	2.64	0.65	300.00	73.86
50.00	360x33	41.90	2.64	0.65	300.00	73.86
80.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
100.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
120.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
150.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
180.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
200.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
250.00	460x206	134.00	4.33	0.65	300.00	45.03
300.00	310x143	182.00	7.88	0.65	300.00	24.75
350.00	310x143	182.00	7.88	0.65	300.00	24.75
400.00	760x185	235.00	5.65	0.65	300.00	34.51
450.00	760x185	235.00	5.65	0.65	300.00	34.51
500.00	610x195	249.00	8.09	0.65	300.00	24.10
550.00	840x251	319.00	6.36	0.65	300.00	30.66
600.00	840x251	319.00	6.36	0.65	300.00	30.66
750.00	610x285	363.00	7.80	0.65	300.00	25.00
800.00	690x289	411.00	7.89	0.65	300.00	24.71

Tabla 38. Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles W Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robledo T. (2017)

Método de Resistencia por Pandeo Flexional(Perfiles W A500GrC)						
Pu (ton)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	360x33	41.90	2.64	0.65	300.00	73.86
30.00	360x33	41.90	2.64	0.65	300.00	73.86
50.00	360x33	41.90	2.64	0.65	300.00	73.86
80.00	360x33	41.90	2.64	0.65	300.00	73.86
100.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
120.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
150.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
180.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
200.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
250.00	250x80	102.00	6.50	0.65	300.00	30.00
300.00	310x86	110.00	6.37	0.65	300.00	30.61
350.00	250x115	146.00	6.17	0.65	300.00	31.60
400.00	250x115	146.00	6.17	0.65	300.00	31.60
450.00	310x143	182.00	7.88	0.65	300.00	24.75
500.00	310x143	182.00	7.88	0.65	300.00	24.75
550.00	760x185	235.00	5.65	0.65	300.00	34.51
600.00	760x185	235.00	5.65	0.65	300.00	34.51
750.00	840x251	319.00	6.36	0.65	300.00	30.66
800.00	840x251	319.00	6.36	0.65	300.00	30.66

Tabla 39. Método de Resistencia por Pandeo Flexional (Perfiles W Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robledo T. (2017)

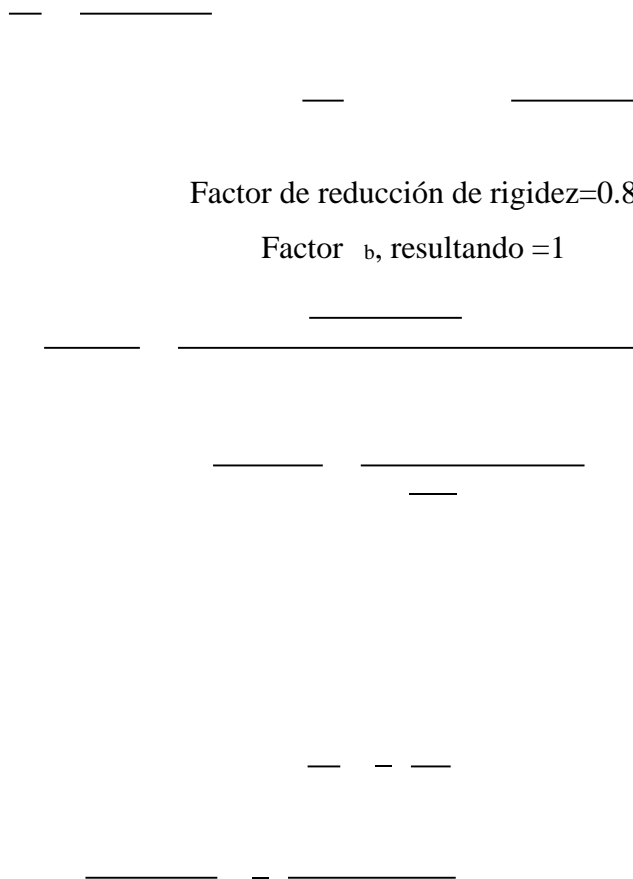
4.4.4 Método de Análisis directo para el cálculo de la capacidad nominal a compresión axial (AISC 360-16).

Datos:

Perfil 260x260 e=11: Área= 98,61 cm², I= 10052 cm⁴

Acero A-36: F_y= 2530 kg/cm², E= 2100000 Kg/cm²

P_u= 80 ton, Mu=24 Ton*m



A continuación se presenta las tablas resumen tras aplicar la metodología anteriormente para cada uno de los casos expuestos:

Método de Análisis Directo (Perfiles HEA Acero A-36)							
Pu (ton)	Mu(ton*m)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	3.00	HEA-140	31.40	3.52	1.00	300.00	85.23
30.00	9.00	HEA-220	64.30	5.51	1.00	300.00	54.45
50.00	15.00	HEA-260	86.80	6.49	1.00	300.00	46.22
80.00	24.00	HEA-300	113.00	7.47	1.00	300.00	40.16
100.00	30.00	HEA-360	143.00	7.42	1.00	300.00	40.43
120.00	36.00	HEA-450	178.00	7.29	1.00	300.00	41.15
150.00	45.00	HEA-500	198.00	7.25	1.00	300.00	41.38
180.00	54.00	HEA-500	198.00	7.25	1.00	300.00	41.38
200.00	60.00	HEA-650	242.00	6.95	1.00	300.00	43.17
250.00	75.00	HEA-700	260.00	6.85	1.00	300.00	43.80
300.00	90.00	HEA-800	286.00	6.64	1.00	300.00	45.18
350.00	105.00	HEA-900	321.00	6.49	1.00	300.00	46.22
400.00	120.00	HEA-1000	347.00	6.35	1.00	300.00	47.24
450.00	135.00	-	-	-	1.00	300.00	#¡VALOR!
500.00	150.00	-	-	-	1.00	300.00	#¡VALOR!
550.00	165.00	-	-	-	1.00	300.00	#¡VALOR!
600.00	180.00	-	-	-	1.00	300.00	#¡VALOR!
750.00	225.00	-	-	-	1.00	300.00	#¡VALOR!
800.00	240.00	-	-	-	1.00	300.00	#¡VALOR!

Tabla 40. Método de Análisis Directo (Perfiles HEA Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de Análisis Directo (Perfiles HEA Acero A500GrC)							
Pu (ton)	Mu(ton*m)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	3.00	HEA-140	31.40	3.52	1.00	300.00	85.23
30.00	9.00	HEA-200	53.80	4.97	1.00	300.00	60.36
50.00	15.00	HEA-240	76.80	6.01	1.00	300.00	49.92
80.00	24.00	HEA-280	97.30	6.99	1.00	300.00	42.92
100.00	30.00	HEA-300	113.00	7.47	1.00	300.00	40.16
120.00	36.00	HEA-320	124.00	7.50	1.00	300.00	40.00
150.00	45.00	HEA-340	133.00	7.47	1.00	300.00	40.16
180.00	54.00	HEA-400	159.00	7.34	1.00	300.00	40.87
200.00	60.00	HEA-450	178.00	7.29	1.00	300.00	41.15
250.00	75.00	HEA-500	198.00	7.25	1.00	300.00	41.38
300.00	90.00	HEA-550	212.00	7.14	1.00	300.00	42.02
350.00	105.00	HEA-650	242.00	6.95	1.00	300.00	43.17
400.00	120.00	HEA-700	260.00	6.85	1.00	300.00	43.80
450.00	135.00	HEA-800	286.00	6.64	1.00	300.00	45.18
500.00	150.00	HEA-900	321.00	6.49	1.00	300.00	46.22
550.00	165.00	HEA-900	321.00	6.49	1.00	300.00	46.22
600.00	180.00	HEA-1000	347.00	6.35	1.00	300.00	47.24
750.00	225.00	-	-	-	1.00	300.00	#¡VALOR!
800.00	240.00	-	-	-	1.00	300.00	#¡VALOR!

Tabla 41. Método de Análisis Directo (Perfiles HEA Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de Análisis Directo (Perfiles HEB Acero A-36)							
Pu (ton)	Mu(ton*m)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	3.00	HEB-120	34.00	3.05	1.00	300.00	98.36
30.00	9.00	HEB-180	65.30	4.56	1.00	300.00	65.79
50.00	15.00	HEB-220	91.00	5.59	1.00	300.00	53.67
80.00	24.00	HEB-260	118.00	6.59	1.00	300.00	45.52
100.00	30.00	HEB-300	149.00	7.58	1.00	300.00	39.58
120.00	36.00	HEB-320	161.00	7.57	1.00	300.00	39.63
150.00	45.00	HEB-360	181.00	7.47	1.00	300.00	40.16
180.00	54.00	HEB-450	218.00	7.33	1.00	300.00	40.93
200.00	60.00	HEB-450	218.00	7.33	1.00	300.00	40.93
250.00	75.00	HEB-550	254.00	7.18	1.00	300.00	41.78
300.00	90.00	HEB-650	286.00	7.00	1.00	300.00	42.86
350.00	105.00	HEB-700	306.00	6.86	1.00	300.00	43.73
400.00	120.00	HEB-800	334.00	6.68	1.00	300.00	44.91
450.00	135.00	HEB-900	371.00	6.53	1.00	300.00	45.94
500.00	150.00	HEB-1000	400.00	6.38	1.00	300.00	47.02
550.00	165.00	-	-	-	1.00	300.00	#¡VALOR!
600.00	180.00	-	-	-	1.00	300.00	#¡VALOR!
750.00	225.00	-	-	-	1.00	300.00	#¡VALOR!
800.00	240.00	-	-	-	1.00	300.00	#¡VALOR!

Tabla 42. Método de Análisis Directo (Perfiles HEB Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Metodo de Analisis Directo (Perfiles HEB Acero A500GrC)							
Pu (ton)	Mu(ton*m)	Perfil	Area Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	3.00	HEB-120	34.00	3.05	1.00	300.00	98.36
30.00	9.00	HEB-160	54.30	4.05	1.00	300.00	74.07
50.00	15.00	HEB-200	78.10	5.06	1.00	300.00	59.29
80.00	24.00	HEB-240	106.00	6.08	1.00	300.00	49.34
100.00	30.00	HEB-260	118.00	6.59	1.00	300.00	45.52
120.00	36.00	HEB-280	131.00	7.09	1.00	300.00	42.31
150.00	45.00	HEB-300	149.00	7.58	1.00	300.00	39.58
180.00	54.00	HEB-340	171.00	7.52	1.00	300.00	39.89
200.00	60.00	HEB-360	181.00	7.47	1.00	300.00	40.16
250.00	75.00	HEB-450	218.00	7.33	1.00	300.00	40.93
300.00	90.00	HEB-500	239.00	7.26	1.00	300.00	41.32
350.00	105.00	HEB-550	254.00	7.18	1.00	300.00	41.78
400.00	120.00	HEB-600	270.00	7.07	1.00	300.00	42.43
450.00	135.00	HEB-650	286.00	7.00	1.00	300.00	42.86
500.00	150.00	HEB-800	334.00	6.68	1.00	300.00	44.91
550.00	165.00	HEB-800	334.00	6.68	1.00	300.00	44.91
600.00	180.00	HEB-900	371.00	6.53	1.00	300.00	45.94
750.00	225.00	-	-	-	1.00	300.00	#¡VALOR!
800.00	240.00	-	-	-	1.00	300.00	#¡VALOR!

Tabla 43. Método de Análisis Directo (Perfiles HEB Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de Análisis Directo (Tubulares Circulares Acero A-36)							
Pu (ton)	Mu(ton*m)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	3.00	7 5/8 e=4,50	24.92	6.70	1.00	300.00	44.78
30.00	9.00	10 3/4 e=7	54.52	9.43	1.00	300.00	31.81
50.00	15.00	12 3/4 e=9	82.96	11.16	1.00	300.00	26.88
80.00	24.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
100.00	30.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
120.00	36.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
150.00	45.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
180.00	54.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
200.00	60.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
250.00	75.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
300.00	90.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
350.00	105.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
400.00	120.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
450.00	135.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
500.00	150.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
550.00	165.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
600.00	180.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
750.00	225.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
800.00	240.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!

Tabla 44. Método de Análisis Directo (Perfiles Circulares Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de Análisis Directo (Tubulares Circulares Acero A500GrC)							
Pu (ton)	Mu(ton*m)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	3.00	6 5/8 e=4,30	20.64	5.81	1.00	300.00	51.64
30.00	9.00	9 5/8 e=7	48.67	8.42	1.00	300.00	35.63
50.00	15.00	10 3/4 e=9	69.61	9.36	1.00	300.00	32.05
80.00	24.00	12 3/4 e=11	100.79	11.09	1.00	300.00	27.05
100.00	30.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
120.00	36.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
150.00	45.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
180.00	54.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
200.00	60.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
250.00	75.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
300.00	90.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
350.00	105.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
400.00	120.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
450.00	135.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
500.00	150.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
550.00	165.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
600.00	180.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
750.00	225.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
800.00	240.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!

Tabla 45. Método de Análisis Directo (Perfiles Circulares Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de Análisis Directo (Tubulares Cuadrados Acero A-36)							
Pu (ton)	Mu (ton*m)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	3.00	155x155 e=4.50	24.64	6.12	1.00	300.00	49.02
30.00	9.00	220x220 e=7	54.14	8.65	1.00	300.00	34.68
50.00	15.00	260x260 e=9	81.84	10.19	1.00	300.00	29.44
80.00	24.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
100.00	30.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
120.00	36.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
150.00	45.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
180.00	54.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
200.00	60.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
250.00	75.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
300.00	90.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
350.00	105.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
400.00	120.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
450.00	135.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
500.00	150.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
550.00	165.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
600.00	180.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
750.00	225.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
800.00	240.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!

Tabla 46. Método de Análisis Directo (Perfiles Cuadrado Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de Análisis Directo (Tubulares Cuadrados Acero A500GrC)							
Pu (ton)	Mu (ton*m)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	3.00	135x135 e=4.30	20.41	5.31	1.00	300.00	56.50
30.00	9.00	200x200 e=7	48.93	7.84	1.00	300.00	38.27
50.00	15.00	220x220 e=9	68.45	8.56	1.00	300.00	35.05
80.00	24.00	260x260 e=11	98.61	10.10	1.00	300.00	29.70
100.00	30.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
120.00	36.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
150.00	45.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
180.00	54.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
200.00	60.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
250.00	75.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
300.00	90.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
350.00	105.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
400.00	120.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
450.00	135.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
500.00	150.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
550.00	165.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
600.00	180.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
750.00	225.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!
800.00	240.00	-	-	-	1.00	300.00	#iVALOR!

