Universidad Latina de Costa Rica Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Civil

Propuesta de trabajo final de graduación para optar por el grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Modalidad Tesis

Determinación de los esfuerzos críticos de pandeo local y distorsional de acuerdo con el método de resistencia directa para perfiles nacionales.

Sustentante:

Yendry Paola Murillo Medina

San Pedro, Montes de Oca

Enero, 2022



CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Puntarenas, 17/12/201

Señores Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Determinación de los esfuerzos críticos de pandeo local y distorsional de acuerdo con el método de resistencia directa para perfiles nacionales., elaborado por el (los) estudiante(s): Yendry Paola Murillo Medina como requisito para que el (los) citado(s) estudiante(s) puedan optar por grado académico de Licenciatura en carrera de Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente, WILSON ALBERTO GONZÁLEZ ARROYO

Wilson González Arroyo



CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL LECTOR DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Puntarenas, 17/12/201

Señores Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Determinación de los esfuerzos críticos de pandeo local y distorsional de acuerdo con el método de resistencia directa para perfiles nacionales., elaborado por el (los) estudiante(s): Yendry Paola Murillo Medina como requisito para que el (los) citado(s) estudiante(s) puedan optar por grado académico de Licenciatura en carrera de Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,

LUIS ALEJANDRO Firmado digitalmente por LUIS ALEJANDRO CARVAJAL SOTO CARVAJAL SOTO (FIRMA) (FIRMA) Fecha: 2022.01.20 14:58:10-06'00'

Luis Alejandro Carvajal



CARTA DE APROBACIÓN POR PARTE DEL TUTOR DEL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Puntarenas,17/12/2021 Señores Miembros del Comité de Trabajos Finales de Graduación SD

Estimados señores:

He revisado y corregido el Trabajo Final de Graduación, denominado: Determinación de los esfuerzos críticos de pandeo local y distorsional de acuerdo con el método de resistencia directa para perfiles nacionales, elaborado por el (los) estudiante(s): Yendry Paola Murillo Medina como requisito para que el (los) citado(s) estudiante(s) pueda optar por grado académico de Licenciatura en carrera de Ingeniería Civil.

Considero que dicho trabajo cumple con los requisitos formales y de contenido exigidos por la Universidad, y por tanto lo recomiendo para su defensa oral ante el Consejo Asesor.

Suscribe cordialmente,



Gerardo Chacón Rojas

DECLARACIÓN JURADA

Yo, Yendry Paola Murillo Medina estudiante de la Universidad Latina de Costa Rica, declaro bajo la fe de juramento y consciente de las responsabilidades penales de este acto, que soy Autor Intelectual de la Tesis. Titulado:

Determinación de los esfuerzos críticos de pandeo local y distorsional de acuerdo con el método de resistencia directa para perfiles nacionales.

Por lo que librero a la Universidad de cualquier responsabilidad en caso de que mi declaración sea falsa.

Firmo en Puntarenas, 17/12/2021

Yendry Paola Murillo Medina

Licencia De Distribución No Exclusiva (carta de la persona autora para uso didáctico) Universidad Latina de Costa Rica

Yo (Nosotros): Yendry Paola Murillo Medina

De la Carrera / Programa:	Ingeniería Civil
Modalidad de TFG:	Tesis
Titulado:	Determinación de los esfuerzos críticos de pandeo local y distorsional de acuerdo con el método de resistencia directa para perfiles nacionales

Al firmar y enviar esta licencia, usted, el autor (es) y/o propietario (en adelante el "AUTOR"), declara lo siguiente: PRIMERO: Ser titular de todos los derechos patrimoniales de autor, o contar con todas las autorizaciones pertinentes de los titulares de los derechos patrimoniales de autor, en su caso, necesarias para la cesión del trabajo original del presente TFG (en adelante la "OBRA"). SEGUNDO: El AUTOR autoriza y cede a favor de la UNIVERSIDAD U LATINA S.R.L. con cédula jurídica número 3-102-177510 (en adelante la "UNIVERSIDAD"), quien adquiere la totalidad de los derechos patrimoniales de la OBRA necesarios para usar y reusar, publicar y republicar y modificar o alterar la OBRA con el propósito de divulgar de manera digital, de forma perpetua en la comunidad universitaria. TERCERO: El AUTOR acepta que la cesión se realiza a título gratuito, por lo que la UNIVERSIDAD no deberá abonar al autor retribución económica y/o patrimonial de ninguna especie. CUARTO: El AUTOR garantiza la originalidad de la OBRA, así como el hecho de que goza de la libre disponibilidad de los derechos que cede. En caso de impugnación de los derechos autorales o reclamaciones instadas por terceros relacionadas con el contenido o la autoría de la OBRA, la responsabilidad que pudiera derivarse será exclusivamente de cargo del AUTOR y este garantiza mantener indemne a la UNIVERSIDAD ante cualquier reclamo de algún tercero. QUINTO: El AUTOR se compromete a guardar confidencialidad sobre los alcances de la presente cesión, incluyendo todos aquellos temas que sean de orden meramente institucional o de organización interna de la UNIVERSIDAD SEXTO: La presente autorización v cesión se regirá por las leves de la República de Costa Rica. Todas las controversias, diferencias, disputas o reclamos que pudieran derivarse de la presente cesión y la materia a la que este se refiere, su ejecución, incumplimiento, liquidación, interpretación o validez, se resolverán por medio de los Tribunales de Justicia de la República de Costa Rica, a cuyas normas se someten el AUTOR y la UNIVERSIDAD, en forma voluntaria e incondicional. SÉPTIMO: El AUTOR acepta que la UNIVERSIDAD, no se hace responsable del uso, reproducciones, venta y distribuciones de todo tipo de fotografías, audios, imágenes, grabaciones, o cualquier otro tipo de

presentación relacionado con la OBRA, y el AUTOR, está consciente de que no recibirá ningún tipo de compensación económica por parte de la UNIVERSIDAD, por lo que el AUTOR haya realizado antes de la firma de la presente autorización y cesión. OCTAVO: El AUTOR concede a UNIVERSIDAD., el derecho no exclusivo de reproducción, traducción y/o distribuir su envio (incluyendo el resumen) en todo el mundo en formato impreso y electrónico y en cualquier medio, incluyendo, pero no limitado a audio o video. El AUTOR acepta que UNIVERSIDAD. puede, sin cambiar el contenido, traducir la OBRA a cualquier lenguaje, medio o formato con fines de conservación. NOVENO: El AUTOR acepta que UNIVERSIDAD puede conservar más de una copia de este envío de la OBRA por fines de seguridad, respaldo y preservación. El AUTOR declara que el envío de la OBRA es su trabajo original y que tiene el derecho a otorgar los derechos contenidos en esta licencia. DÉCIMO: El AUTOR manifiesta que la OBRA v/o trabajo original no infringe derechos de autor de cualquier persona. Si el envío de la OBRA contiene material del que no posee los derechos de autor, el AUTOR declara que ha obtenido el permiso irrestricto del propietario de los derechos de autor para otorgar a UNIVERSIDAD los derechos requeridos por esta licencia, y que dicho material de propiedad de terceros está claramente identificado y reconocido dentro del texto o contenido de la presentación. Asimismo, el AUTOR autoriza a que en caso de que no sea posible, en algunos casos la UNIVERSIDAD utiliza la OBRA sin incluir algunos o todos los derechos morales de autor de esta. SI AL ENVÍO DE LA OBRA SE BASA EN UN TRABAJO QUE HA SIDO PATROCINADO O APOYADO POR UNA AGENCIA U ORGANIZACIÓN QUE NO SEA UNIVERSIDAD U LATINA, S.R.L., EL AUTOR DECLARA QUE HA CUMPLIDO CUALQUIER DERECHO DE REVISIÓN U OTRAS **OBLIGACIONES REQUERIDAS POR DICHO CONTRATO O ACUERDO. La presente** autorización se extiende el día 17 de Diciembre de 2021 a las 13 horas

Firma del estudiante(s):

Agradecimientos

Primeramente, le agradezco a Dios por darme salud y sabiduría para enfrentar esta etapa de mi vida, no hay palabras para expresar mi gratitud a mi madre, hermana y tía Lupe, por siempre apoyarme, por sus consejos y siempre estar presentes en todo momento durante mi vida

Agradezco a mi tutor de tesis, el Ingeniero Gerardo Chacón Rojas quien con su conocimiento, experiencia y visión me oriento durante el proceso de la realización de esta investigación.

Mis agradecimientos infinitos a Izabella Rivas Mejías, quien me acompaño en muchas pruebas durante nuestra formación en la universidad como Ingenieras Civiles.

Finalmente, le agradezco de corazón a todos, que de una manera u otra se involucraron y colaboraron en el proceso de este trabajo de investigación.

Dedicatoria

Le dedico este trabajo de investigación a mi madre quien ha sido el motor de mi vida y a mi padre que donde quiera que este espero este orgulloso de su hija.

A mis sobrinos quienes representar la nueva generación y el futuro de mi familia y de una provincia.

Resumen

El presente trabajo de investigación determinara los esfuerzos críticos de pandeo local y distorsional utilizando la ayuda del programa CFSM el cual implica mucha importancia debido a que la metodología utilizada es una de las más resientes publicadas y es que el laminado en frio es inevitable el pandeo local y distorsional por ello es de suma importancia los esfuerzos crítico de los elementos en C y Z tanto como los tubulares que son los más usados en Costa Rica.

La metodología utilizada el cual consiste en conocer todas las instabilidades elásticas es decir, local, distorsional y global, conjuntamente con la determinación de la carga o el momento que causa la fluencia del acero de la sección , entonces la resistencia puede determinar directamente, además en el estudio general de los perfiles y mediante la curva tradicional nos mostrará la relación entre cargas (Py/Pcl, Py/Pcd, My/Mcl ,My/Mcd), también se mostrara la aplicación del método de resistencia directa según el AISI S100-16 en donde se determinó los esfuerzos críticos de pandeo local y distorsional mostrados en tablas que permiten la lectura más rápida de dichos datos reforzados con las curvas de los esfuerzos críticos contra deformación de pandeo.

Abstract

This research work will determine the critical stresses of local and distortionary buckling using the help of the CFSM program which implies great importance because the methodology used is one of the most recent published and is that cold rolling is inevitable local buckling and distortion, therefore, the critical stresses of the elements in C and Z are of the utmost importance, as well as the tubular ones that are the most used in Costa Rica.

The methodology used which consists in knowing all the elastic instabilities, that is, local, distortionary and global, together with the determination of the load or the moment that causes the creep of the steel in the section. then the resistance can be determined directly, also in the general study of the profiles and by means of the traditional curve it will show us the relationship between loads (Py/Pcl, Py/Pcd, My/Mcl,My/Mcd), The application of the direct resistance method according to AISI S100-16 will also be shown, where the critical forces of local and distortionary buckling were determined, shown in tables that allow faster reading of said data reinforced with the curves of the critical forces against deformation. buckling.

TABLA DE CONTENIDOS

Tabla de contenido

CAPÍTULO	I. PROBLEMA Y PROPÓSITO	1
1.1 F	PROBLEMA Y PROPÓSITO	2
1.1. A	Antecedentes del problema	2
1.2. F	Planteamiento del problema de estudio	4
1.2.1.	. Enunciado del problema	4
1.2.2.	. Formulación del problema	5
1.3. J	lustificación	6
1.4. (Objetivos	7
1.4.1.	Objetivo general	7
CAPÍTULO	II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA10	C
2.1 F	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA1	1
2.1.	Esfuerzos de Pandeo1	1
2.2.	Método de resistencia directa14	4
2.3.	Teoría del elemento finito2	1
2.4.	Análisis de franjas finitas2	3
CAPÍTULO	III. MARCO METODOLÓGICO2	5
3.1 N	Marco Metodológico20	6
3.1.	Definición del enfoque y método de investigación20	6
3.2.	Sujetos y fuentes de información20	6
3.2.1.	. Institución americana de construcción de acero (AISC)20	6
3.2.2. confo	. Especificación norteamericana para el diseño de elementos estructurales de acero	7
3.2.3.	Asociación Latinoamericana del Acero	8
3.3.	Definición de variables	8
3.4.	Instrumentos y técnicas utilizadas en la recolección de los datos	9
3.4.1.	CUFSM	9
3.5.	Sustentación de la confiabilidad y validez de los instrumentos de la investigación29	9
CAPÍTULO	IV. Análisis	1
4.1 A	Análisis3	2

4.1. Determinación de los esfuerzos críticos de pando local y distorsional32
4.1.1. Paso 1. Aporte32
4.1.2. Paso 2. Análisis35
1.5. Aplicación del método de resistencia directa considerando las cargas críticas de pandeo
1.6.Aplicación del método de resistencia directa considerando los momentos críticos depandeo
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
Conclusiones
Recomendaciones
REFERENCIAS
ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coeficientes aproximados de pandeo para placas rectangulares largas en compresión
axial13
Tabla 2: Datos obtenidos del programa CUFSM
Tabla 3: Resultados obtenidos del ejercicio para el elemento Z de 100x50x15mm con un espesorde 0,237mmiError! Marcador no definido.
Tabla 4: Resultados obtenidos del ejercicio para el elemento Z de 100x50x15mm con un espesorde 0,237mm
Tabla 5: Datos obtenidos del programa CUFSM para elemento en C 70x38x12mm t=0,120cm48
Tabla 6: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 70x38x12mm t=0,150cm49
Tabla 7: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 70x38x15mm t=0,120cm49
Tabla 8: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 70x50x15mm t=0,150cm50
Tabla 9: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 70x50x15mm t=0,237cm51
Tabla 10: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 70x50x15mm t=0,120cm51
Tabla 11: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 100x50x15mm t=0,150cm52
Tabla 12: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 100x50x15mm t=0,237cm53
Tabla 13: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 100x50x15mm t=0,317cm53
Tabla 14: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 150x50x15mm t=0,150cm54
Tabla 15: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 150x50x15mm t=0,237cm55
Tabla 16: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 150x50x15mm t=0,317cm55
Tabla 17: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 200x50x15mm t=0,150cm56
Tabla 18: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 200x50x15mm t=0,237cm57
Tabla 19: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 200x50x15mm t=0,317cm57
Tabla 20: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 70x38x12mm t=0,120cm58
Tabla 21: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 70x38x12mm t=0,150cm59
Tabla 22: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 70x50x12mm t=0,120cm59
Tabla 23: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 70x50x12mm t=0,150cm60
Tabla 24: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 100x50x15mm t=0,120cm61
Tabla 25: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 100x50x15mm t=0,150cm61
Tabla 26: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 100x50x15mm t=0,180cm62

Tabla 27: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 200x50x15mm t=0,150cm ...63Tabla 28: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 200x50x15mm t=0,180cm ...63Tabla 29: Datos obtenidos del programa CUFSM pandeo para el elemento Z 100x50x15mm t=0,180cm65

Tabla 30: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z 100x50x15mm t=0,237cm ...65 Tabla 31: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z 100x50x15mm t=0,317cm ...66 Tabla 32: Datos obtenidos del programa CUFSM ara el elemento Z 150x50x15mm t=0,150cm67 Tabla 33: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z 150x50x15mm t=0,237cm ...67 Tabla 34: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z 150x50x15mm t=0,317cm ...68 Tabla 35: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z 200x50x15mm t=0,150cm ...69 Tabla 36: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z 200x50x15mm t=0,237cm ...69 Tabla 37: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z 200x50x15mm t=0,317cm ...70 Tabla 38: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z 300x90x15mm t=0,150cm ...71 Tabla 38: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z 300x90x15mm t=0,237cm ...71 Tabla 39: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z 300x90x15mm t=0,317cm ...72 Tabla 40: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z 350x90x15mm t=0,150cm ...73 Tabla 41: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z 350x90x15mm t=0,237cm ...73 Tabla 42: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z 350x90x15mm t=0,317cm ...74 Tabla 43: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 23x96mm t=0,150cm......75 Tabla 44: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 23x96mm t=0,180cm......75 Tabla 45: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 25x75mm t=0,150cm......76 Tabla 46: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 25x75mm t=0,180cm......77 Tabla 47: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 38x50mm t=0,180cm......77 Tabla 48: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 38x75mm t=0,150cm......78 Tabla 49: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 38x75mm t=0,180cm......79 Tabla 50: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 48x72mm t=0,150cm......79 Tabla 51: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 48x72mm t=0,180cm......80 Tabla 52: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 48x72mm t=0,237cm......81 Tabla 53: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 48x96mm t=0,150cm.......81 Tabla 54: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 48x96mm t=0,180cm......82 Tabla 55: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 48x96mm t=0,237cm......83
 Tabla 56: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 48x96mm t=0,317cm......83
 Tabla 57: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x150mm t=0,150cm.............84 Tabla 58: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x150mm t=0,180cm.......85 Tabla 59: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x150mm t=0,237cm.......85 Tabla 60: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x150mm t=0,317cm.............86 Tabla 61: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x150mm t=0,475cm......87 Tabla 62: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x200mm t=0,237cm.............87 Tabla 64: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 100x150mm t=0,237cm..........89 Tabla 65: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 100x150mm t=0,317cm.......89 Tabla 66: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 100x150mm t=0,475cm.......90 Tabla 67: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 100x200mm t=0,237cm.......91 Tabla 68: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 100x200mm t=0,317cm.......91 Tabla 69: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 100x200mm t=0,475cm.......92 Tabla 72: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x50mm t=0,180cm.......94 Tabla 73: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x50mm t=0,237cm......95 Tabla 74: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x50mm t=0,317cm......95 Tabla 75: Propiedades y esfuerzos críticos de pandeo para elementos nacionales en C norma Tabla 76: Propiedades y esfuerzos críticos de pandeo para elementos nacionales en Z norma Tabla 77: Propiedades y esfuerzos críticos de pandeo para elementos tubulares nacionales norma