Tabla 47. Método de Análisis Directo (Perfiles Cuadrados Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de Análisis Directo (Perfiles W Acero A-36)							
Pu (ton)	Mu (ton*m)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	3.00	360x33	41.90	2.64	1.00	300.00	113.64
30.00	9.00	W 250x80	102.00	6.50	1.00	300.00	46.15
50.00	15.00	W 410x85	108.00	4.08	1.00	300.00	73.53
80.00	24.00	W 410x85	108.00	4.08	1.00	300.00	73.53
100.00	30.00	W 460x106	134.00	4.33	1.00	300.00	69.28
120.00	36.00	W 410x114	146.00	6.26	1.00	300.00	47.92
150.00	45.00	W 760x185	235.00	5.65	1.00	300.00	53.10
180.00	54.00	W 760x185	235.00	5.65	1.00	300.00	53.10
200.00	60.00	W 760x185	235.00	5.65	1.00	300.00	53.10
250.00	75.00	W 760x185	235.00	5.65	1.00	300.00	53.10
300.00	90.00	W 460x260	331.00	7.02	1.00	300.00	42.74
350.00	105.00	W 610x285	363.00	7.80	1.00	300.00	38.46
400.00	120.00	W 610x285	363.00	7.80	1.00	300.00	38.46
450.00	135.00	W 690x289	411.00	7.89	1.00	300.00	38.02
500.00	150.00	W 690x457	489.00	8.54	1.00	300.00	35.13
550.00	165.00	W 690x457	489.00	8.54	1.00	300.00	35.13
600.00	180.00	W 840x433	552.00	9.35	1.00	300.00	32.09
750.00	225.00	W 920x488	622.00	10.27	1.00	300.00	29.21
800.00	240.00	W 920x488	622.00	10.27	1.00	300.00	29.21

Tabla 48. Método de Análisis Directo (Perfiles W Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Método de Análisis Directo (Perfiles W Acero A500GrC)							
Pu (ton)	Mu (ton*m)	Perfil	Área Gruesa (cm ²)	r (cm)	k	L (cm)	KL/r
10.00	3.00	360x33	41.90	2.64	1.00	300.00	113.64
30.00	9.00	W 250x80	102.00	6.50	1.00	300.00	46.15
50.00	15.00	W 250x80	102.00	6.50	1.00	300.00	46.15
80.00	24.00	W 250x80	102.00	6.50	1.00	300.00	46.15
100.00	30.00	W 410x85	108.00	4.08	1.00	300.00	73.53
120.00	36.00	W 360x91	116.00	6.21	1.00	300.00	48.31
150.00	45.00	W 410x114	146.00	6.26	1.00	300.00	47.92
180.00	54.00	W 310x143	182.00	7.88	1.00	300.00	38.07
200.00	60.00	W 310x143	182.00	7.88	1.00	300.00	38.07
250.00	75.00	W 760x185	235.00	5.65	1.00	300.00	53.10
300.00	90.00	W 760x185	235.00	5.65	1.00	300.00	53.10
350.00	105.00	W 760x185	235.00	5.65	1.00	300.00	53.10
400.00	120.00	W 610x195	249.00	8.09	1.00	300.00	37.08
450.00	135.00	W 460x260	331.00	7.02	1.00	300.00	42.74
500.00	150.00	W 610x285	363.00	7.80	1.00	300.00	38.46
550.00	165.00	W 610x285	363.00	7.80	1.00	300.00	38.46
600.00	180.00	W 690x289	411.00	7.89	1.00	300.00	38.02
750.00	225.00	W 690x457	489.00	8.54	1.00	300.00	35.13
800.00	240.00	W 690x457	489.00	8.54	1.00	300.00	35.13

Tabla 49. Método de Análisis Directo (Perfiles W Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

4.4.5. Semejanzas y diferencias de las diferentes metodologías para elementos de acero sometidos a compresión axial

Comparaciones	MLE	COVENIN	EUROCODIGO	MAD
Esfuerzos de Compresión	Si	Si	Si	Si
Esfuerzos de flexión	No	No	No	Si
Carga y Desplazamiento Lateral Considerado	No	No	No	Si
Factor de Minoración	0,9	0,85		-
Factor de Longitud Efectiva	0,65	0,65	0,7	1
Factor de Reducción de Rigidez	1	1	1	0,8
Variación de MLE con otros Métodos*	ØPn (35,5ton)	8,17%	2,34%	85,21%
Variación de COVENIN con otros Métodos*	-8,17%	ØPn (32,6ton)	-5,97%	83,90%
Variación de EUROCODIGO con otros Métodos*	-2,34%	5,97%	ØPn (34,67ton)	84,86%
Variación de MAD con otros Métodos*	-85,21%	83,90%	84,86%	ØPn (5,25ton)

Tabla 50. Tabla Comparativa para los diferentes métodos de perfiles de acero solicitados a esfuerzos de compresión axial.

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

4.5 Fase 5: Analizar comparativamente las metodologías para elementos de acero sometidos a compresión axial.

Las siguientes gráficas muestran el comportamiento de un elemento de acero sometido a compresión axial donde se muestra la variación del área requerida cuando se aumenta la solicitación.

4.5.1 Gráficas Pu Vs. Área Gruesas (A-36)

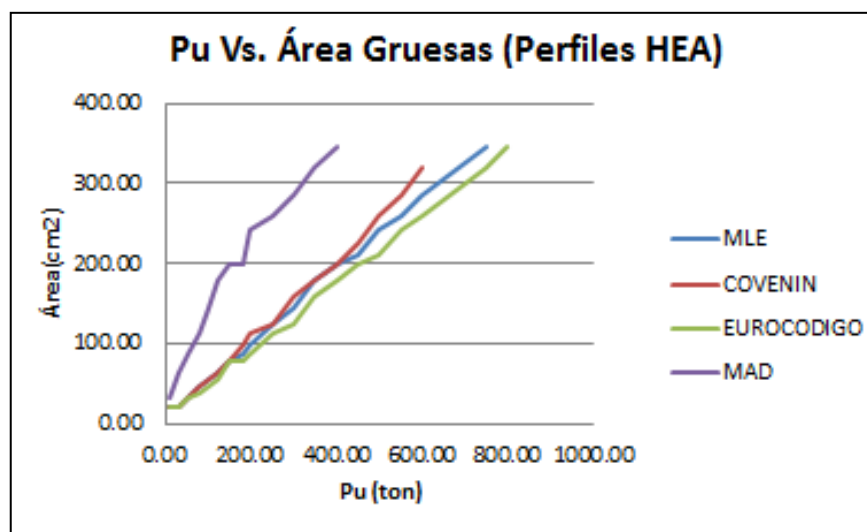


Figura 20. Pu Vs Área Gruesa (Perfiles HEA A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Se puede observar un comportamiento en el cual estima que a mayor área gruesa de la sección transversal de los perfiles HEA con un Acero A-36 estos pueden soportar una carga última más elevada, siendo el método de análisis directo el más conservador disminuyendo el área gruesa alrededor de un 55% a diferencia de los métodos convencionales que permiten una mayor carga en el perfil en un área gruesa menor. Los métodos convencionales no crean mucha disparidad en el área gruesa a usarse para una carga teniendo un solo 7,5% en promedio entre ellos.

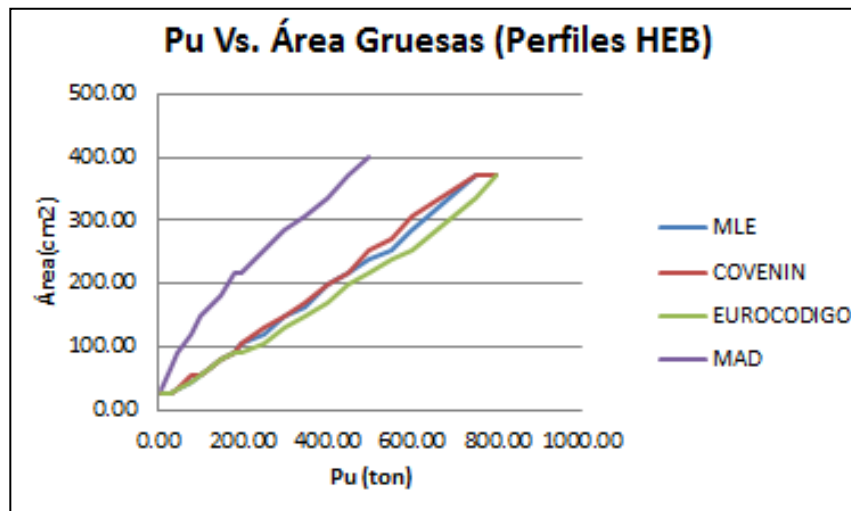


Figura 21. Pu Vs Área Gruesa (Perfiles HEB A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Se puede observar un comportamiento en el cual estima que a mayor área gruesa de la sección transversal de los perfiles HEB con un Acero A-36 estos pueden soportar una carga ultima más elevada, siendo el método de análisis directo el más conservador disminuyendo el área gruesa variándola alrededor de un 50% de los métodos convencionales que permiten una mayor carga en el perfil en un área gruesa menor. Los métodos convencionales no crean mucha disparidad en el área gruesa a usarse para una carga teniendo un solo 6,5% en promedio entre ellos.

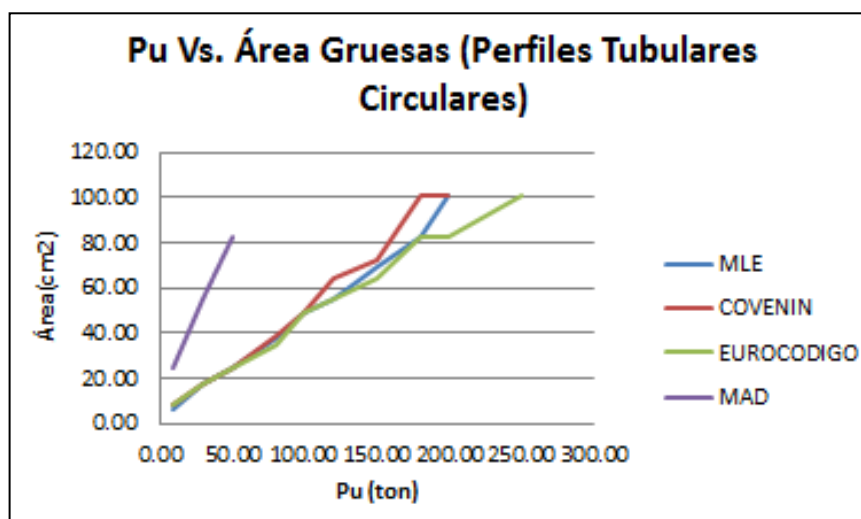


Figura 22. Pu Vs Área Gruesa (Perfiles Circulares A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Se puede observar un comportamiento en el cual estima que a mayor área gruesa de la sección transversal de los perfiles Tubulares Circulares con un Acero A-36 estos pueden soportar una carga ultima más elevada, siendo el método de análisis directo el más conservador disminuyendo el área gruesa variándola alrededor de un 70% de los métodos convencionales que permiten una mayor carga en el perfil en un área gruesa menor. Los métodos convencionales no crean mucha disparidad en el área gruesa a usarse para una carga teniendo un menos de 12% entre ellos.

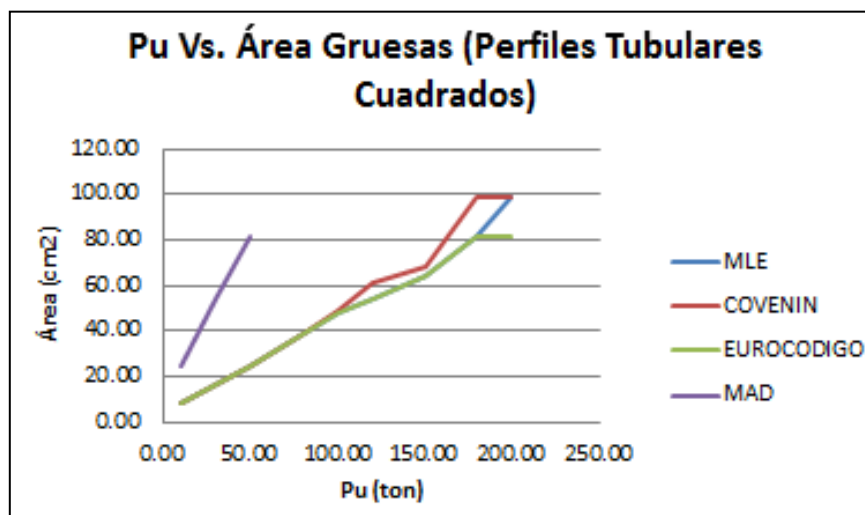


Figura 23. Pu Vs Área Gruesa (Perfiles Cuadrados A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Se puede observar un comportamiento en el cual estima que a mayor área gruesa de la sección transversal de los perfiles Tubulares Cuadrados con un Acero A-36 estos pueden soportar una carga ultima más elevada, siendo el método de análisis directo el más conservador disminuyendo el área gruesa variándola alrededor de un 70% de los métodos convencionales que permiten una mayor carga en el perfil en un área gruesa menor. Los métodos convencionales no crean mucha disparidad en el área gruesa a usarse para una carga teniendo un menos de 10% entre ellos.

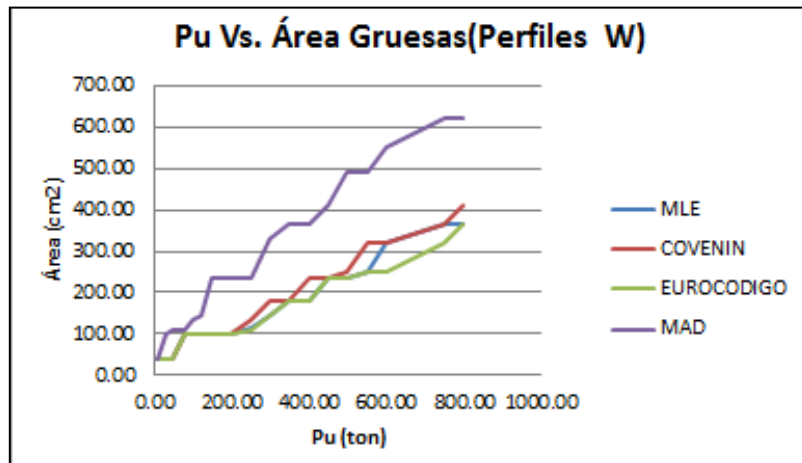


Figura 24. Pu Vs Área Gruesa (Perfiles W A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Se puede observar un comportamiento en el cual estima que a mayor área gruesa de la sección transversal de los perfiles W con un Acero A-36 estos pueden soportar una carga ultima más elevada, siendo el método de análisis directo el más conservador disminuyendo el área gruesa variándola un 45,59% de los métodos convencionales que permiten una mayor carga en el perfil en un área gruesa menor. Los métodos convencionales no crean mucha disparidad en el área gruesa a usarse para una carga teniendo un menos de 9% entre ellos.

4.5.2 Gráficas Pu Vs. Área Gruesas (A500GrC)

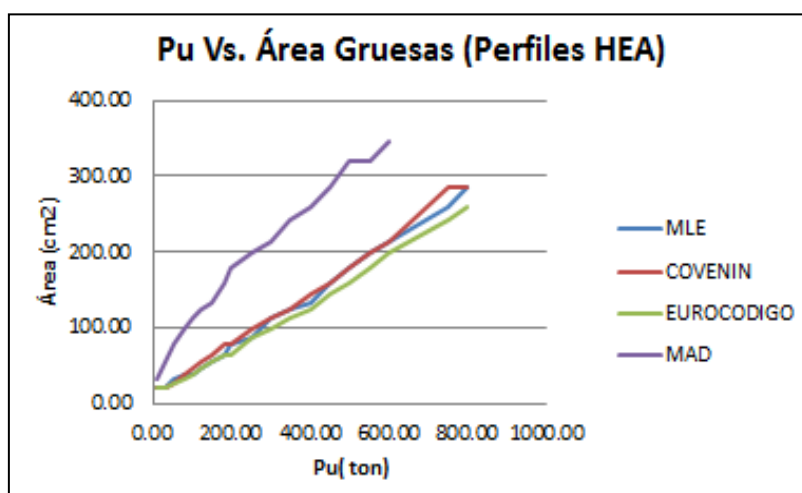


Figura 25. Pu Vs Área Gruesa (Perfiles HEA A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Los perfiles HEA con un acero A500GrC muestra una conducta de que a mayor sea la carga aplicada en la sección más considerable debería ser el área gruesa que soporte dicha carga, el método de análisis directo es el más riguroso en este aspecto ya que en promedio pide un 50% más de área gruesa que los métodos convencionales para soportar la carga ultima aplicada. Los métodos tradicionales no alteran en una escala grande las diferencias de área solo requiriendo un cambio de cerca de un 7.5%.