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Pandeo local	12
Figura 2. Pandeo distorsional	14
Figura 3. Elemento Finito	22
Figura 4. Curva de ejemplo de método finito	24
Figura 5. Ejemplos de análisis de pandeo elástico por flexión y compresión con método de franj	as
finitas	24
Figura 6. Paso 1.1	32
Figura 7. Paso 1.2	33
Figura 8. Paso 1.3	33
Figura 9. Paso 1.4	34
Figura 10. Pasos para realizar el análisis	35
Figura 11. Análisis de elemento C en compresión	35
Figura 12. Repetición del paso 1.3 para fuerza axial	36
Figura 13. Análisis del elemento en C considerando fuerza axial	37
Figura 14: Columna de 2 metros	38
Figura 15: Viga de 4 metros de largo	43
Figura 16: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
70x38x12mm	48
Figura 17: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
70x38x12mm t=0,150cm	49
Figura 18: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
70x38x15mm t=0,120cm	50
Figura 19: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
70x50x15mm t=0,150cm	50
Figura 20: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
70x50x15mm t=0,237cm	51
Figura 21: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
70x50x15mm t=0,120cm	52
Figura 22: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
100x50x15mm t=0,150cm	52
Figura 23: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
100x50x15mm t=0,237cm	53
Figura 24: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
100x50x15mm t=0,317cm	54
Figura 25: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
150x50x15mm t=0,150cm	54
Figura 26: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
150x50x15mm t=0,237cm	55

Figura 27: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
150x50x15mm t=0,317cm	.56
Figura 28: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
200x50x15mm t=0,150cm	.56
Figura 29: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
200x50x15mm t=0,237cm	.57
Figura 30: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
200x50x15mm t=0,317cm	.58
Figura 31: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
70x38x12mm t=0,120cm	.58
Figura 32: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
70x38x12mm t=0,150cm	.59
Figura 33: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
70x50x12mm t=0,120cm	.60
Figura 34: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
70x50x12mm t=0,150cm	.60
Figura 35: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
100x50x15mm t=0,120cm	.61
Figura 36: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
100x50x15mm t=0,150cm	.62
Figura 38: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
200x50x15mm t=0,150cm	.63
Figura 39: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C	
200x50x15mm t=0,180cm	.64
Figura 40: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z	
100x50x15mm t=0,150cm	.65
Figura 41: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z	
100x50x15mm t=0,237cm	.66
Figura 42: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z	
100x50x15mm t=0,317cm	.66
Figura 43: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z	
150x50x15mm t=0,150cm	.67
Figura 44: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z	
150x50x15mm t=0,237cm	.68
Figura 45: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z	
150x50x15mm t=0,317cm	.68
Figura 46: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z	
200x50x15mm t=0,150cm	.69
Figura 47: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z	
200x50x15mm t=0,237cm	.70
Figura 48: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z	
200x50x15mm t=0,317cm	.70

Figura 49: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z	
300x90x15mm t=0,150cm	71
Figura 50: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z	
300x90x15mm t=0,237cm	72
Figura 51: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z	
300x90x15mm t=0,317cm	72
Figura 52: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z	
350x90x15mm t=0,150cm	73
Figura 53: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z	
350x90x15mm t=0,237cm	74
Figura 54: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z	
350x90x15mm t=0,317cm	74
Figura 55: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
23x96mm t=0,150cm	75
Figura 56: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
23x96mm t=0,180cm	76
Figura 57: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
25x75mm t=0,150cm	76
Figura 58: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
25x75mm t=0,180cm	77
Figura 59: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el	
elemento38x50mm t=0,180cm	78
Figura 60: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
38x75mm t=0,150cm	78
Figura 61: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
38x75mm t=0,180cm	79
Figura 62: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
48x72mm t=0,150cm	80
Figura 63: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
48x72mm t=0,180cm	80
Figura 64: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
48x72mm t=0,237cm	81
Figura 65: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
48x96mm t=0,150cm	82
Figura 66: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
48x96mm t=0,180cm	82
Figura 67: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
48x96mm t=0,237cm	83
Figura 68: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
48x96mm t=0,317cm	84
Figura 69: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
50x150mm t=0,150cm	84

Figura 70: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
50x150mm t=0,180cm	85
Figura 71: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
50x150mm t=0,237cm	86
Figura 72 : Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	86
Figure 72: Curves de les esfuerzes critice centre defermación de pandeo para el elemente	
Figura 75. Curvas de los esiderzos cífico contra deformación de para el elemento	67
Sur 24: Cupyes de les esfuerzes critice centre defermación de pandeo para el elemente	07
Figura 74: Curvas de los estuerzos cífico contra deformación de pandeo para el elemento	00
Suzzoumini t=0,237cm	
50x200mm t=0.317cm	88
Figura 76 : Curvas de los esfuerzos crítico contra deformación de pandeo para el elemento	
100x150mm t=0.237cm	89
Figura 77 : Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
100x150mm t=0,317cm	90
Figura 78 : Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
100x150mm t=0,475cm	90
Figura 79: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
100x200mm t=0,237cm	91
Figura 80: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
100x2000mm t=0,317cm	92
Figura 81: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
100x2000mm t=0,475cm	92
Figura 82: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
50x50mm t=0,120cm	93
Figura 83: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
50x50mm t=0,150cm	94
Figura 84: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
50x50mm t=0,180cm	94
Figura 85: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
50x50mm t=0,237cm	95
Figura 86: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento	
50x50mm t=0,317cm	96

CAPÍTULO I. PROBLEMA Y PROPÓSITO

1.1 PROBLEMA Y PROPÓSITO

1.1. Antecedentes del problema.

Actualmente, en nuestro país existe muy poco estudio relativo sobre el comportamiento de los elementos de acero laminados en frio y contamos con una tradición de diseño de 1996 por lo tanto se ha diseñado igual por muchos años.

Uno de los primeros trabajos relacionados al estudio de los elementos laminados en frio fue por Soto (1984) denominado "Estudio y diseño de elementos en acero doblado en frio" para optar por el grado de licenciatura de ingeniería civil en el cual presenta la explicación de procedimientos tanto a mano como en calculadora programable para elementos laminados en frio.

En el 2007 se publica en la revista Ingeniería el artículo "Capacidad estructural de juntas T de perfiles de acero laminado en frio", realizado por Romanjek. En el mismo se estudió el comportamiento de cuatro conexiones de viga-columna ante carga cíclica. Es precisamente a partir de los resultados de esta investigación que surge la necesidad de desarrollar un proyecto donde se apliquen las conexiones estudiadas a una estructura tipo marco.