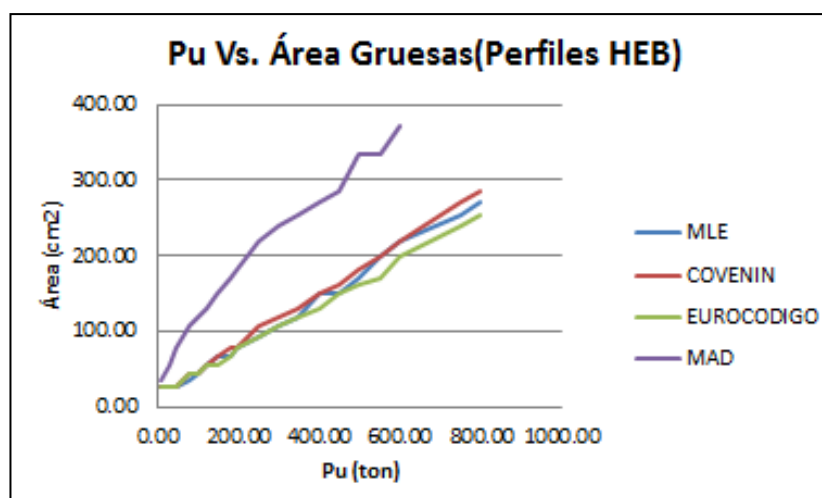


Figura 26. Pu Vs Área Gruesa (Perfiles HEB A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Los perfiles HEB con un acero A500GrC muestra una conducta de que a mayor sea la carga aplicada en la sección más considerable debería ser el área gruesa que soporte dicha carga, el método de análisis directo es el más riguroso en este aspecto ya que en promedio pide un 43% más de área gruesa que los métodos convencionales para soportar la carga ultima aplicada. Los métodos tradicionales no alteran en una escala grande las diferencias de área solo requiriendo un cambio de cerca de un 7%.

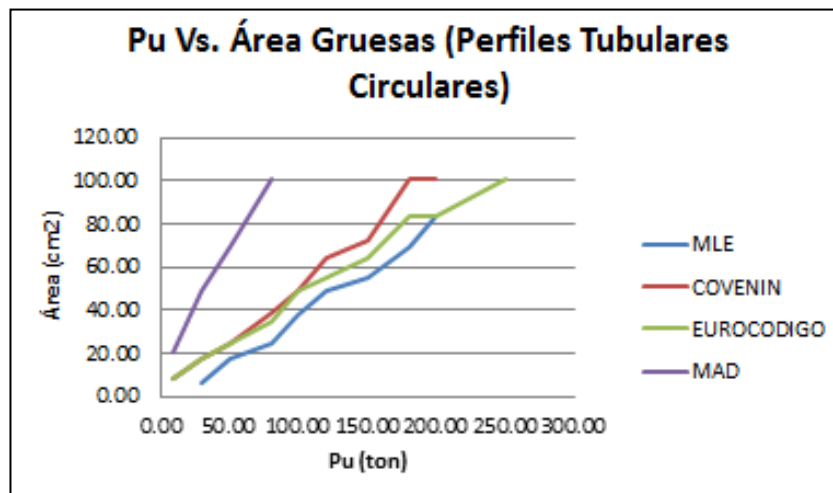


Figura 27. Pu Vs Área Gruesa (Perfiles Circular A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Los perfiles Tubulares Circulares con un acero A500GrC muestra una conducta de que a mayor sea la carga aplicada en la sección más considerable debería ser el área gruesa que soporte dicha carga, el método de análisis directo es el más riguroso en este aspecto ya que en promedio pide un 73% más de área gruesa que los métodos convencionales para soportar la carga ultima aplicada. Los métodos tradicionales no alteran en una escala grande las diferencias de área solo requiriendo un cambio de cerca de un 5%.

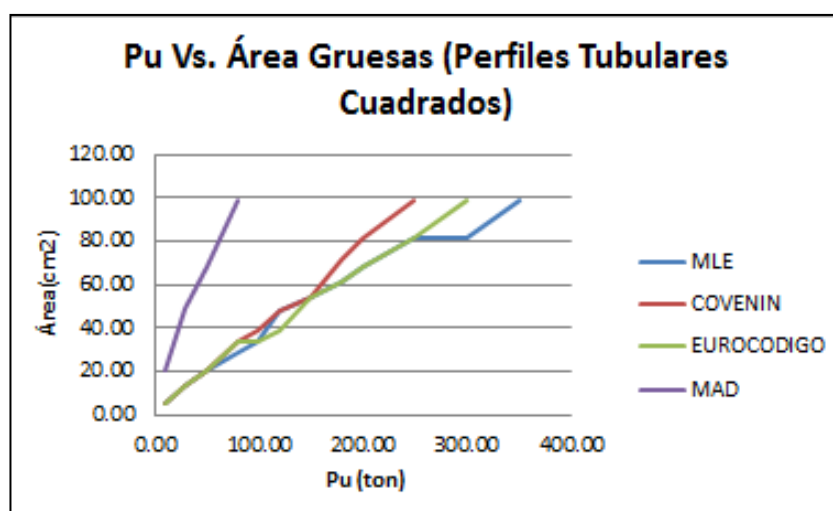


Figura 28. Pu Vs Área Gruesa (Perfiles Cuadrados A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Los perfiles Tubulares Cuadrados con un acero A500GrC muestra una conducta de que a mayor sea la carga aplicada en la sección más considerable debería ser el área gruesa que soporte dicha carga, el método de análisis directo es el más riguroso en este aspecto ya que en promedio pide un 70% más de área gruesa que los métodos convencionales para soportar la carga ultima aplicada. Los métodos tradicionales no alteran en una escala grande las diferencias de área solo requiriendo un cambio de cerca de un 10%.

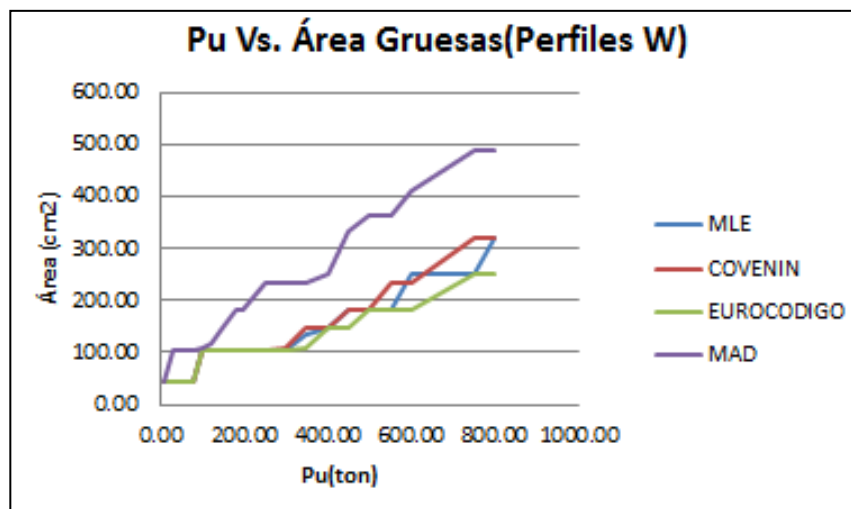


Figura 29. Pu Vs Área Gruesa (Perfiles W A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Los perfiles W con un acero A500GrC muestra una conducta de que a mayor sea la carga aplicada en la sección más considerable debería ser el área gruesa que soporte dicha carga, el método de análisis directo es el más riguroso en este aspecto ya que en promedio pide un 44,15% más de área gruesa que los métodos convencionales para soportar la carga ultima aplicada. Los métodos tradicionales no alteran en una escala grande las diferencias de área solo requiriendo un cambio de cerca de un 8,5%.

4.5.3 Gráficas PU Vs Kl/r para A-36

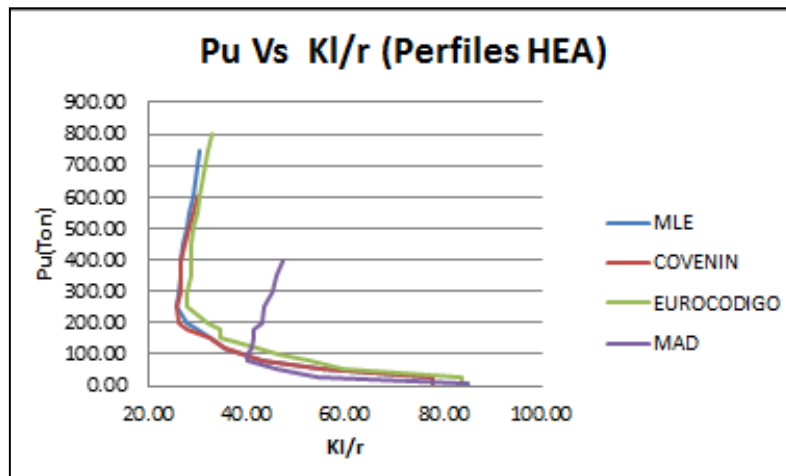


Figura 30. Pu Vs Kl/r (Perfiles HEA A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

En los perfiles HEA de Acero A-36 podemos observar un comportamiento normal de la relación de esbeltez la cual tiende a ascender cuando la carga ultima empieza a bajar, los métodos convencionales obtienen una relación de esbeltez más bajo para una misma carga a comparación del método de análisis directo. Los métodos entre si tienen una alternancia no mayor a 10% entre ellos algunos de los métodos convencionales son casi igualitarios en los parámetros de esbeltez.

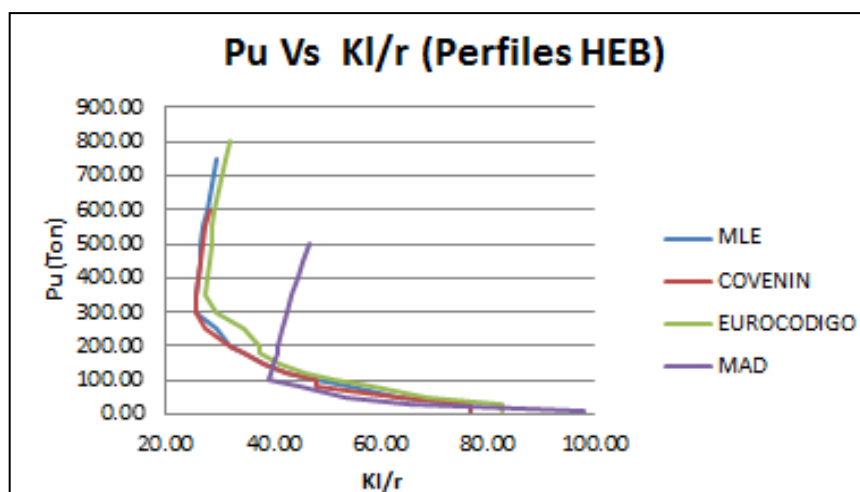


Figura 31. Pu Vs Kl/r (Perfiles HEB A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

En los perfiles HEB de Acero A-36 podemos observar un comportamiento normal de la relación de esbeltez la cual tiende a ascender cuando la carga ultima empieza a bajar, los métodos convencionales obtienen una relación de esbeltez más bajo para una misma carga a comparación del método de análisis directo. Los métodos entre si tienen una alternancia no mayor a 13% entre ellos algunos de los métodos convencionales casi igualitarios en los parámetros de esbeltez.

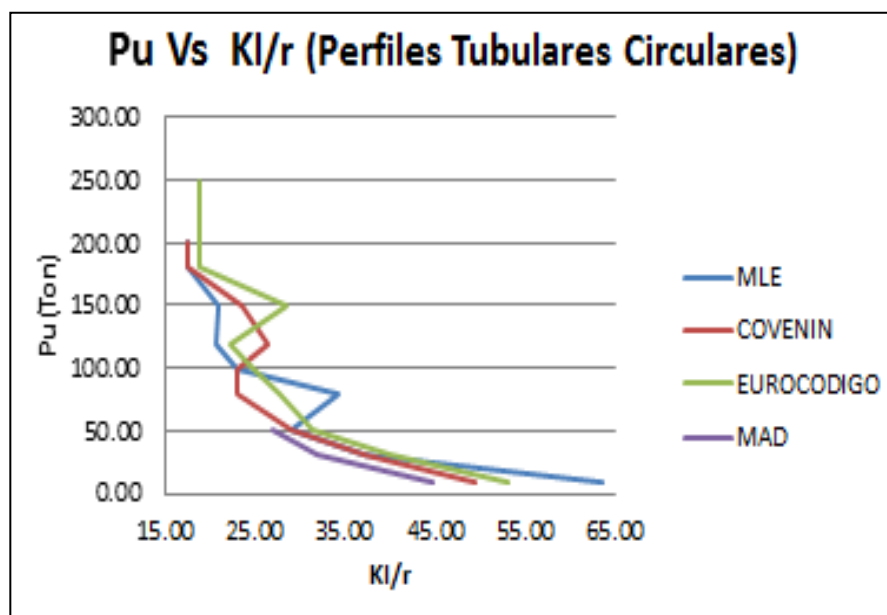


Figura 32. Pu Vs Kl/r (Perfiles Circulares A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

En los perfiles Tubulares Circulares de Acero A-36 podemos observar un comportamiento anormal de la relación de esbeltez ya que este varia con picos irregulares y no presentan un comportamiento logarítmico, los métodos convencionales obtienen una relación de esbeltez más bajo para una misma carga a comparación del método de análisis directo. Los métodos entre si tienen una alternancia alrededor de 17% entre ellos algunos de los métodos convencionales casi igualitarios en los parámetros de esbeltez.

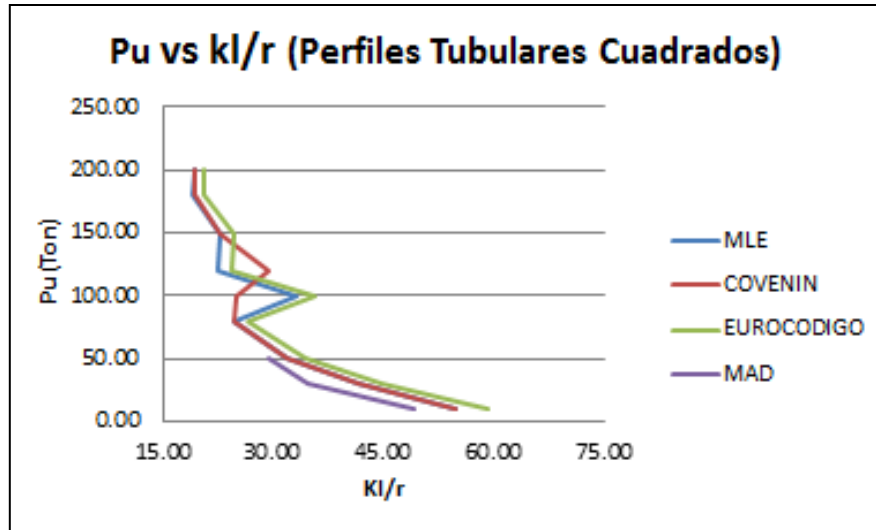


Figura 33. Pu Vs Kl/r (Perfiles Cuadrados A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

En los perfiles Tubulares Cuadrados de Acero A-36 podemos observar un comportamiento anormal de la relación de esbeltez ya que este varía con picos irregulares y no presentan un comportamiento logarítmico, los métodos convencionales obtienen una relación de esbeltez más bajo para una misma carga a comparación del método de análisis directo. Los métodos entre si tienen una alternancia alrededor de 14% entre ellos algunos de los métodos convencionales casi igualitarios en los parámetros de esbeltez.

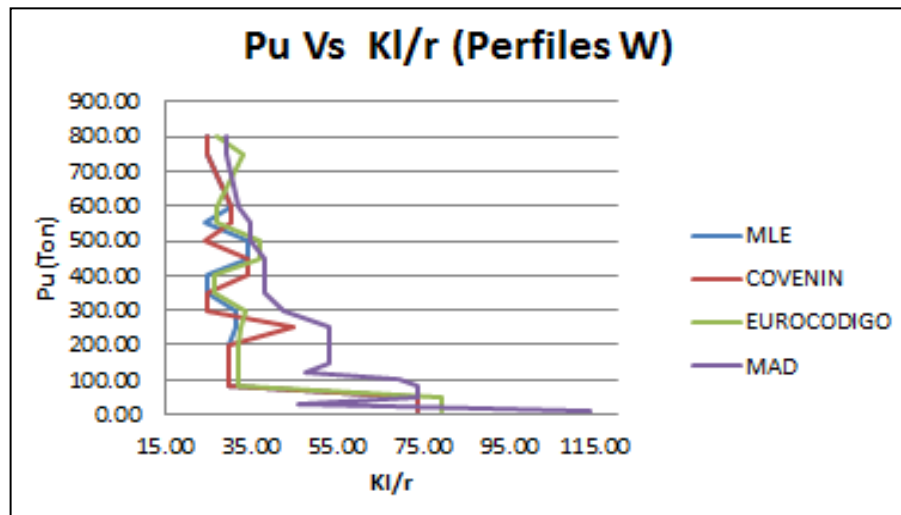


Figura 34. Pu Vs Kl/r (Perfiles W A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

En los perfiles W de Acero A-36 podemos observar un comportamiento anormal de la relación de esbeltez ya que este varia con picos irregulares y no presentan un comportamiento logarítmico, los métodos convencionales obtienen una relación de esbeltez más bajo para una misma carga a comparación del método de análisis directo. Los métodos entre si tienen una alternancia alrededor de 25,65% entre ellos algunos de los métodos convencionales casi igualitarios en los parámetros de esbeltez.

4.5.4 Gráficas PU Vs KI/r para A500GrC

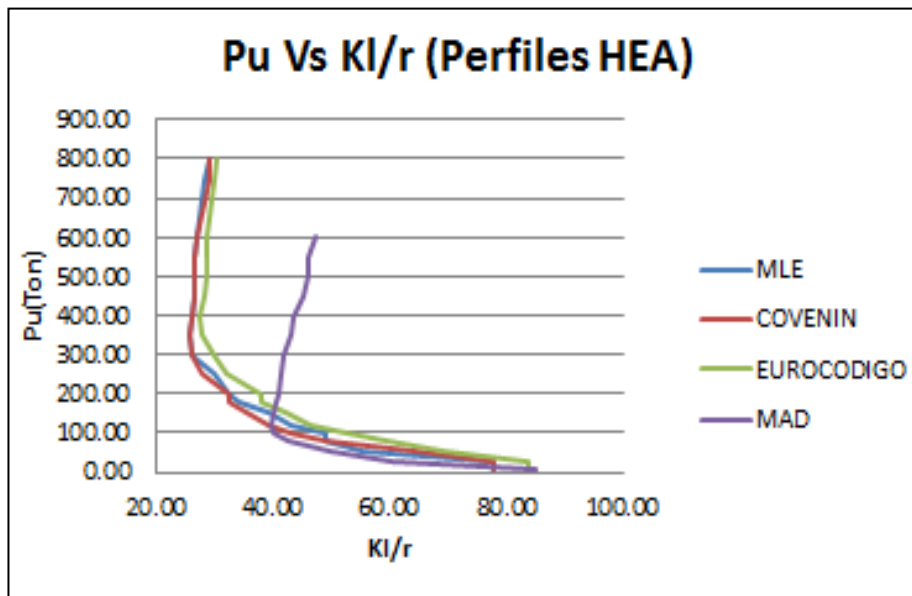


Figura 35. Pu Vs KI/r (Perfiles HEA A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Al construir la gráfica de la carga última contra la relación de esbeltez para perfiles HEA de acero A500GrC se puede observar el comportamiento normal de esta haciendo que la relación de esbeltez vaya ascendiendo cuando la carga última aplicada sea menor. Lo métodos tradicionales cumple prácticamente la misma curva sin variaciones muy importantes, en cuanto, el método de análisis directo si ocasiona una diferencia más apreciables con los otros métodos obteniendo diferencia cercas de un 13% con los otros métodos.

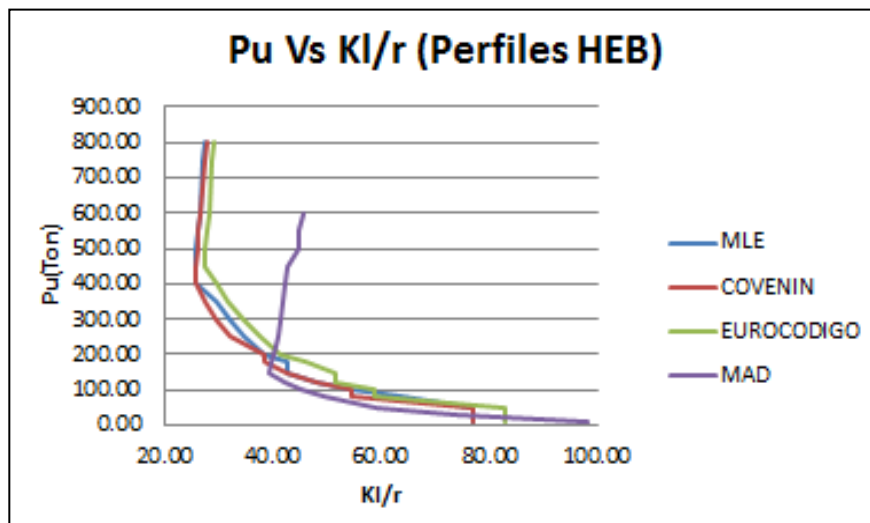


Figura 36. Pu Vs Kl/r (Perfiles HEB A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Al construir la gráfica de la carga ultima contra la relación de esbeltez para perfiles HEB de acero A500Gr se puede observar el comportamiento normal de esta haciendo que la relación de esbeltez vaya ascendiendo cuando la carga ultima aplicada sea menor. Lo métodos tradicionales cumple prácticamente la misma curva sin variaciones muy importantes, en cuanto, el método de análisis directo si ocasiona una diferencia más apreciables con los otros métodos obteniendo diferencia cercas de un 13% con los otros métodos.

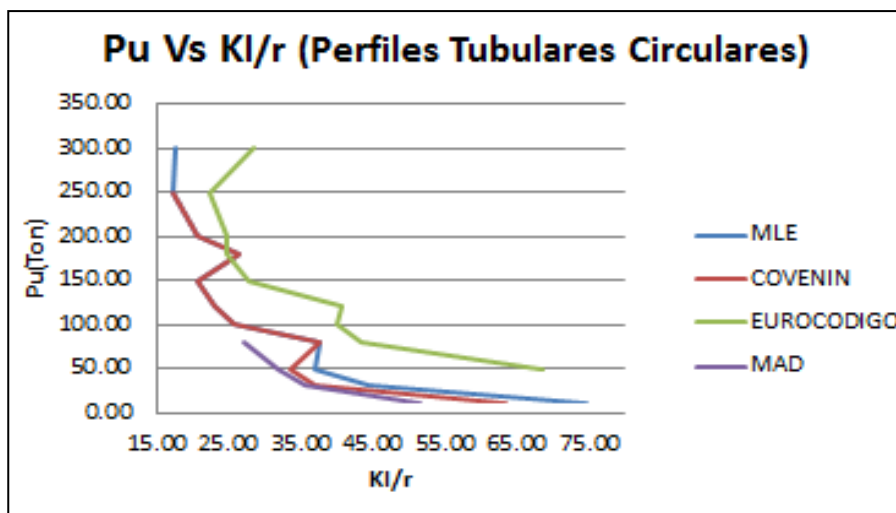


Figura 37. Pu Vs Kl/r (Perfiles Circulares A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Al construir la gráfica de la carga ultima contra la relación de esbeltez para perfiles Tubulares Circulares de acero A500Gr se puede observar el comportamiento no común de esta haciendo que la relación de esbeltez vaya ascendiendo y descendiendo de manera no uniforme cuando la carga ultima aplicada sea menor. Lo métodos tradicionales cumple prácticamente la misma curva sin variaciones muy importantes, en cuanto, el método de análisis directo si ocasiona una diferencia más apreciables con los otros métodos obteniendo diferencia cercas de un 21% con los otros métodos.

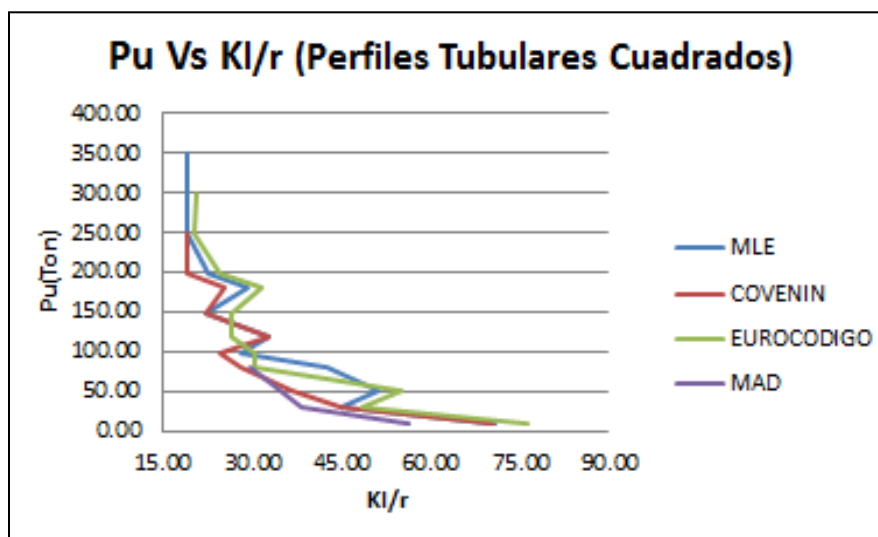


Figura 38. Pu Vs Kl/r (Perfiles Cuadrados A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Al construir la gráfica de la carga ultima contra la relación de esbeltez para perfiles Tubulares Cuadrados de acero A500Gr se puede observar el comportamiento no común de esta haciendo que la relación de esbeltez vaya ascendiendo y descendiendo de manera no uniforme cuando la carga ultima aplicada sea menor. Lo métodos tradicionales cumple prácticamente la misma curva sin variaciones muy importantes, en cuanto, el método de análisis directo si ocasiona una diferencia más apreciables con los otros métodos obteniendo diferencia cercas de un 23% con los otros métodos.

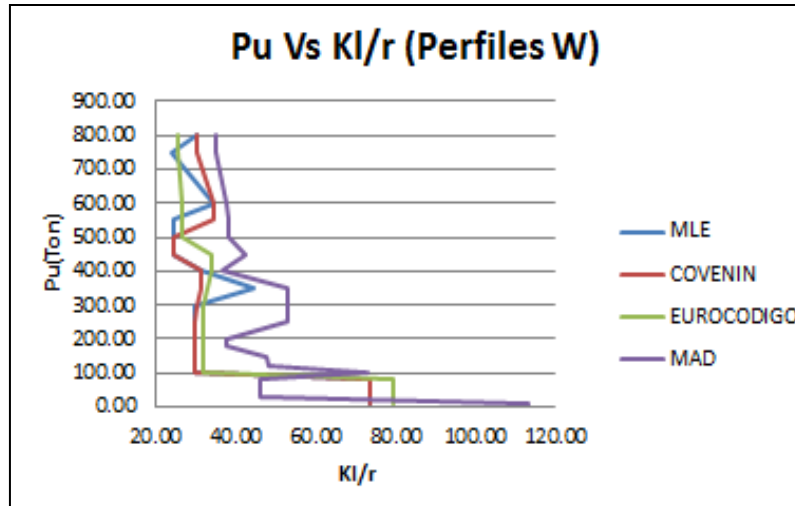


Figura 39. Pu Vs Kl/r (Perfiles W A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Al construir la gráfica de la carga ultima contra la relación de esbeltez para perfiles W de acero A500Gr se puede observar el comportamiento no común de esta haciendo que la relación de esbeltez vaya ascendiendo y descendiendo de manera no uniforme cuando la carga ultima aplicada sea menor. Lo métodos tradicionales cumple prácticamente la misma curva sin variaciones muy importantes, en cuanto, el método de análisis directo si ocasiona una diferencia más apreciables con los otros métodos obteniendo diferencia de un 18,77% con los otros métodos.

4.5.5 Gráficas de Método de Longitud Efectiva

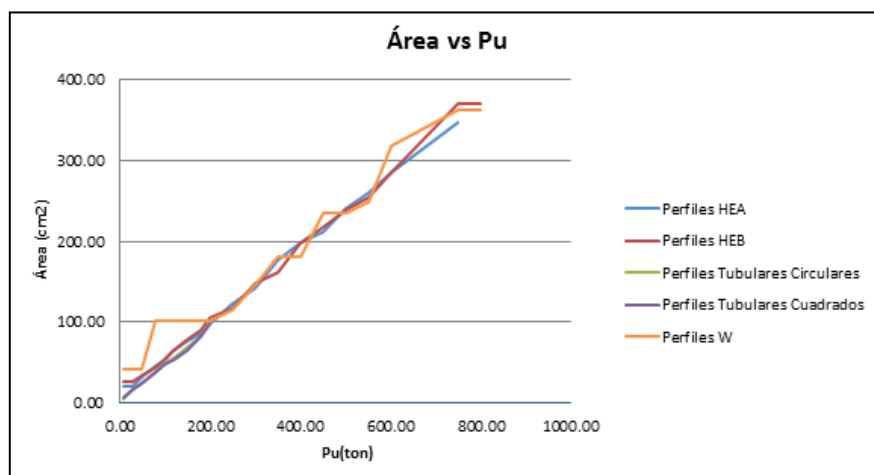


Figura 40. Área Vs Pu (Método de la Longitud Efectiva A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Esta gráfica compara el área contra la carga última para los distintos tipos de perfiles de acero A-36 en el método de la longitud efectiva de las especificaciones del AISC, en la cual se observa que los perfiles tienden a tener un comportamiento similar mientras los parámetros dichos antes son parecidos. La máxima variante en la gráfica son las áreas gruesas entre diferentes tipos de perfilaría, siendo los perfiles HEA, HEB y W perfiles que soportan más carga a estos tener mayor área, por su parte la perfilaría tubular las secciones más comunes no cuentan con un área de sección transversal muy robustas.

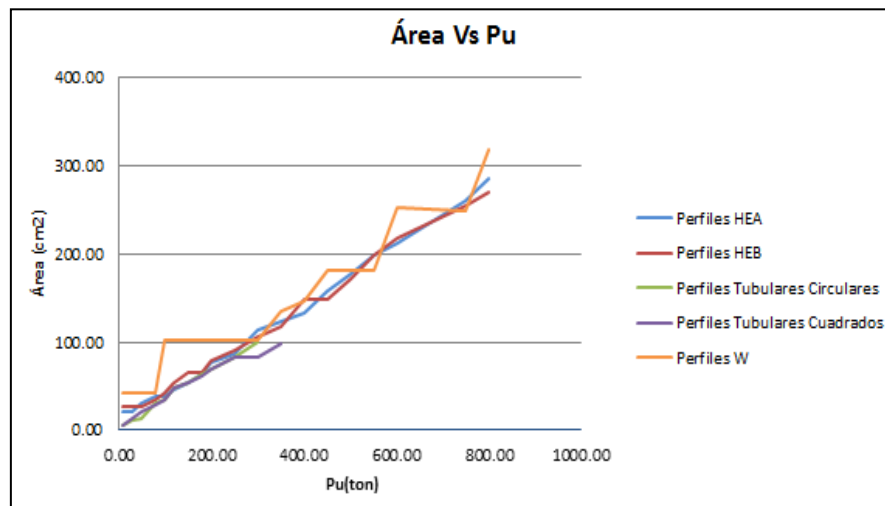


Figura 41. Área Vs Pu (Método de la Longitud Efectiva A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Esta gráfica compara el área contra la carga última para los distintos tipos de perfiles de acero A500GrC en el método de la longitud efectiva de las especificaciones del AISC, en la cual se observa que los perfiles tienden a tener un comportamiento similar mientras los parámetros dichos antes son parecidos. La máxima variante en la gráfica son las áreas gruesas entre diferentes tipos de perfilaría, siendo los perfiles HEA, HEB y W perfiles que soportan más carga a estos tener mayor área, por su parte la perfilaría tubular las secciones más comunes no cuentan con un área de sección transversal muy robustas.