En 2010, Oviedo elaboró su tesis para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción en el tema "Desarrollo de una herramienta para el diseño de elementos estructurales de acero laminado en frio basado en la norma AISI 2007 y por el método LRFD". En este trabajo se tomaron en cuenta perfiles tipo C y tubos estructurales que se consiguen el país ya que estos perfiles son ampliamente usados, debido a su capacidad de soportar estructuras livianas, poseen un manejo fácil, poco peso y lo más importante su facilidad con que se consiguen en el mercado, también se programaron las propiedades geométricas de los perfiles necesario de diseño una hoja de cálculo en Microsoft Excel siguiendo la normativa AISI del 2007.

En el 2011, Villar elaboró su tesis para por el grado de Licenciatura Civil titulado "Comportamiento estructural de marcos de acero laminado en frío con uniones reforzados mediante placas bajo carga cíclica". Este trabajo se centró en comprobar que la sección propuesta 100 mm x 200 mm x 3,17 mm y las uniones reforzadas cumplieran con los requerimientos de resistencia de la estructura, basándose en las especificaciones de los códigos correspondientes, además y construyeron cuatro marcas de acero laminado en frio, a escala natural, a los cuales se le realizaron los ensayos de carga lateral cíclica.

En el 2017 se publica en la revista ALCONPAT un artículo titulado "Ampliación del método de resistencia directa para dimensionar paredes de marco de acero" preparado por Kubde y Sangle. En el mismo se estudió dos métodos para dimensionar piezas de marco de acero en este articulo denominados por CFS, como el método del Método del Ancho Efectivo y el Método de la resistencia directa DSM siendo este una alternativa del primero mencionado.

1.2. Planteamiento del problema de estudio

A criterio de Létourneau (2007), se entiende como planteamiento de un problema el elegir una manera de abordar un tema de investigación, en adoptar y delimitar una perspectiva a partir de la cual uno pueda acercarse y comprender un tema de estudio, en el caso específico del presente trabajo el planteamiento del problema a los esfuerzos críticos de pandeo local y distorsional de acuerdo con el método de resistencia directa para perfiles nacionales para lo cual se detallará a continuación:

1.2.1. Enunciado del problema

Esta investigación busca determinar los esfuerzos críticos de pandeo local y distorsional de acuerdo con el método de resistencia directa para perfiles nacionales como el C, Z y tubos, además se generarán tablas que permitan la lectura directa de los esfuerzos críticos.

Los esfuerzos críticos de pandeo al pandeo local (fenómeno que consiste en una distorsión de la sección transversal que imposibilita el equilibrio de las fuerzas actuantes, produciendo una falla en forma prematura) y torsional (fenómeno que se produce en componentes estructurales formados por secciones muy delgadas sometidas a flexión, para los que al llegar a un valor del momento flector actuante (momento crítico) cambia repentinamente la forma de deformarse de flexión a flexo-torsión).Estos tipos de pandeo de elementos acero laminados en frio tienden a sobresalir mucho ya que en esta época son de los más utilizados por ello es necesario la generación de curvas de los esfuerzos críticos contra la de pandeo local, que nos permitan observar el comportamiento de estos esfuerzo, dichas curvas se realizaran con la ayuda de software como CUFSM.

Los perfiles C, Z y tubulares presentan diferentes propiedades, por lo tanto, se realizará una comparación mediante la metodología de resistencia directa también llamado MDS.

4

1.2.2. Formulación del problema

A la luz de lo expuesto hasta ahora y tomando en cuenta el poco estudio que hay sobre la Metodología de resistencia directa se pretende responder a la siguiente pregunta:

¿Cuáles son los esfuerzos críticos de pandeo local y distorsional de acuerdo con el método de resistencia directa para perfiles nacionales?

1.3. Justificación

Es de suma importancia la investigación planteada debido a que esta metodología de resistencia directa es una de las más resientes publicadas.

En el laminado en frio es inevitable el pandeo local por ende la determinación de los esfuerzos críticos y el análisis del pandeo local y distorsional por medio de la metodología de resistencia directa es de suma importancia para así saber qué es lo que nos proporciona el método para perfiles abiertos como C y Z, pero, también es necesario ampliar los conocimientos en perfiles cerrados como los tubulares ya que son de los más usados en Costa Rica.

En 1986 sólo se tomaba en cuenta el pandeo local y el pandeo global, pero en el 2016 gracias al método de resistencia directa obtenemos los dos antes mencionados y se le suma uno más que se denomina pandeo distorsional, estos tres ocurren en longitudes diferentes de tal manera que es necesario estudiar la longitud de un elemento y así determinar donde ocurren cada uno de los pandeos, el modo y la forma que toma la estructura geométrica que este obtiene dentro de la pieza de acero, en este caso lo que más nos importa son los esfuerzos obtenidos de cada tipo de pandeo ya que el método de resistencia directa depende de ello para así poder generar las tablas y curvas de dichos esfuerzos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar los esfuerzos críticos de pandeo local y distorsional de acuerdo con el método de resistencia directa para perfiles nacionales.

1.4.2. Objetivos específicos

Generar tablas que permitan la lectura directa de los esfuerzos críticos.

Generar las curvas de los esfuerzos críticos contra deformación de pandeo.

Realizar una comparación entre los perfiles en C, en Z y tubulares.

Determinar la resistencia utilizando el método de resistencia directa.

1.5. Alcances y limitaciones

1.5.1. Alcances

Los alcances del presentes estudio es investigar los datos que se pueden obtener por medio de la metodología de resistencia directa analizando los elementos de laminado en frio, así como los esfuerzos críticos de pandeo local y distorsional.

Por otro lado, se realizarán curvas de deformación debido al pandeo de los elementos con la ayuda del software, análisis de las estructuras de acero y el software CUFSM este es específicamente para perfiles C y Z.

1.5.2. Limitaciones

Las limitaciones de la presente investigación se deben principalmente a que la mayoría los elementos laminados en frio que usamos en Costa Rica no son ASTM-A563, además que pese a que se va a tener resultados muy interesantes estos no serán exactos ya que los elementos con los que contamos no tienen las mismas propiedades.

1.6. Delimitaciones

1.6.1. Delimitación espacial

Se efectuarán las tablas necesarias para la lectura de los esfuerzos críticos mediante el programa de EXCEL, además con estas tablas se podrán generar las gráficas para los diferentes tipos de pandeo mediante el software CUFSM

1.6.2. Delimitación temporal

El presente estudio se realizará a mediados del 2021 hasta diciembre del 2021 utilizando las fuentes de información disponibles hasta estas fechas. CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Esfuerzos de Pandeo

La tensión de pandeo elástica o las tensiones resultantes se utilizan ampliamente en la especificación para la determinación de la resistencia. El pandeo y los elementos de acero conformados incluyen modos de pandeo global tradicionales como pandeo por flexión y pandeo lateral-torsional, así como modos de pandeo que incluyen deformación transversal como pandeo local y pandeo por distorsión.

Primeramente, es importante saber que existen diferentes tipos de pandeo en esta investigación nos interesan el pandeo local y distorsional.

2.1.1. Pandeo local

Por su parte, McCormac Stepjen F.Csernak (2012) cita en el libro "Diseño de Estructuras de Acero" en el cual determino lo siguiente:

Pandeo local ocurre cuando alguna parte o partes de la sección transversal de la 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.

Con respecto al concepto anterior es importante considerar que la inestabilidad del miembro se debe porque las placas de la sección transversal se vuelven inestables, además que las secciones a compresión de los elementos se clasifican como elementos esbeltos y no esbeltos.

En la figura 1 puede observarse una sección de perfil que presenta pandeo local.

Figura 1. Pandeo local



Fuente: Propia

Para realizar el cálculo del pandeo local mediante la teoría del pandeo de placas de un elemento de acero como el anterior se emplean las ecuaciones de tensión critica de pandeo de placas considerando a estas como apoyadas en sus bordes si este está unido a otro elemento de la sección o libre si no lo está.

Para cada elemento se utiliza la siguiente ecuación:

$$\sigma = k \frac{\pi^2 E}{12(1-v^2)} \left(\frac{t}{b}\right)^2$$

Donde:

- E = Modulo de elasticidad del material.
- v = Coeficiente de Poisson.
- t = Espesor de placa.
- b = Ancho de placa.
- k = Coeficiente de pandeo local.

El coeficiente de pandeo local k depende de las condiciones de borde de los lados largos, los valores pueden obtenerse a partir de la tabla 1.

Tabla 1. Coeficientes aproximados de pandeo para placas rectangulares largas en compresión axial.



Fuente: Universidad Latina de Costa Rica.

Con el método de franjas finitas, es posible obtener valores para la resistencia en flexión considerando el pandeo local

Para

2.1.2. Pandeo distorsional

El pandeo por distorsión implica tanto traslación como potencialmente rotación en la línea de plegado de un miembro. El pandeo por distorsión implica la distorsión de una parte de la sección transversal y una respuesta predominantemente rígida de una segunda parte, ocurre en un pandeo de media longitud de onda intermedia a modos de pandeo local y global.

La media longitud de onda es típicamente varias veces mayor que la dimensión característica más grande del miembro, sin embargo, Lcrd depende en

gran medida tanto de la carga como de la geometría. Para algunos miembros, el pandeo por distorsión puede no implicar la distorsión de la sección transversal.

Figura 2. Pandeo distorsional



Fuente: Propia

2.2. Método de resistencia directa

2.2.1. Resistencia axial nominal considerando pandeo lateral torsional

La resistencia axial nominal para la fluencia y el pandeo global se calcularán de acuerdo con las siguientes disposiciones:

$$P_{ne} = A_g F_n$$

Donde:

 $A_g =$ Área total

 $F_n \;=\;$ esfuerzo de compresión y se calculará de la siguiente manera

Para $\lambda_c \leq 1.5$

$$F_n = \left(0.658^{\lambda_c^2}\right) F_y$$

Para $\lambda_c > 1.5$

$$F_n = \left(\frac{0.877}{\lambda_c^2}\right) F_y$$

Donde:

$$\lambda_{\rm c} = \sqrt{\frac{F_{\rm y}}{F_{\rm cre}}}$$

 $F_y =$

 F_{cre} = Esfuerzo de pandeo lateral – torsional elastico critico

$$F_{\rm cre} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

Donde:

E = Modulo de elasticidad del acero

K = Factor de longitud efectivo

L =Longitud del miembro sin arriostramiento lateral

r = Radio de giro de la sección transversal completa no reducida alrededor del eje de pandeo.

2.2.2. Resistencia a la flexión considerando pandeo lateral torsional

La resistencia nominal, Mne , considerando la capacidad de reserva de flexión inelástica es permitido ser considerado de acuerdo con las siguientes disposiciones:

Para
$$M_{cre} > 0.56 M_y$$

Para 2.78 $M_y \ge M_{cre} \ge 0.56 My$

$$M_{ne} = \frac{10}{9} M_y \left(1 - \frac{10M_y}{36M_{cre}} \right)$$

Para $M_{cre} > 2.78 M_{v}$

$$M_{ne} = M_{\nu}$$

Donde:

M_{cre} = Momento crítico de pandeo lateral elástico de torsión

$$= S_f F_{cre}$$

Donde:

 $S_f = Modulo de seccion elastica de la seccion transversal no reducida$

 F_{cre} = Esfuerzo de pandeo lateral – torsional elastico critico

$$F_{cre} = \frac{C_b r_o A}{S_f} \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t}$$

Donde:

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C}$$

Donde:

M_{max} = valor absoluto de momento máximo en sección sin apoyo

 $M_A =$ valor absoluto de momento en el punto al cuarto de sección sin apoyo

 $M_B = valor$ absoluto de sección en la línea central de sección sin apoyo

 M_C

= valor absoluto de momento absoluto en el punto a los tres cuartos de seccion sin apoyo

 $r_o = Radio polar de giro de la sección transversal sobre el centro de corte$
$$= \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + x_0^2}$$

Donde

 r_x, r_y

= radio de giro de la sección transversal sobre ejes principales centroidales

A = Área total de la sección sin reducir.

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(K_y L_y / r_y\right)^2}$$

Donde:

E = Modulo de elasticidad del acero

 $K_y = factor de longitud efectivo para doblar sobre el eje y$

 $L_y = Longitud del miembro sin arriostrar para doblar sobre el eje y$

$$\sigma_t = \frac{1}{Ar_0} \left[GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right]$$

- G = Módulo de corte del acero
- J = Constante de torsión de Saint-Venant de la sección transversal
- $C_w = Constante de alabeo torsional de la sección transversal$
- $K_t = Factor de longitud efectivo para torcer$
- $L_t = Longitud del miembro sin arriostrar para torcer$

2.2.3. Resistencia a la flexión considerando pandeo local

La resistencia nominal a la flexión, para considerar la interacción del pandeo local se determinará de la siguiente manera:

Para $\lambda_{\ell} \leq 0.776$

$$M_{n\ell} = M_{ne}$$

Para $\lambda_{\ell} > 0.776$;

$$M_{n\ell} = \left[1 - 0.15 \left(\frac{M_{cr\ell}}{M_{ne}}\right)^{0.4}\right] \left(\frac{M_{cr\ell}}{M_{ne}}\right)^{0.4} M_{ne}$$

En donde:

$$\lambda_{\ell} = \sqrt{M_{ne}/M_{cr\ell}}$$

 $M_{ne}\ =\ Resistencia\ nominal\ a\ la\ flexión\ para\ pandeo\ por\ torsión\ lateral$

 $M_{cr\ell} = Momento crítico de pandeo local elástico$

2.2.4. Resistencia axial nominal considerando pandeo local

Para el método de resistencia directa, la resistencia a la flexión, Pnl, para el pandeo local se calculará de acuerdo con miembros sin agujeros

Miembros sin agujero

Para $\lambda_{\ell} \leq 0.776$;

$$P_{n\ell} = P_{ne}$$

Para $\lambda_{\ell} > 0.776$;

$$P_{n\ell} = \left[1 - 0.15 \left(\frac{P_{cr\ell}}{P_{ne}}\right)^{0.4}\right] \left(\frac{P_{cr\ell}}{P_{ne}}\right)^{0.4} P_{ne}$$

En donde:

$$\lambda_{\ell} = \sqrt{P_{ne}/P_{cr\ell}}$$

 $P_{ne} = Fuerza global de la columna$

 $P_{cr\ell} = Carga \, critica \, de \, pandeo \, de \, la \, columna \, local \, elástica$

2.2.5. Resistencia axial nominal considerando pandeo distorsional

La resistencia a la flexión, Pdn para pandeo por distorsión se calculará para secciones tipo I, Z, C y otros miembros de sección transversal abierta que emplean bridas de borde, como el método a emplear será el de resistencia directa el factor de seguridad aplicable será 0.80.

La resistencia a la flexión, Pnd, para pandeo por distorsión se calculará de acuerdo con la normativa AISI ESTÁNDAR (2016):

Para $\lambda_d \leq 0.561$;

$$P_{nd} = P_y$$

Para $\lambda_d \leq 0.561$;

$$Pnd = [1 - 0.25 \left(\frac{P_{crd}}{P_y}\right)^{0.6}] \left(\frac{P_{crd}}{P_y}\right)^{0.6} P_y$$

Donde:

$$\lambda_{\ell} = \sqrt{P_{y}/P_{crd}}$$

Donde

$$P_y = A_g F_y$$

Donde:

$$A_g = Area bruta de la seccion transversal$$

 $F_y = Estrés de rendimiento$

 P_{crd} = Carga crítica de pandeo de la columna de distorsión elástica

2.2.6. Resistencia a la flexión considerando el pandeo distorsional.

En la resistencia nominal a flexión Mnd, el factor de seguridad aplicable será de 0.90 y y de acuerdo con la normativa AISI ESTÁNDAR (2016), se calcula con la siguiente ecuación:

Para $\lambda_d \leq 0.673$

$$M_{nd} = M_y$$

Para $\lambda_d > 0.673$

$$M_{nd} = \left[1 - 0.22 \left(\frac{M_{crd}}{M_y}\right)^{0.5}\right] \left(\frac{M_{crd}}{M_y}\right)^{0.5} M_y$$

Donde:

$$\lambda_d = \sqrt{M_y/M_{cdr}}$$
$$M_y = S_{fy}F_y$$

Donde:

 $S_{fy} = Modulo de sección elastica de la sección transversal completa no reducida <math>F_y = Estres de rendimiento$

 $M_{crd} = S_f F_{crd}$

Donde:

 S_f = Modulo de seccion elastica de la seccion transversal no reducidad F_{crd} = Esfuerzo de pandeo por deformacion elastica

2.3. Teoría del elemento finito

Por su parte Guerreo M y Valderrábano S. (1999) cita en el artículo "Aplicación del método de elemento finito al análisis nodal" lo siguiente:

El concepto básico de este método es el de dividir el continuo en un numero finito de elementos, es decir discretizar el continuo y resolver sobre cada uno de los elementos las ecuaciones del sistema para después ensamblar la solución total. El método fue propuesto primero en 1943 pero no fue hasta 1956 que se presentaron los primeros resultados obtenidos con este método.