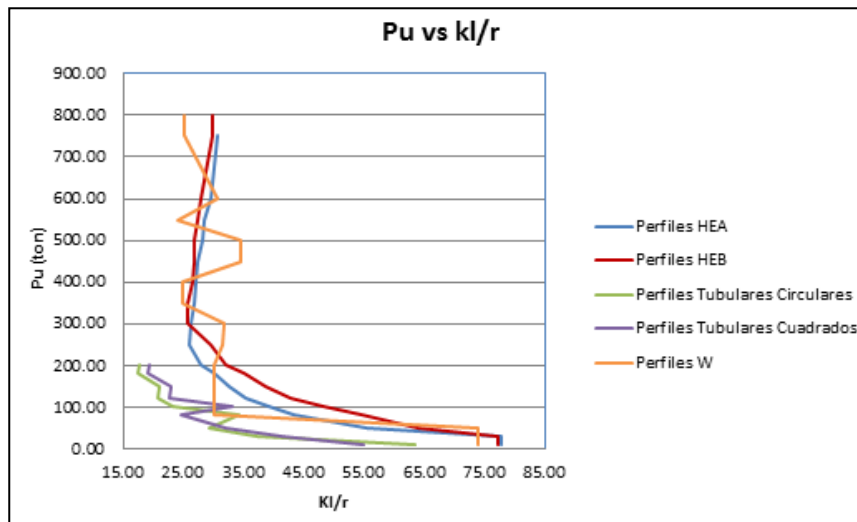


Figura 42. Pu Vs kl/r (Método de la Longitud Efectiva A-36)

Fuente. Acevedo M, Robledo T. (2017)

La siguiente grafica compara las distintas perfilaría de un acero A-36 por el método de la longitud efectiva de las especificaciones del AISC en su relación de esbeltez con la carga ultima aplicada, pudiendo mostrar los comportamientos estándares de los perfiles HEA y HEB, en cambio los muy atípicos comportamientos de los restantes perfiles como los Tubulares tanto circulares y cuadrados, que presentan unos picos no comunes para este tipo de gráfica.

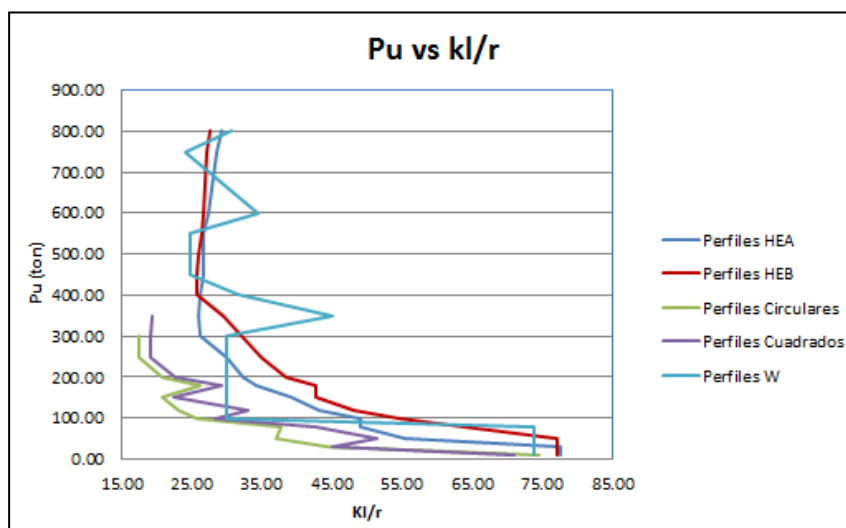


Figura 43. Pu Vs kl/r (Método de la Longitud Efectiva A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robledo T. (2017)

La siguiente grafica compara las distintas perfilaría de un acero A500Gr por el método de la longitud efectiva de las especificaciones del AISC en su relación de esbeltez con la carga ultima aplicada, pudiendo mostrar los comportamientos estándares de los perfiles HEA y HEB, en cambio los muy atípicos comportamientos de los restantes perfiles como los Tubulares tanto circulares y cuadrados, que presentan unos picos no comunes para este tipo de gráfica.

4.5.6 Gráficas de Norma Covenin 1618-98

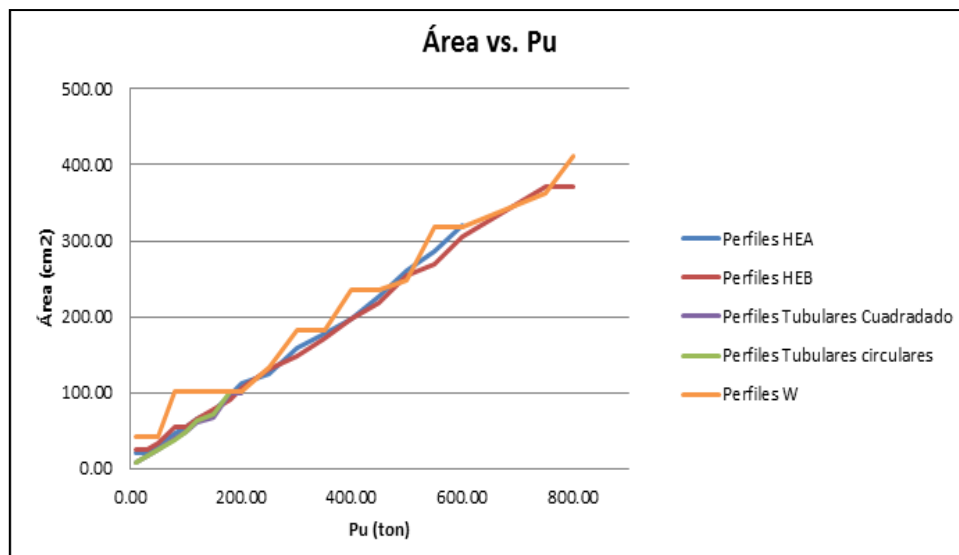


Figura 44. Área Vs Pu (Norma Covenin A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Esta gráfica compara el área contra la carga última para los distintos tipos de perfiles de acero A-36 en el método de la resistencia a pandeo flexional de la norma COVENIN 1618-1998A, en la cual se observa que los perfiles tienden a tener un comportamiento similar mientras los parámetros dichos antes son parecidos. La máxima variante en la gráfica son las áreas gruesas entre diferentes tipos de perfilaría, siendo los perfiles HEA, HEB y W perfiles que soportan más carga a estos tener mayor área, por su parte la perfilaría tubular las secciones más comunes no cuentan con un área de sección transversal muy robustas.

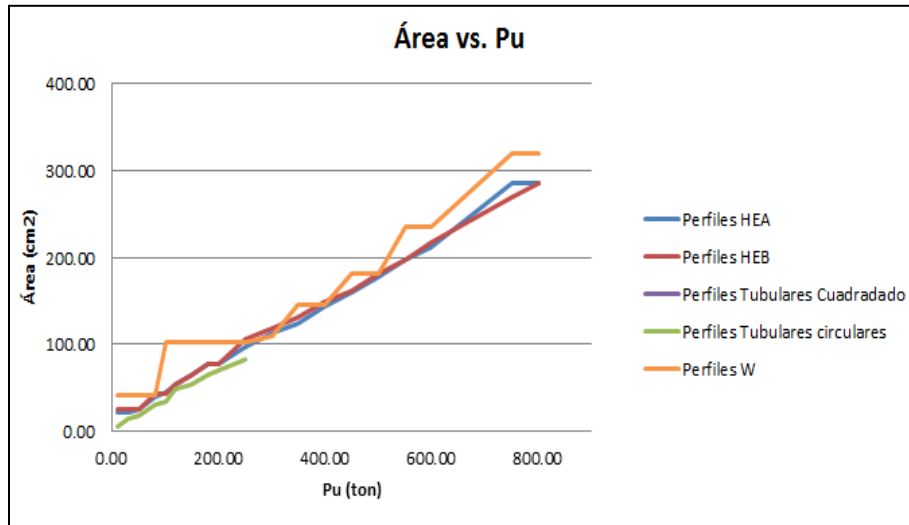


Figura 45. Área Vs Pu (Norma CoveninA500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Esta gráfica compara el área contra la carga última para los distintos tipos de perfiles de acero A500GrC en el método de resistencia al pandeo flexional de la norma COVENIN 1618-1998A, en la cual se observa que los perfiles tienden a tener un comportamiento similar mientras los parámetros dichos antes son parecidos. La máxima variante en la gráfica son las áreas gruesas entre diferentes tipos de perfilaría, siendo los perfiles HEA, HEB y W perfiles que soportan más carga a estos tener mayor área, por su parte la perfilaría tubular las secciones más comunes no cuentan con un área de sección transversal muy robustas.

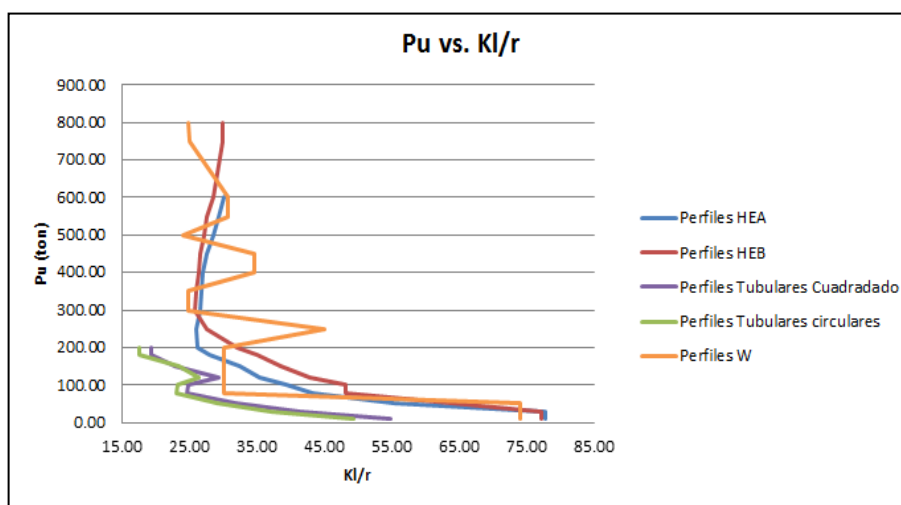


Figura 46. Pu Vs kl/r (Norma Covenin A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

La siguiente gráfica compara las distintas perfilaría de un acero A-36 por el método de resistencia al pandeo flexional de la norma COVENIN 1618-1998A en su relación de esbeltez con la carga ultima aplicada, pudiendo mostrar los comportamientos estándares de los perfiles HEA y HEB, en cambio los muy atípicos comportamientos de los restantes perfiles como los Tubulares tanto circulares y cuadrados, que presentan unos picos no comunes para este tipo de gráfica.

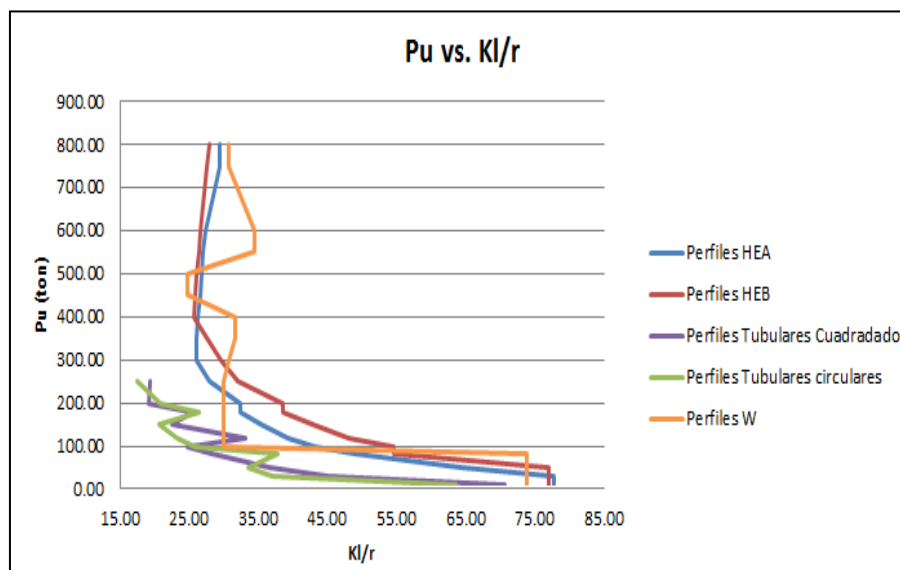


Figura 47. Pu Vs kl/r (Norma Covenin A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

La siguiente grafica compara las distintas perfilaría de un acero A500Gr por el método de resistencia al pandeo flexional de la norma COVENIN 1618-1998A en su relación de esbeltez con la carga ultima aplicada, pudiendo mostrar los comportamientos estándares de los perfiles HEA y HEB, en cambio los muy atípicos comportamientos de los restantes perfiles como los Tubulares tanto circulares y cuadrados, que presentan unos picos no comunes para este tipo de gráfica.

4.5.7 Gráficas de Norma Eurocódigo 3

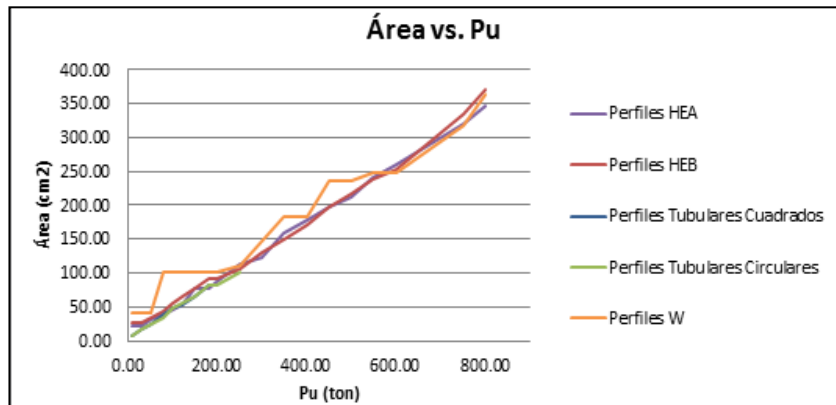


Figura 48. Área Vs Pu (Norma Eurocódigo A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Esta gráfica compara el área contra la carga última para los distintos tipos de perfiles de acero A-36 en el método de resistencia por pandeo del EUROCODIGO 3, en la cual se observa que los perfiles tienden a tener un comportamiento similar mientras los parámetros dichos antes son parecidos. La máxima variante en la gráfica son las áreas gruesas entre diferentes tipos de perfilaría, siendo los perfiles HEA, HEB y W perfiles que soportan más carga a estos tener mayor área, por su parte la perfilaría tubular las secciones más comunes no cuentan con un área de sección transversal muy robustas.

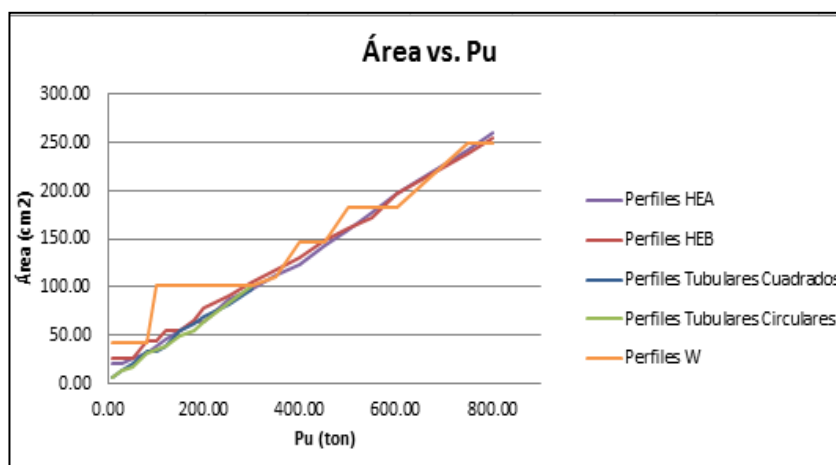


Figura 49. Área Vs Pu (Norma Eurocódigo A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Esta gráfica compara el área contra la carga última para los distintos tipos de perfiles de acero A500Gr en el método de resistencia por pandeo del EUROCODIGO 3, en la cual se observa que los perfiles tienden a tener un comportamiento similar mientras los parámetros dichos antes son parecidos. La máxima variante en la gráfica son las áreas gruesas entre diferentes tipos de perfilaría, siendo los perfiles HEA, HEB y W perfiles que soportan más carga a estos tener mayor área, por su parte la perfilaría tubular las secciones más comunes no cuentan con un área de sección transversal muy robustas.

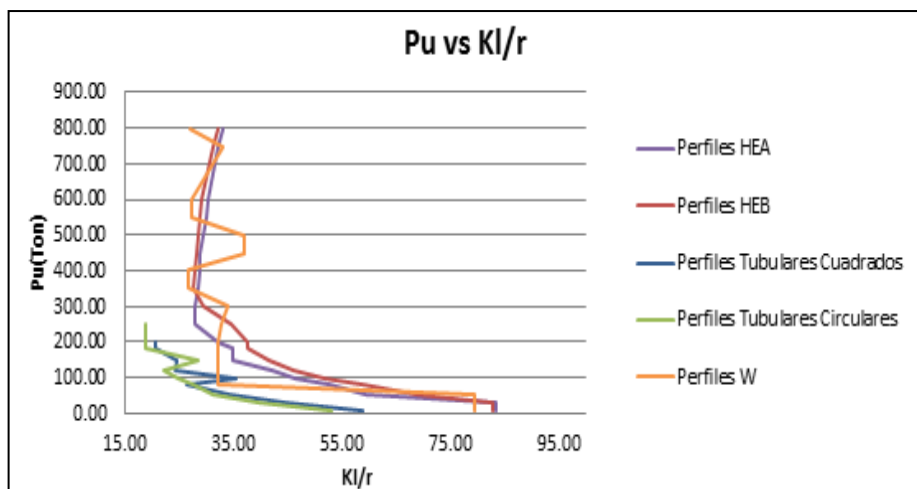


Figura 50. Pu Vs kl/r (Norma Eurocódigo $F_y=2530 \text{ Kgf/cm}^2$)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

La siguiente grafica compara las distintas perfilaría de un acero A-36 por el método de resistencia por pandeo del EUROCODIGO 3 en su relación de esbeltez con la carga ultima aplicada, pudiendo mostrar los comportamientos estándares de los perfiles HEA y HEB, en cambio los muy atípicos comportamientos de los restantes perfiles como los Tubulares tanto circulares y cuadrados, que presentan unos picos no comunes para este tipo de gráfica.

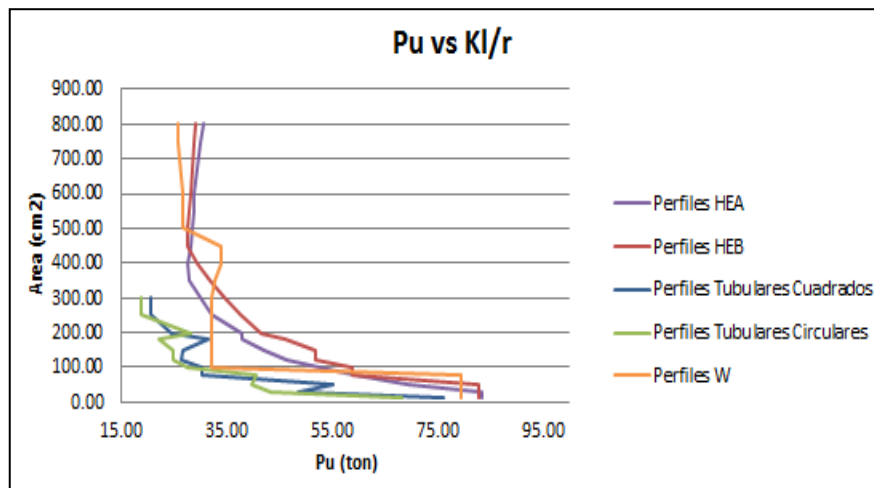


Figura 51. Pu Vs kl/r (Norma Eurocódigo $F_y=3520 \text{ Kg/cm}^2$)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

La siguiente gráfica compara las distintas perfilaría de un acero A500Gr por el método de resistencia por pandeo del EUROCODIGO 3 en su relación de esbeltez con la carga ultima aplicada, pudiendo mostrar los comportamientos estándares de los perfiles HEA y HEB, en cambio los muy atípicos comportamientos de los restantes perfiles como los Tubulares tanto circulares y cuadrados, que presentan unos picos no comunes para este tipo de gráfica.

4.5.8 Gráficas de Método de Análisis Directo

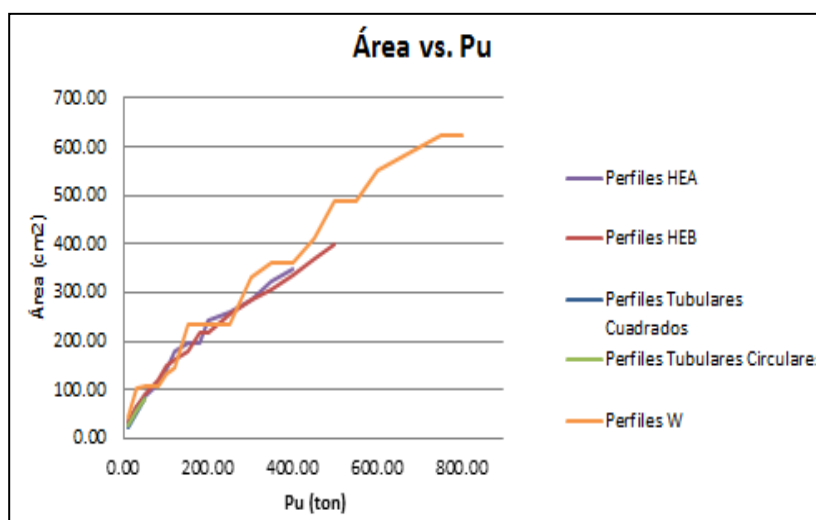


Figura 52. Área Vs Pu (Método de Análisis Directo A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Esta gráfica compara el área contra la carga última para los distintos tipos de perfiles de acero A-36 en el método de análisis directo descrito en el AISC, en la cual se observa que los perfiles tienden a tener un comportamiento similar mientras los parámetros dichos antes son parecidos. La máxima variante en la gráfica son las áreas gruesas entre diferentes tipos de perfilaría, siendo los perfiles HEA, HEB y W perfiles que soportan más carga a estos tener mayor área, por su parte la perfilaría tubular las secciones más comunes no cuentan con un área de sección transversal muy robustas.

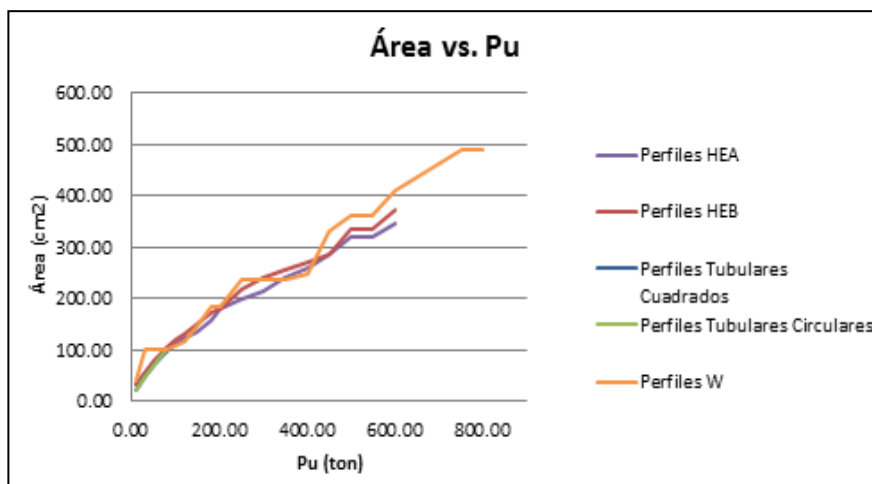


Figura 53. Área Vs Pu (Método de Análisis Directo A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Esta gráfica compara el área contra la carga última para los distintos tipos de perfiles de acero A500GrC en el método de análisis directo descrito en el AISC, en la cual se observa que los perfiles tienden a tener un comportamiento similar mientras los parámetros dichos antes son parecidos. La máxima variante en la gráfica son las áreas gruesas entre diferentes tipos de perfilaría, siendo los perfiles HEA, HEB y W perfiles que soportan más carga a estos tener mayor área, por su parte la perfilaría tubular las secciones más comunes no cuentan con un área de sección transversal muy robustas.

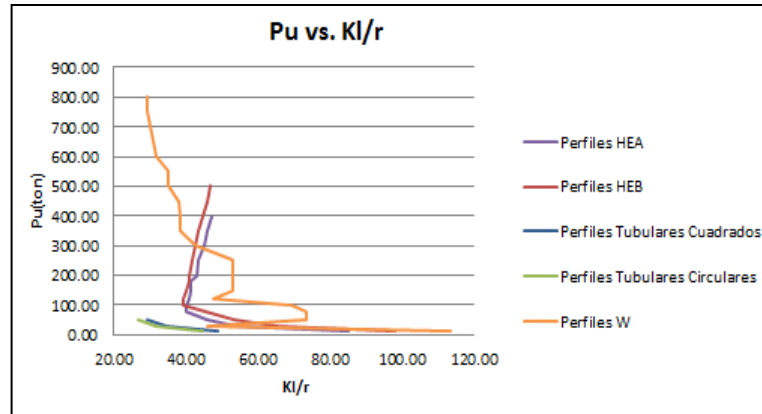


Figura 54. Pu Vs kl/r (Método de Análisis Directo A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

La siguiente gráfica compara las distintas perfilaría de un acero A-36 por el método de análisis directo descrito en el AISC en su relación de esbeltez con la carga ultima aplicada, pudiendo mostrar los comportamientos estándares de los perfiles HEA y HEB, en cambio los muy atípicos comportamientos de los restantes perfiles como los Tubulares tanto circulares y cuadrados, que presentan unos picos no comunes para este tipo de gráfica.

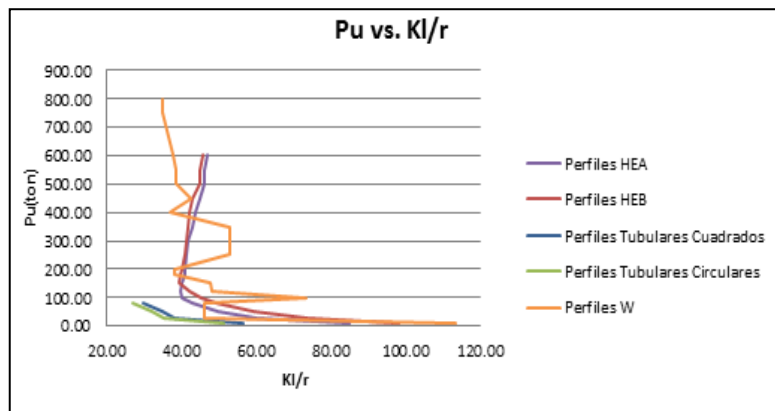


Figura 55. Pu Vs kl/r (Método de Análisis Directo A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

La siguiente gráfica compara las distintas perfilaría de un acero A500GrC por el método de análisis directo descrito en el AISC, en su relación de esbeltez con la carga ultima aplicada, pudiendo mostrar los comportamientos estándares de los perfiles HEA y HEB, en cambio los muy atípicos comportamientos de los restantes perfiles como los Tubulares tanto circulares y cuadrados, que presentan unos picos no comunes para este tipo de gráfica.

4.5.9 Tablas comparativas entre metodologías para miembros comprimidos axialmente.

4.5.9.1 Para perfiles HEA

Diferencias de Área Gruesa (cm ²) entre los diferentes Metodos para Perfiles HEA de Acero A-36										
Pu (ton)	MLE	Covenin	Eurocódigo	MAD	MLE-Covenin Diferencia %	MLE- Eurocodigo Diferencia %	MLE-MAD Diferencia %	Covenin- Eurocódigo Diferencia %	Covenin-MAD Diferencia %	Eurocódigo- MAD Diferencia %
10.00	21.20	21.20	21.20	31.40	0.00	0.00	32.48	0.00	32.48	32.48
30.00	21.20	21.20	21.20	64.30	0.00	0.00	67.03	0.00	67.03	67.03
50.00	31.40	31.40	31.40	86.80	0.00	0.00	63.82	0.00	63.82	63.82
80.00	45.30	45.30	38.80	113.00	0.00	14.35	59.91	14.35	59.91	65.66
100.00	53.80	53.80	45.30	143.00	0.00	15.80	62.38	15.80	62.38	68.32
120.00	64.30	64.30	53.80	178.00	0.00	16.33	63.88	16.33	63.88	69.78
150.00	76.80	76.80	76.80	198.00	0.00	0.00	61.21	0.00	61.21	61.21
180.00	86.80	97.30	76.80	198.00	10.79	11.52	56.16	21.07	50.86	61.21
200.00	97.30	113.00	86.80	242.00	13.89	10.79	59.79	23.19	53.31	64.13
250.00	124.00	124.00	113.00	260.00	0.00	8.87	52.31	8.87	52.31	56.54
300.00	143.00	159.00	124.00	286.00	10.06	13.29	50.00	22.01	44.41	56.64
350.00	178.00	178.00	159.00	321.00	0.00	10.67	44.55	10.67	44.55	50.47
400.00	198.00	198.00	178.00	347.00	0.00	10.10	42.94	10.10	42.94	48.70
450.00	212.00	226.00	198.00	-	6.19	6.60	-	12.39	-	-
500.00	242.00	260.00	212.00	-	6.92	12.40	-	18.46	-	-
550.00	260.00	286.00	242.00	-	9.09	6.92	-	15.38	-	-
600.00	286.00	321.00	260.00	-	10.90	9.09	-	19.00	-	-
750.00	347.00	-	321.00	-	-	-	-	-	-	-
800.00	-	-	347.00	-	-	-	-	-	-	-
Media					2.47	8.63	55.11	12.21	53.78	58.92

Tabla 51. Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles HEA Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robledo T. (2017)

Esta tabla da la referencia real entre las diferencias de área gruesas de perfiles HEA con acero A-36 para las metodologías estudiadas comparando en su totalidad tanto las variaciones de cada perfil individual como promedio de diferencias grupal para todas las cargas ultimas utilizadas. De los resultados se puede observar que los métodos más similares son el método de análisis directo del AISC con el método de resistencia por pandeo flexional propuesto en la norma COVENIN 1618-1998A, por su lado, el método de resistencia por pandeo reseñado en el Eurocodigo-3. Por último el método más alejados de los otros seria el método de análisis directo el cual muestra una gran variación en el área gruesa requerida para soportar una carga ultima