Para construir un modelo numérico se define un umero finito de puntos, los cuales podrán estar unidos después por líneas para formar superficies y sólidos y de esta manera la geometría a estudiar. Estos puntos son llamados nodos, estos se encuentran en las fronteras de los elementos que se generaron por la discretización del continuo, además son los responsables de mantener la continuidad al mantener unidos a los elementos. El sistema es ahora un conjunto de elementos unidos mediante nodos.

Con respecto al concepto anterior es muy importante que gracias a la tecnología hoy en día tenemos diferentes programas que nos ayudan a realizar este método y así realizarlo en menor tiempo y se genera un análisis más concreto, además que modelos de elementos finitos de elementos de acero conformados en frío desarrollados a partir de placas o cubiertas finitas. Los

21

elementos son capaces de proporcionar soluciones de pandeo adecuadas para local, distorsión y pandeo global.



Figura 3. Elemento Finito

Fuente: Obtenida de Blog ESSS

2.4. Análisis de franjas finitas

En la norma AISI-2016 se determina lo siguiente:

El método semi-analítico de bandas finitas es una solución numérica que utiliza la flexión de placas tiras para discretizar una sección transversal de acero conformado en frío. Para un modelo con un extremo simplemente apoyado condiciones de contorno, un análisis de pandeo de banda finita conduce a la curva de firma del miembro que proporciona las cargas o momentos de pandeo elásticos locales, de Distorsión y globales según sea necesario en la Especificación. Cada modo de pandeo está asociado con una forma de sección transversal particular y un pandeo de media longitud de onda que, en conjunto, proporcionan una descripción completa del modo de pandeo.

Con respecto a lo anterior es importante recalcar que el análisis de banas finitas es una variante especializada del método de elementos finitos, para estabilidad elástica de las estructuras de acero conformadas en frio y es uno de los métodos más eficientes.

En la siguiente figura se proporciona un ejemplo de curva de firma para un canal con labios en compresión pura.

Figura 4. Curva de ejemplo de método finito



Fuente: Obtenida de la norma AISI-2016

Figura 5.Ejemplos de análisis de pandeo elástico por flexión y compresión con método de franjas finitas



Fuente: Obtenida de la norma AISI-2016

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Marco Metodológico

3.1. Definición del enfoque y método de investigación

Esta investigación tiene como enfoque determinar en una sola grafica los diferentes modos de Pandeo utilizando ecuaciones muy similares lograr determinar los diferentes estados límites para el momento y la compresión ya que son los afectados por los efectos del pandeo.

El proyecto se llevará a cabo en San Pedro, Costa Rica y se seguirá la norma americana de Instituto Americano del hierro y el acero (AISI).

3.2. Sujetos y fuentes de información

3.2.1. Institución americana de construcción de acero (AISC)

El Instituto Americano de Construcción de Acero (AISC), con sede en Chicago, es un instituto técnico y una asociación comercial no partidista y sin fines de lucro establecida en 1921 para servir a la comunidad de diseño de acero estructural y la industria de la construcción en los Estados Unidos. La misión de AISC es hacer del acero estructural el material de elección al ser el líder en actividades técnicas y de creación de mercado relacionadas con el acero estructural, incluido el desarrollo de especificaciones y códigos, investigación, educación, asistencia técnica, certificación de calidad, estandarización, desarrollo de mercado y Abogacía. AISC tiene una larga tradición de servicio a la industria de la construcción de acero proporcionando información oportuna y confiable.

Como parte de la misión de AISC, enfatizamos:

- Incrementar la participación de la industria del acero estructural en el mercado de la construcción.
- Unificando la industria con un propósito común

 Apoyar y mejorar la capacidad de la industria del acero estructural para ser innovadora y competitiva en un mercado mundial de la construcción.

Desde su creación, AISC ha llevado a cabo sus numerosas actividades con un escrupuloso sentido de responsabilidad pública. Por esta razón, y debido al alto calibre de su personal, el Instituto disfruta de una estrecha relación de trabajo con arquitectos, ingenieros, oficiales de códigos y educadores que reconocen su estatus profesional en los campos de redacción de especificaciones, investigación estructural, desarrollo de diseños y estándares de desempeño.

AISC representa la experiencia, el juicio y la fuerza totales de toda la industria nacional de fabricantes, distribuidores y productores de acero. Ningún miembro de la industria podría lograr el alcance y el éxito de sus actividades. La nación comparte las recompensas de estas actividades, a través de edificios, puentes y otras estructuras mejores, más seguras y económicas enmarcadas en acero estructural.

3.2.2. Especificación norteamericana para el diseño de elementos estructurales de acero conformados en frío

Es la norma más común en Estados Unidos Esta especificación proporciona un tratamiento integrado de diseño de resistencia permisible (ASD), carga y Diseño de Factor de Resistencia (LRFD) y Diseño de Estados Límite (LSD). Esto se logra mediante incluyendo los factores de resistencia apropiados (ϕ) para usar con LRFD y LSD y el apropiado factor de seguridad (Ω) para usar con ASD.

La especificación proporciona procedimientos bien definidos para el diseño de portadores de carga conformados en frío elementos de acero en edificios, así como otras aplicaciones, siempre que se disponga de las tolerancias adecuadas para efectos dinámicos. Las disposiciones reflejan los resultados de la investigación continua para desarrollar información nueva y mejorada sobre el comportamiento estructural de los elementos de acero conformados en frío.

3.2.3. Asociación Latinoamericana del Acero

Es una entidad civil sin fines de lucro que representa a la Cadena de Valor del Acero Latinoamericano (empresas productoras de acero, ferromineras y afines) y refleja los atributos de innovación y sustentabilidad que distinguen a la industria latinoamericana. Ha sido reconocida como Organismo Internacional No Gubernamental por parte del Gobierno de la República de Chile, país sede de la Secretaría General, y como Organismo Consultor Especial por las Naciones Unidas.

Desde sus inicios, fundado en el año 1959 como el Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero, siempre promovió los valores de una integración regional del sector para fortalecer y defender los intereses y derechos de la industria del acero. Esos mismos valores son los que hoy sustentan y dan origen a la Asociación, esta asociación tiene un manual que da pautas para el diseño de elementos laminados en frío.

Variable	Definición Conceptual	Definición
		Operativa
Esfuerzos críticos	Cociente entre la carga	Curvas de los esfuerzos
Pandeo Local	crítica de pandeo y el	críticos contra
Pandeo	área de su sección	deformación de pandeo.
distorsional	transversal.	
		Método de resistencia
		directa.
		Herramienta CUFSM

3.3. Definición de variables

3.4. Instrumentos y técnicas utilizadas en la recolección de los datos.

3.4.1. CUFSM

Es el método de bandas finitas restringidas y no restringidas y fue desarrollado originalmente por Ben Schafer en 1997.

Para una sección transversal de pared delgada arbitraria, CUFSM puede proporcionar eficientemente todos los modos y cargas de pandeo elástico de la sección transversal y del miembro para cualquier acción final aplicada (compresión, doblado, alabeo, etc.).

CUFSM proporciona tanto el método de banda finita semianalítica para la creación de la curva de firma de la sección transversal como el método de banda finita generalizada para otras condiciones de límite de los extremos (por ejemplo, extremos sujetos). De manera única, CUFSM proporciona una implementación completa del método de tira finita restringida que permite al usuario realizar una descomposición e identificación modal cuantitativa que, por ejemplo, proporciona un medio preciso para separar los modos de pandeo local, distorsionante y global en miembros de paredes delgadas.

CUFSM incluye herramientas para análisis y carga generalizados de vigas y columnas. Se han agregado varias herramientas complementarias a CUFSM, incluido el desarrollo de superficies plásticas para secciones transversales bajo carga arbitraria, análisis de pandeo global independiente con fórmula de viga clásica y una interfaz para generar archivos de entrada ABAQUS con imperfecciones de sección transversal basadas en modos de pandeo CUFSM.