Diferencias de Área Gruesa (cm ²) entre las diferentes Metodos para Perfiles HEA de Acero A500Gr										
Pu (ton)	MLE	Covenin	Eurocódigo	MAD	MLE-Covenin Diferencia %	MLE- Eurocodigo Diferencia %	MLE-MAD Diferencia %	Covenin- Eurocodigo Diferencia %	Covenin-MAD Diferencia %	Covenin- MAD Diferencia %
10.00	21.20	21.20	21.20	31.40	0.00	0.00	32.48	0.00	32.48	32.48
30.00	21.20	21.20	21.20	53.80	0.00	0.00	60.59	0.00	60.59	60.59
50.00	31.40	25.30	25.30	76.80	19.43	19.43	67.06	0.00	67.06	67.06
80.00	38.80	38.80	31.40	97.30	0.00	19.07	60.12	19.07	67.73	67.73
100.00	38.80	45.30	38.80	113.00	14.35	0.00	59.91	14.35	65.66	65.66
120.00	45.30	53.80	45.30	124.00	15.80	0.00	56.61	15.80	63.47	63.47
150.00	53.80	64.30	53.80	133.00	16.33	0.00	51.65	16.33	59.55	59.55
180.00	64.30	76.80	64.30	159.00	16.28	0.00	51.70	16.28	59.56	59.56
200.00	76.80	76.80	64.30	178.00	0.00	16.28	56.85	16.28	63.88	63.88
250.00	86.80	97.30	86.80	198.00	10.79	0.00	50.86	10.79	56.16	56.16
300.00	113.00	113.00	97.30	212.00	0.00	13.89	46.70	13.89	54.10	54.10
350.00	124.00	124.00	113.00	242.00	0.00	8.87	48.76	8.87	53.31	53.31
400.00	133.00	143.00	124.00	260.00	6.99	6.77	45.00	13.29	52.31	52.31
450.00	159.00	159.00	143.00	286.00	0.00	10.06	44.41	10.06	50.00	50.00
500.00	178.00	178.00	159.00	321.00	0.00	10.67	44.55	10.67	50.47	50.47
550.00	198.00	198.00	178.00	321.00	0.00	10.10	38.32	10.10	44.55	44.55
600.00	212.00	212.00	198.00	347.00	0.00	6.60	38.90	6.60	42.94	42.94
750.00	260.00	286.00	242.00	-	9.09	6.92	-	15.38	-	-
800.00	286.00	286.00	260.00	-	0.00	9.09	-	9.09	-	-
Media					9.30	7.25	50.26	10.89	55.52	55.52

Tabla 52. Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles HEA Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Esta tabla da la referencia real entre las diferencias de área gruesas de perfiles HEA con acero A500GrC para las metodologías estudiadas comparando en su totalidad tanto las variaciones de cada perfil individual como promedio de diferencias grupal para todas las cargas ultimas utilizadas. De los resultados se puede observar que los métodos más similares son el método de análisis directo del AISC con el método de resistencia por pandeo reseñado en el Eurocodigo-3, por su lado, el método de resistencia por pandeo flexional propuesto en la norma COVENIN 1618-1998A. Por último el método más alejados de los otros seria el método de análisis directo el cual muestra una gran variación en el área gruesa requerida para soportar una carga ultima.

4.5.9.2 Para perfiles HEB

Diferencias de Área Gruesa (cm ²) entre los diferentes Metodos para Perfiles HEB Acero A-36										
Pu (ton)	MLE	Covenin	Eurocodigo	MAD	Covenin-MLE Diferencia %	Eurocodigo-MLE Diferencia %	MAD-MLE Diferencia %	Eurocodigo- Covenin Diferencia %	Covenin-MAD Diferencia %	Eurocodigo- MAD Diferencia %
10.00	26.00	26.00	26.00	34.00	0.00	0.00	23.53	0.00	23.53	23.53
30.00	26.00	26.00	26.00	65.30	0.00	0.00	60.18	0.00	60.18	60.18
50.00	34.00	34.00	34.00	91.00	0.00	0.00	62.64	0.00	62.64	62.64
80.00	43.00	54.30	43.00	118.00	20.81	0.00	63.56	20.81	53.98	63.56
100.00	54.30	54.30	54.30	149.00	0.00	0.00	63.56	0.00	63.56	63.56
120.00	65.30	65.30	65.30	161.00	0.00	0.00	59.44	0.00	59.44	59.44
150.00	78.10	78.10	78.10	181.00	0.00	0.00	56.85	0.00	56.85	56.85
180.00	91.00	91.00	91.00	218.00	0.00	0.00	58.26	0.00	58.26	58.26
200.00	106.00	106.00	91.00	218.00	0.00	14.15	51.38	14.15	51.38	58.26
250.00	118.00	131.00	106.00	254.00	9.92	10.17	53.54	19.08	48.43	58.27
300.00	149.00	149.00	131.00	286.00	0.00	12.08	47.90	12.08	47.90	54.20
350.00	161.00	171.00	149.00	306.00	5.85	7.45	47.39	12.87	44.12	51.31
400.00	198.00	198.00	171.00	334.00	0.00	13.64	40.72	13.64	40.72	48.80
450.00	218.00	218.00	198.00	371.00	0.00	9.17	41.24	9.17	41.24	46.63
500.00	239.00	254.00	218.00	400.00	5.91	8.79	40.25	14.17	36.50	45.50
550.00	254.00	270.00	239.00	-	5.93	5.91	-	11.48	-	-
600.00	286.00	306.00	254.00	-	6.54	11.19	-	16.99	-	-
750.00	371.00	371.00	334.00	-	0.00	9.97	-	9.97	-	-
800.00	371.00	371.00	371.00	-	0.00	0.00	-	0.00	-	-
Media					3.07	5.40	51.36	8.13	49.91	54.07

Tabla 53. Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles HEB Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robledo T. (2017)

Esta tabla da la referencia real entre las diferencias de área gruesas de perfiles HEB con acero A-36 para las metodologías estudiadas comparando en su totalidad tanto las variaciones de cada perfil individual como promedio de diferencias grupal para todas las cargas ultimas utilizadas. De los resultados se puede observar que los métodos más similares son el método de análisis directo del AISC con el método de resistencia por pandeo flexional propuesto en la norma COVENIN 1618-1998A, por su lado, el método de resistencia por pandeo reseñado en el Eurocodigo-3. Por último el método más alejados de los otros seria el método de análisis directo el cual muestra una gran variación en el área gruesa requerida para soportar una carga ultima.

Diferencias de Área Gruesa (cm ²) entre los diferentes Metodos para Perfiles HEB de Acero A500Gr										
Pu (ton)	MLE	Covenin	Eurocodigo	MAD	MLE-Covenin Diferencia %	MLE-Eurocodigo Diferencia %	MLE-MAD Diferencia %	Covenin- Eurocodigo Diferencia %	Covenin-MAD Diferencia %	Eurocodigo- MAD Diferencia %
10.00	26.00	26.00	26.00	34.00	0.00	0.00	23.53	0.00	23.53	23.53
30.00	26.00	26.00	26.00	54.30	0.00	0.00	52.12	0.00	52.12	52.12
50.00	26.00	26.00	26.00	78.10	0.00	0.00	66.71	0.00	66.71	66.71
80.00	34.00	43.00	43.00	106.00	20.93	20.93	59.43	0.00	59.43	59.43
100.00	43.00	43.00	43.00	118.00	0.00	0.00	63.56	0.00	63.56	63.56
120.00	54.30	54.30	54.30	131.00	0.00	0.00	58.55	0.00	58.55	58.55
150.00	65.30	65.30	54.30	149.00	0.00	16.85	56.17	16.85	56.17	63.56
180.00	65.30	78.10	65.30	171.00	16.39	0.00	54.33	16.39	54.33	61.81
200.00	78.10	78.10	78.10	181.00	0.00	0.00	56.85	0.00	56.85	56.85
250.00	91.00	106.00	91.00	218.00	14.15	0.00	51.38	14.15	51.38	58.26
300.00	106.00	118.00	106.00	239.00	10.17	0.00	50.63	10.17	50.63	55.65
350.00	118.00	131.00	118.00	254.00	9.92	0.00	48.43	9.92	48.43	53.54
400.00	149.00	149.00	131.00	270.00	0.00	12.08	44.81	12.08	44.81	51.48
450.00	149.00	161.00	149.00	286.00	7.45	0.00	43.71	7.45	43.71	47.90
500.00	171.00	181.00	161.00	334.00	5.52	5.85	45.81	11.05	45.81	51.80
550.00	198.00	198.00	171.00	334.00	0.00	13.64	40.72	13.64	40.72	48.80
600.00	218.00	218.00	198.00	371.00	0.00	9.17	41.24	9.17	41.24	46.63
750.00	254.00	270.00	239.00	-	5.93	5.91	-	11.48	-	-
800.00	270.00	286.00	254.00	-	5.59	5.93	-	11.19	-	-
Media					5.15	4.76	50.47	7.55	50.47	54.13

Tabla 54. Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles HEB Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robledo T. (2017)

Esta tabla da la referencia real entre las diferencias de área gruesas de perfiles HEB con acero A500GrC para las metodologías estudiadas comparando en su totalidad tanto las variaciones de cada perfil individual como promedio de diferencias grupal para todas las cargas ultimas utilizadas. De los resultados se puede observar que los métodos más similares son el método de análisis directo del AISC con el método de resistencia por pandeo reseñado en el Eurocodigo-3, por su lado, el método de resistencia por pandeo flexional propuesto en la norma COVENIN 1618-1998A. Por último el método más alejados de los otros seria el método de análisis directo el cual muestra una gran variación en el área gruesa requerida para soportar una carga ultima.

4.5.9.3 Para Perfiles Tubulares Cuadrados

Diferencias de Área Gruesa (cm ²) entre los diferentes Metodos para Perfiles Tubulares Cuadrados Acero A-36										
Pu (ton)	MLE	Covenin	Eurocodigo	MAD	MLE-Covenin Diferencia %	MLE-Eurocodigo Diferencia %	MLE-MAD Diferencia %	Covenin- Eurocodigo Diferencia %	Covenin-MAD Diferencia %	Eurocodigo- MAD Diferencia %
10.00	7.97	7.97	7.97	24.64	0.00	0.00	67.65	0.00	67.65	67.65
30.00	16.83	16.83	16.83	54.14	0.00	0.00	68.91	0.00	68.91	68.91
50.00	24.64	24.64	24.64	81.84	0.00	0.00	69.89	0.00	69.89	69.89
80.00	38.98	38.98	38.98	-	0.00	0.00	-	0.00	-	-
100.00	47.61	48.93	47.61	-	2.70	0.00	-	2.70	-	-
120.00	54.14	61.27	54.14	-	11.64	0.00	-	11.64	-	-
150.00	64.45	68.45	64.45	-	5.84	0.00	-	5.84	-	-
180.00	81.84	98.61	81.84	-	17.01	0.00	-	17.01	-	-
200.00	98.61	98.61	81.84	-	0.00	17.01	-	17.01	-	-
250.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
300.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
350.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
450.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
550.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
600.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
750.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
800.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Media					4.13	1.89	68.82	6.02	68.82	68.82

Tabla 55. Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles Cuadrados Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Esta tabla da la referencia real entre las diferencias de área gruesas de perfiles Tubulares Cuadrados con acero A-36 para las metodologías estudiadas comparando en su totalidad tanto las variaciones de cada perfil individual como promedio de diferencias grupal para todas las cargas ultimas utilizadas. De los resultados se puede observar que los métodos más similares son el método de análisis directo del AISC con el método de resistencia por pandeo reseñado en el Eurocodigo-3, por su lado, el método de resistencia por pandeo flexional propuesto en la norma COVENIN 1618-1998A. Por último el método más alejados de los otros seria el método de análisis directo el cual muestra una gran variación en el área gruesa requerida para soportar una carga ultima.

Diferencias de Área Gruesa (cm ²) entre los diferentes Metodos para Perfiles Tubulares Cuadrados de Acero A500Gr										
Pu (ton)	MLE	Covenin	Eurocodigo	MAD	MLE-Covenin Diferencia %	MLE-Eurocodigo Diferencia %	MLE-MAD Diferencia %	Covenin- Eurocodigo Diferencia %	Covenin-MAD Diferencia %	Eurocodigo- MAD Diferencia %
10.00	5.53	5.53	5.53	20.41	0.00	0.00	72.91	0.00	72.91	72.91
30.00	13.17	13.17	13.17	48.93	0.00	0.00	73.08	0.00	73.08	73.08
50.00	20.01	20.41	20.01	68.45	1.96	1.96	70.77	1.96	70.18	70.77
80.00	28.81	33.86	33.86	98.61	14.91	0.00	65.66	0.00	65.66	65.66
100.00	33.86	38.98	33.86	-	13.13	13.13	-	13.13	-	-
120.00	47.61	47.61	38.98	-	0.00	18.13	-	18.13	-	-
150.00	54.14	54.14	54.14	-	0.00	0.00	-	0.00	-	-
180.00	61.27	71.03	61.27	-	13.74	13.74	-	13.74	-	-
200.00	68.45	81.84	68.45	-	16.36	16.36	-	16.36	-	-
250.00	81.84	98.61	81.84	-	17.01	17.01	-	17.01	-	-
300.00	81.84	-	98.61	-	-	-	-	-	-	-
350.00	98.61	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
450.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
550.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
600.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
750.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
800.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Media					7.71	8.03	70.60	8.03	70.46	70.60

Tabla 56. Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles Cuadrados Acero A500Gr)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Esta tabla da la referencia real entre las diferencias de área gruesas de perfiles Tubulares Cuadrados con acero A500GrC para las metodologías estudiadas comparando en su totalidad tanto las variaciones de cada perfil individual como promedio de diferencias grupal para todas las cargas ultimas utilizadas. De los resultados se puede observar que los métodos más similares son el método de análisis directo del AISC con el método de resistencia por pandeo flexional propuesto en la norma COVENIN 1618-1998A, por su lado, el método de resistencia por pandeo reseñado en el Eurocodigo-3. Por último el método más alejados de los otros seria el método de análisis directo el cual muestra una gran variación en el área gruesa requerida para soportar una carga ultima.

4.5.9.4 Para Perfiles Tubulares Circulares

Diferencias de Área Gruesa (cm ²) entre los diferentes Metodos para Perfiles Tubulares Circulares Acero A-36										
Pu (ton)	MLE	Covenin	Eurocodigo	MAD	MLE-Covenin Diferencia %	MLE-Eurocodigo Diferencia %	MLE-MAD Diferencia %	Covenin- Eurocodigo Diferencia %	Covenin-MAD Diferencia %	Eurocodigo- MAD Diferencia %
10.00	5.71	8.18	8.18	24.92	30.20	30.20	77.09	0.00	67.17	67.17
30.00	17.31	17.31	17.31	54.52	0.00	0.00	68.25	0.00	68.25	68.25
50.00	24.92	24.92	24.92	82.96	0.00	0.00	69.96	0.00	69.96	69.96
80.00	37.60	38.47	34.39	-	2.26	9.33	-	10.61	-	-
100.00	48.67	48.67	48.67	-	0.00	0.00	-	0.00	-	-
120.00	54.52	64.22	54.52	-	15.10	0.00	-	15.10	-	-
150.00	69.61	72.01	64.22	-	3.33	8.39	-	10.82	-	-
180.00	82.96	100.79	82.96	-	17.69	0.00	-	17.69	-	-
200.00	100.79	100.79	82.96	-	0.00	21.49	-	17.69	-	-
250.00	-	-	100.79	-	-	-	-	-	-	-
300.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
350.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
450.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
550.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
600.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
750.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
800.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Media					7.62	7.71	71.77	7.99	68.46	68.46

Tabla 57. Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles Circulares Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Esta tabla da la referencia real entre las diferencias de área gruesas de perfiles Tubulares Circulares con acero A-36 para las metodologías estudiadas comparando en su totalidad tanto las variaciones de cada perfil individual como promedio de diferencias grupal para todas las cargas ultimas utilizadas. De los resultados se puede observar que los métodos más similares son el método de análisis directo del AISC con el método de resistencia por pandeo flexional propuesto en la norma COVENIN 1618-1998A, por su lado, el método de resistencia por pandeo reseñado en el Eurocodigo-3. Por último el método más alejados de los otros seria el método de análisis directo el cual muestra una gran variación en el área gruesa requerida para soportar una carga ultima.

Diferencias de Área Gruesa (cm ²) entre los diferentes Metodos para Perfiles Tubulares Circulares de Acero A500Gr										
Pu (ton)	MLE	Covenin	Eurocodigo	MAD	MLE-Covenin Diferencia %	MLE-Eurocodigo Diferencia %	MLE-MAD Diferencia %	Covenin- Eurocodigo Diferencia %	Covenin-MAD Diferencia %	Eurocodigo- MAD Diferencia %
10.00	4.87	5.71	5.71	20.64	14.71	14.71	76.41	0.00	72.34	72.34
30.00	10.89	13.56	13.56	48.67	19.69	19.69	77.62	0.00	72.14	72.14
50.00	13.56	17.38	17.38	69.61	21.98	21.98	80.52	0.00	75.03	75.03
80.00	30.64	30.64	30.64	100.79	0.00	0.00	69.60	0.00	69.60	69.60
100.00	34.39	34.39	34.39	-	0.00	0.00	-	0.00	-	-
120.00	48.67	48.67	38.47	-	0.00	20.96	-	20.96	-	-
150.00	54.52	54.52	48.67	-	0.00	10.73	-	10.73	-	-
180.00	64.22	64.22	54.52	-	0.00	15.10	-	15.10	-	-
200.00	69.61	69.61	64.22	-	0.00	7.74	-	7.74	-	-
250.00	82.96	82.96	82.96	-	0.00	0.00	-	0.00	-	-
300.00	100.74	-	100.74	-	-	0.00	-	-	-	-
350.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
450.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
500.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
550.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
600.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
750.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
800.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Media					5.64	10.08	76.04	5.45	72.28	72.28

Tabla 58. Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles Circulares Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Esta tabla da la referencia real entre las diferencias de área gruesas de perfiles Tubulares Circulares con acero A500GrC para las metodologías estudiadas comparando en su totalidad tanto las variaciones de cada perfil individual como promedio de diferencias grupal para todas las cargas ultimas utilizadas. De los resultados se puede observar que los métodos más similares son el método de análisis directo del AISC con el método de resistencia por pandeo flexional propuesto en la norma COVENIN 1618-1998A, por su lado, el método de resistencia por pandeo reseñado en el Eurocodigo-3. Por último el método más alejados de los otros seria el método de análisis directo el cual muestra una gran variación en el área gruesa requerida para soportar una carga ultima.

4.5.9.5 Para Perfiles W

Diferencias de Área Gruesa (cm ²) entre los diferentes Metodos para Perfiles W Circulares Acero A-36										
Pu (ton)	MLE	Covenin	Eurocodigo	MAD	MLE-Covenin Diferencia %	MLE-Eurocodigo Diferencia %	MLE-MAD Diferencia %	Covenin- Eurocodigo Diferencia %	Covenin-MAD Diferencia %	Eurocodigo- MAD Diferencia %
10.00	41.90	41.90	41.90	41.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30.00	41.90	41.90	41.90	102.00	0.00	0.00	58.92	0.00	58.92	58.92
50.00	41.90	41.90	41.90	108.00	0.00	0.00	61.20	0.00	61.20	61.20
80.00	102.00	102.00	102.00	108.00	0.00	0.00	5.56	0.00	5.56	5.56
100.00	102.00	102.00	102.00	134.00	0.00	0.00	23.88	0.00	23.88	23.88
120.00	102.00	102.00	102.00	146.00	0.00	0.00	30.14	0.00	30.14	30.14
150.00	102.00	102.00	102.00	235.00	0.00	0.00	56.60	0.00	56.60	56.60
180.00	102.00	102.00	102.00	235.00	0.00	0.00	56.60	0.00	56.60	56.60
200.00	102.00	102.00	102.00	235.00	0.00	0.00	56.60	0.00	56.60	56.60
250.00	116.00	134.00	110.00	235.00	13.43	5.17	42.98	17.91	42.98	53.19
300.00	146.00	182.00	146.00	331.00	19.78	0.00	45.02	19.78	45.02	55.89
350.00	182.00	182.00	182.00	363.00	0.00	0.00	49.86	0.00	49.86	49.86
400.00	182.00	235.00	182.00	363.00	22.55	0.00	35.26	22.55	35.26	49.86
450.00	235.00	235.00	235.00	411.00	0.00	0.00	42.82	0.00	42.82	42.82
500.00	235.00	249.00	235.00	489.00	5.62	0.00	49.08	5.62	49.08	51.94
550.00	249.00	319.00	249.00	489.00	21.94	0.00	34.76	21.94	34.76	49.08
600.00	319.00	319.00	249.00	552.00	0.00	21.94	42.21	21.94	42.21	54.89
750.00	363.00	363.00	319.00	622.00	0.00	12.12	41.64	12.12	41.64	48.71
800.00	363.00	411.00	363.00	622.00	11.68	0.00	33.92	11.68	33.92	41.64
Media					1.34	2.07	40.37	7.03	40.37	44.60

Tabla 59. Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles W Acero A-36)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Esta tabla da la referencia real entre las diferencias de área gruesas de perfiles W con acero A-36 para las metodologías estudiadas comparando en su totalidad tanto las variaciones de cada perfil individual como promedio de diferencias grupal para todas las cargas ultimas utilizadas. De los resultados se puede observar que los métodos más similares son el método de análisis directo del AISC con el método de resistencia por pandeo flexional propuesto en la norma COVENIN 1618-1998A, por su lado, el método de resistencia por pandeo reseñado en el Eurocodigo-3. Por último el método más alejados de los otros seria el método de análisis directo el cual muestra una gran variación en el área gruesa requerida para soportar una carga ultima.

Diferencias de Area Gruesa (cm ²) entre los diferentes Metodos para Perfiles HEB de Acero A500GrC										
Pu (ton)	MLE	Covenin	Eurocodigo	MAD	MLE-Covenin Diferencias %	MLE-Eurocodigo Diferencias %	MLE-MAD Diferencias %	Covenin- Eurocodigo Diferencias %	Covenin-MAD Diferencias %	Eurocodigo- MAD Diferencias %
10.00	41.90	41.90	41.90	41.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30.00	41.90	41.90	41.90	102.00	0.00	0.00	58.92	0.00	58.92	58.92
50.00	41.90	41.90	41.90	102.00	0.00	0.00	58.92	0.00	58.92	58.92
80.00	41.90	41.90	41.90	102.00	0.00	0.00	58.92	0.00	58.92	58.92
100.00	102.00	102.00	102.00	108.00	0.00	0.00	5.56	0.00	5.56	5.56
120.00	102.00	102.00	102.00	116.00	0.00	0.00	12.07	0.00	12.07	12.07
150.00	102.00	102.00	102.00	146.00	0.00	0.00	30.14	0.00	30.14	30.14
180.00	102.00	102.00	102.00	182.00	0.00	0.00	43.96	0.00	43.96	43.96
200.00	102.00	102.00	102.00	182.00	0.00	0.00	43.96	0.00	43.96	43.96
250.00	102.00	102.00	102.00	235.00	0.00	0.00	56.60	0.00	56.60	56.60
300.00	102.00	110.00	102.00	235.00	7.27	0.00	56.60	7.84	56.60	56.60
350.00	134.00	146.00	110.00	235.00	8.22	17.91	42.98	32.73	53.19	53.19
400.00	146.00	146.00	146.00	249.00	0.00	0.00	41.37	0.00	41.37	41.37
450.00	182.00	182.00	146.00	331.00	0.00	19.78	45.02	24.66	55.89	55.89
500.00	182.00	182.00	182.00	363.00	0.00	0.00	49.86	0.00	49.86	49.86
550.00	182.00	235.00	182.00	363.00	22.55	0.00	49.86	29.12	49.86	49.86
600.00	235.00	235.00	182.00	411.00	0.00	22.55	42.82	29.12	55.72	55.72
750.00	249.00	319.00	249.00	489.00	21.94	0.00	49.08	28.11	49.08	49.08
800.00	319.00	319.00	249.00	489.00	0.00	21.94	34.76	28.11	49.08	49.08
Media					3.16	4.33	41.13	9.46	43.67	43.67

Tabla 60. Diferencias de Área gruesa entre las diferentes Metodologías (Perfiles W Acero A500GrC)

Fuente. Acevedo M, Robleto T. (2017)

Esta tabla da la referencia real entre las diferencias de área gruesas de perfiles HEB con acero A-36 para las metodologías estudiadas comparando en su totalidad tanto las variaciones de cada perfil individual como promedio de diferencias grupal para todas las cargas ultimas utilizadas. De los resultados se puede observar que los métodos más similares son el método de análisis directo del AISC con el método de resistencia por pandeo flexional propuesto en la norma COVENIN 1618-1998A, por su lado, el método de resistencia por pandeo reseñado en el Eurocodigo-3. Por último el método más alejados de los otros seria el método de análisis directo el cual muestra una gran variación en el área gruesa requerida para soportar una carga ultima.

CONCLUSIONES

- Las columnas reales tienen imperfecciones geométricas iniciales, es por ello que la compresión no es rigurosamente axial, ocasionando la falla del miembro por la acción combinada de compresión axial y flexión (flexocompresión).
- Las metodologías para elementos de acero sometidos a compresión, llevan mucho tiempo en la misma filosofía de diseño, es por ello, que en la actualidad se ha venido reformando esta filosofía, a partir de la aplicación del método de análisis directo.
- La herramienta computacional tipo Excel permitió realizar el diseño de columnas de perfiles HEA, HEB, Wide Flanges, Tubulares Circulares y Cuadradas, bajo las normativas AISC360-10, COVENIN 1618-1998, Eurocódigo 3, lo que facilitó la obtención de los resultados.
- Las metodologías convencionales que son: el método de la longitud efectiva, método de resistencia por pandeo flexional y método de resistencia al pandeo, suponen fallas únicas por pandeo; y el factor de la longitud efectiva toma valores más cercanos a 0,5; y para el método de análisis directo, se supone una falla de flexo-compresión y a su vez acepta el desplazamiento lateral de la Columna, adicionalmente considera el factor de la longitud efectiva con un valor igual a 1, y un utiliza único factor de disminución de rigidez teniendo como valor 0,8.
- De las metodologías estudiadas, se tiene que la más conservadora es la del método de análisis directo, ya que en la comparación de las diferencias de Área gruesa entre el resto de las metodologías, está reflejando un aumento promedio de la sección del 42% respecto a los otros métodos
- El área gruesa en las metodologías convencionales difiere en un promedio de 8% respecto al método de análisis directo incluso, para algunos tipos de perfiles este promedio baja hasta un 2,5%.

- La relación de esbeltez, la diferencia del método análisis directa con los métodos convencionales para perfiles HEA y HEB es de un 13% en promedio, para los perfiles Tubulares (Circulares y Cuadrados) y Wide Flange este promedio asciende a un 22%. Respecto a los métodos convencionales esta no excede el 10% de diferencia en ninguno de los perfiles estudiados.
- De los cinco perfiles estudiados, los perfiles HEA y HEB son los más óptimos ante solicitaciones de compresión axial, ya que presentan un comportamiento más uniforme y predecible en su relación de esbeltez a medida que se varía el área gruesa requerida para soportar una carga.
- El método de pandeo flexional descrito en la norma COVENIN 1618-1998A, en relación al método de análisis directo descrito en la norma AISC360-16, es mucho menos conservador ya que utiliza una área gruesa menor en un 57% en promedio para todos los perfiles; sin embargo, este método está por encima en un promedio cercano al 6% que los otros métodos presentados en el AISC y en el Eurocodigo-3, lo cual le da cierto margen de seguridad al diseño.
- Los métodos convencionales se consideran más apropiados en comparación al método de análisis directo, ya que este último es poco factible económica y estéticamente, debido a que este aumenta las secciones al más del doble para la mayoría de los perfiles.

RECOMENDACIONES

- Desarrollar un estudio más minucioso sobre método análisis directo en el cual se considere tanto carga como desplazamiento lateral en los elementos estudiados.
- Desarrollar un estudio teórico-práctico de elementos sometidos a esfuerzos de compresión axial, para identificar cuál de las metodologías se asemeja más a la realidad.
- Empezar una investigación teórica tomando en cuenta las tensiones residuales de los elementos de acero laminados en frío, con cargas por imperfecciones geométricas.
- En el futuro se deben realizar investigaciones con elementos de acero a compresión axial sometidos a cargas sísmicas, que permitan asegurar la estabilidad de la estructura.
- Realizar estudios a columnas no arriostrada y no empotradas en sus bases; como también, a pórticos no arriostrados.
- Se debería realizar un refinamiento en el cálculo de la rigidez efectiva de los nudos de la columna que considere las imperfecciones geométricas de las mismas para obtener un valor de K más cercano a las condiciones reales.
- Se deberían desarrollar formulaciones para el cálculo de K que consideren las excentricidades en las cargas y los posibles efectos de segundo orden en el elemento, para considerar la longitud real de deformación de la columna cuando en esta ocurre la falla por pandeo.
- Iniciar un estudio en el cual se incluya todos los tipos de cargas existentes para estructuras de acero en la actualidad.
- Proponer un estudio para la actualización del método de resistencia por pandeo flexional descrito en la norma Venezolana COVENIN 1618-1998A.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alvarez O. y Chazaro C (2013) **Miembros en Compresión**, México; Editorial Gerdau Corsa.
- American Institute of Steel Construction (2010) **Specification for Structural Steel Buildings ANSI/AISC 360-10**, Estados Unidos.
- Arias F. (2006) **El Proyecto de Investigación**, Caracas-Venezuela, Editorial Episteme, Quinta Edición.
- Balestrini M. (2002) **Como se elabora el proyecto de investigación**, Caracas-Venezuela, Editorial BL Consultores Asociados, Quinta Edición.
- Bavaresco A. (2002) **Proceso metodológico en la investigación (Cómo hacer un diseño de investigación)**. Maracaibo, Venezuela, Editorial Ediluz.
- Comité Europeo de Normalización (2008) **Eurocodigo 3: Proyectos de estructura de acero**, España.
- Gutierrez G. y Elmi F. (2016) **Análisis del factor de longitud efectiva para elementos comprimidos en estructuras de acero**, Maracaibo-Venezuela, Universidad Rafael Urdaneta.
- Hurtado, J. (2008). **El proyecto de investigación. Metodología de la Investigación. Holística**. Caracas, Venezuela. Ediciones Quiron-Sypal.
- Mayorga C. (2011) **Caracterización mecánica y modelamiento estructural de un disipador pasivo de energía**, Colombia, Univerdad Nacional de Colombia.
- McCormac J. y Csernak S (2013) **Diseño de Estructuras de Acero**, México, Editorial Alfaomega, Quinta Edición.
- Ministerio de Desarrollo Urbano (1998) **Estructuras de acero para edificaciones: Métodos de los estados limite COVENIN 1618-1998**, Venezuela.
- Popov E. (1992) **Introducción a la mecánica de sólidos**, México, Editorial Limusa, Segunda Edición.

Tamayo y Tamayo (2003) **Proceso de la investigación científica, México, Editorial Noriega Editores**, Cuarta Edición.

Vinnakota S (2006) Estructuras de Acero: **Comportamiento y LRFD, México, Editorial McGraw-Hill Interamericana**, Primera Edición.