3.5. Sustentación de la confiabilidad y validez de los instrumentos de la investigación

Lo primero sé que realizará es una recopilación de las características geométricas de los perfiles que se pueden conseguir en Costa Rica, ya obtenidas

las propiedades se van a procesar por medio de las metodologías e el caso de las secciones abiertas a través del programa CUFSM sobre el cual estaríamos dibujando las curvas de pandeo para cada una de ellas y de ahí se extraerá la información de los esfuerzos críticos, este será nuestro segundo paso, ya con eso se estaría estableciendo los valores de momento nominal para pandeo local y pandeo distorsional.

CAPÍTULO IV. Análisis

4.1 Análisis

4.1. Determinación de los esfuerzos críticos de pando local y distorsional.

Para este trabajo se tomo en cuenta los perfiles C, Z y tubulares laminados en frio fabricados en Costa Rica.

Para el elemento en C de 70x38x12mm con un espesor de 1,50mm, mediante el programa CUFSM se mostraran los pasos realizados para la obtención de datos.

4.1.1. Paso 1. Aporte

1.1. Como primer paso se colocan las propiedades del acero como se muestra en la siguiente imagen el cuadro resaltado en rojo, únicamente se edita el módulo de elasticidad el cual corresponde a 29500ksi

Figura 6. Paso 1.1



Fuente: Programa CUFSM

1.2. Procedemos a editar las dimensiones del elemento en estudio como se muestra en siguiente imagen



Figura 7. Paso 1.2

Fuente: Programa CUFSM

1.3. Luego se procede a la aplicación de stress en la cual utilizamos un Fy de 33ksi que es el utilizado en Costa Rica para elementos laminados en frio, damos click en el Py la cual nos indicara la fuerza aplicada en compresión como se muestra en la siguiente imagen

Figura 8. Paso 1.3

CUFSM v5.04 Applied Stress Generator	- a ×
CUFSM File View 1. Input 2. Analysis 3. Output Extra Tools	₩₩ 〒★ 約90 ? 米×
Reference Applied Loads First Yield Calculator p= 12.0775 B = 0 principal or ergeometric principal and ergeometric M11 = 0 Mox = 0 M22 = 0 Mox = 0 M22 = 0 Mox = 0	2 4801 108534 40455
Generate from Stress Read from Mastan Push buttons to use first yield as	demand
Submit Stress to in ? X Reference Cross-section Stress	at Options:
	= 0

Fuente: Programa CUFSM

Damos click en el botón verde para que se guarde los datos del elemento.

1.4. Luego se revisan las longitudes y condición de limite final, en esta ventada únicamente debemos de verificar el tipo de solución que queremos en la cual debe de estar activa la curva de firma que es la manera tradicional y la condición de frontera que en nuestro caso es simple en ambos lados.

CUFSM v5.04 Finite Strip Pre-Processor E	Boundary Conditions Input		-
CURSM File View 1. Input 2. Analysis	S. Output Extra loois	M 11 A	లీ © ం ? ఈ ×
			VID C BA
Во	undary Condition Selection		Longitudinal Shape Function Viewer
Solution type:		?	lengths
 Signature curve (traditional) 	O General boundary condition solution		← length = 1 →
Boundary Conditions	simple-simple (S-S)	~ ?	longitudinal terms
Number of eigenvalues	20	?	longitudinai termis
Half-wavelengths and Default longitu	udinal term m=1	?	1
Length			Highlight the shape of selected longitudinal term
1.00		^	
3.00			← m=1 →
4.00			
6.00			$Y_m = \sin(m\pi y/L), m=1$
7.00			
8.00			
9.00			
10.00			
12.00			
13.00			
14.00			
15.00			
20.00			
30.00			
50.00			
60.00			
70.00			
80.00		× (

Figura 9. Paso 1.4

Fuente: Programa CUFSM

4.1.2. Paso 2. Análisis

1.1. Seguidamente damos click en el paso dos el cual consiste en realizar el análisis del elemento

Figura 10. Pasos para realizar el análisis

	★ 🖉 🏘 🏘 IOI 🐠 🖞 🕂	(?) Ø ○ ? X ×
Boundary Condition S	Selection	Longitudinal Shape Function Viewer
Solution type:	?	lengths
Signature curve (traditional) General b	oundary condition solution	← length = 1 →
Boundary Conditions	simple	- X Ionoitudinal terms
Half-wavelengths and Default longitudinal term m=1 Length 1 00 2 00 3 00 4 00	Analysis results already exist Yes No	enform analysis anyway? Cancel the shape of selected longitudinal term
5:00 6:00 7:00 8:00 9:00 11:00 11:00 11:00 12:00 14:00 14:00 14:00 15:00 20:00 20:00 30:00 40:00 50:00 10:00		Y _m = sin(msylL), m=1



Luego nos muestra la relación de la carga **Py** y la carga critica de pandeo local y distorsional

Figura 11. Análisis de elemento C en compresión.



Fuente: Programa CUFSM

De aquí se determina que en compresión vamos a tener una condición en donde el Pandeo local falla primero y al momento de diseñar una estructura se debe de tomar en cuenta el pandeo local y no Py.

1.2. Luego para la resistencia a la flexión nos devolvemos al paso 1.3 y en lugar de dar click en Py damos click en M11y si se proceden a realizar los mismos pasos



Figura 12. Repetición del paso 1.3 para fuerza axial

Fuente: Programa CUFSM

En la parte de análisis nos muestra la relación de entre la carga y el momento crítico de pandeo local y distorsional como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 13. Análisis del elemento en C considerando flexión.



Fuente: Programa CUFSM

De aquí determina que en flexión vamos a tener una condición en donde el Pandeo distorsional falla primero y al momento de diseñar una estructura se debe de tomar en cuenta el pandeo local y no My.

Tabla 2:	Datos	obtenidos	del	programa	CUFSM
----------	-------	-----------	-----	----------	-------

	C 70x38x12mm t= 0,150cm								
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM			DATOS: O	btenidos	s del prog	grama C	UFSM		
Py = P _{crl} /Py = P _{crd} /Py =	12,07 2,18 2,41	kip P _{crl} = P _{crd} =	26,31 29,09	kip kip	My = M _{crl} /My = M _{crd} /My =	10,85 7,18 4,04	kip-in M _{crl} = M _{crd} =	77,90 43,83	kip-in kip-in

Fuente: Propia

De los datos obtenido en el programa mostrados en la tabla anterior determinamos la carga critica de pandeo local y distorsional, también el momento crítico por pandeo local y distorsional los cuales son necesarios para aplicar el método de resistencia directa.

1.5. Aplicación del método de resistencia directa considerando las cargas críticas de pandeo.

Enunciado del ejercicio.

Se tiene una columna en C de 70x38x12mm la cual mide 2m de largo y se encuentra empotrada abajo y articulada arriba como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 14: Columna de 2 metros.



Fuente: Propia

Gracias al programa se obtuvo la carga crítica local el cual es de 26,31 kip y la carga critica distorsional de 29,09 kip.

Datos generales

$$Ag = 2,38 \ cm^2$$

$$Ag = 2,38 \ cm^2 / 6,452 = 0,369 \ in^2$$

$$F_y = 33 \ ksi$$

$$L = 200 \ cm / 2,54 = 78,7409 \ in$$

$$k = 0,8$$

$$E = 29500 \ ksi$$

$$r = 2,75 \ cm / 2,54 = 1,0827 \ in$$

$$P_y = 12,07 \ kip$$

Se procede a realizar el cálculo de la resistencia a compresión considerando el pando lateral torsional mediante la siguiente ecuación:

$$P_{ne} = A_g F_n$$

Para $\lambda_c \leq 1.5$

$$F_n = \left(0.658^{\lambda_c^2}\right) F_y$$

Para $\lambda_c > 1.5$

$$F_{n} = \left(\frac{0.877}{\lambda_{c}^{2}}\right) F_{y}$$

Donde:

$$\lambda_{c} = \sqrt{\frac{F_{y}}{F_{cre}}}$$

$$F_{\rm cre} = \frac{\pi^2 E}{(\rm KL}/r)^2}$$

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 \, 29500 \text{ksi}}{(0.8 \, \text{x} \, 78.7409 \text{in} \, / 1.0827 \text{ in})^2}$$

$$F_{cre} = 86 \, ksi$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{33 \, ksi}{86 \, ksi}}$$

$$\lambda_c = 0.6194$$

Como $\lambda_c\,$ es menos que 1,5 se procede a utilizar la siguiente ecuación:

$$F_n = (0.658^{\lambda_c^2}) F_y$$

$$F_n = (0.658^{0,6194^2}) 33 \, ksi$$

$$F_n = 19,6452 \, ksi$$

Ya obteniendo estos datos se realiza el cálculo de la resistencia a la compresión considerando el pandeo lateral torsional

$$P_{ne} = A_g F_n$$

 $P_{ne} = 0,369 \text{ in }^2 * 19,6452 \text{ ksi}$
 $P_{ne} = 7,248 \text{ kips}$

Cálculo de la resistencia axial nominal considerando el pandeo local

Para $\lambda_\ell \leq 0.776$;

$$P_{n\ell} = P_{ne}$$

Para $\lambda_\ell > 0.776$;

$$P_{n\ell} = \left[1 - 0.15 \left(\frac{P_{cr\ell}}{P_{ne}}\right)^{0.4}\right] \left(\frac{P_{cr\ell}}{P_{ne}}\right)^{0.4} P_{ne}$$

En donde:

$$\lambda_{\ell} = \sqrt{P_{ne}/P_{cr\ell}}$$
$$\lambda_{\ell} = \sqrt{7,248 \text{ kip}/26,31 \text{ kip}}$$
$$\lambda_{\ell} = 0,52$$

Como es menor a 0,776 la resistencia axial nominal considerando pandeo local es igual a la resistencia axial nominal considerando pandeo lateral torsional.

$$P_{n\ell} = P_{ne}$$

Cálculo de la resistencia axial nominal considerando el pandeo distorsional se realiza mediante las siguientes ecuaciones:

Para $\lambda_d \leq 0.561$;

$$P_{nd} = P_y$$

Para $\lambda_d > 0.561;$

$$Pnd = [1 - 0.25 \left(\frac{P_{crd}}{P_{y}}\right)^{0.6}] \left(\frac{P_{crd}}{P_{y}}\right)^{0.6} P_{y}$$

Donde:

$$\lambda_{\ell} = \sqrt{P_{y}/P_{crd}}$$
$$\lambda_{\ell} = \sqrt{12,07 \text{ kip}/29,09 \text{ kip}}$$
$$\lambda_{\ell} = 0,6642$$

Como es mayor a 0,561 se utiliza la siguiente ecuación:

$$Pnd = [1 - 0.25 \left(\frac{P_{crd}}{P_y}\right)^{0.6}] \left(\frac{P_{crd}}{P_y}\right)^{0.6} P_y$$

$$Pnd = [1 - 0.25 \left(\frac{29,09}{12,07}\right)^{0.6}] \left(\frac{29,09}{12,07}\right)^{0.6} 12,07$$

$Pnd = 11,79 \, kip$

Se realizo el mismo ejercicio, pero utilizando un elemento en Z de 100x50x15mm con un espeso de 0,237mm en donde los resultados fueron los siguientes:

Tabla 3: Resultados obtenidos del ejercicio para el elemento Z de 100x50x15mm con un espesor de 0,237mm para el elemento tubular de 48x96mm de con un espesor de 180mm

Liemento	t (mm)	(Kips)	(kN)	(kips)	(kN)	(kips)	(kN)	(kN)
Z 100x50x15mm	2,37	26,31	117,03	15,74	70,01	15,74	70,01	111,27
C 70x38x12mm	1,50	12,07	53,69	7,25	32,25	7,25	32,25	52,44
Tubo 48x96	1,80	25,26	112,36	16,73	74,42	16,73	74,42	-
Z 100x50x15mm C 70x38x12mm Tubo 48x96	2,37 1,50 1,80	26,31 12,07 25,26	117,03 53,69 112,36	15,74 7,25 16,73	70,01 32,25 74,42	15,74 7,25 16,73	70,0 32,2 74,4	1 5 2

Fuente: Propia

Nota: En el elemento tubular la resistencia por pandeo distorsional es muy alta casi que infinita.

1.6. Aplicación del método de resistencia directa considerando los momentos críticos de pandeo.

Enunciado del ejercicio.

Se tiene una viga en C 70x38x12mm la cual esta articulada en sus extremos de 4m de largo y posee una carga puntual en el centro como se muestra en la siguiente imagen:

Figura 15: Viga de 4 metros de largo.



Fuente: Propia

Con ayuda del programa se obtuvo el momento crítico de pandeo local que es de 77,903 kip-in y el momento crítico de pandeo distorsional que es de 48,834 kip-in.

Para realizar el cálculo de la resistencia a la flexión considerando el pandeo lateral torsional se necesita realizar los siguientes cálculos:

Cálculo del momento crítico de pandeo lateral torsional

El momento crítico de pandeo lateral torsional se realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$M_{cre} = S_f F_{cre}$$

Datos generales

 $S_f = 3,12 \ cm^3 = 0,190 \ in^3$

$$C_b = 1,31$$

 $r_x = 2,75 \text{ cm}$
 $r_y = 1,44 \text{ cm}$
 $r_0 = 0 \text{ cm}$
 $A = 2,38 \text{ cm}^2$

 $E = 2100000 \ cm/kg^2$ $K_y = K_t = 1$ $L_y = L_t = 400 \ cm$ $G = 111147,3 \ cm/kg^2$ $J = 0,0178 \ cm^4$

 $C_w = 63 cm^6$

Primero se deberá calcula el esfuerzo de pandeo lateral-torsional elásticocritico mediante la siguiente ecuación:

$$F_{cre} = \frac{C_b r_o A}{S_f} \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t}$$

Para realizar poder usar la ecuación anterior ocupamos realizar los siguientes cálculos:

$$r_{o} = \sqrt{r_{x}^{2} + r_{y}^{2} + x_{0}^{2}}$$
$$r_{o} = \sqrt{2,75^{2}cm + 1,44^{2}cm + 0}$$
$$r_{o} = 4,57 \text{ cm}$$

$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 E}{(K_y L_y / r_y)^2}$$
$$\sigma_{ey} = \frac{\pi^2 2100000 \ cm/kg^2}{(1 * 400 \ cm/1, 44 \ cm)^2}$$
$$\sigma_{ey} = 268,61$$

$$\sigma_t = \frac{1}{Ar_0} \left[GJ + \frac{\pi^2 E C_w}{(K_t L_t)^2} \right]$$

$$\sigma_t = \frac{1}{2,38cm^2 * 4,57cm} \left[111147,3 \ cm/kg^2 * 0,0178cm^4 + \frac{\pi^2 * 2100000 \ cm/kg^2 * 63cm^6}{(1 * 400cm)^2} \right]$$

$$\sigma_t = 203,99$$

Una vez obtenido todos los datos necesarios procedemos a realizar el calculo

$$F_{cre} = \frac{C_b r_o A}{S_f} \sqrt{\sigma_{ey} \sigma_t}$$

$$F_{cre} = \frac{1,31 * 4,57 \, cm * 2,38 cm^2}{3,12 \, cm^3} \sqrt{268,61 * 203,99}$$

$$F_{cre} = 1068,99 \ cm/kg^2 / 70,3 = 15,21 \ kip$$

Una vez obtenido el esfuerzo de pandeo lateral-torsional elástico- critico, se calcula el momento crítico de Pandeo lateral torsional

$$M_{cre} = S_f F_{cre}$$

M_{cre} 0,190 *in*³ * 15,21 *kip* M_{cre} = **2**,**895 kip** - **in**

Seguidamente se realiza el cálculo de la resistencia a la flexión considerando pandeo lateral torsional

Como $M_{cre} > 0.56 M_y$, la resistencia a la flexión considerando el pandeo lateral torsional se considera igual al momento critico de pandeo lateral torsional.

$$M_{ne} = M_{cre}$$

Cálculo de la resistencia a la flexión considerando el pandeo crítico local para esto primero se debe calcular λ_{ℓ} mediante la siguiente ecuación:

$$\lambda_{\ell} = \sqrt{M_{ne}/M_{cr\ell}}$$
$$\lambda_{\ell} = \sqrt{31,412kip - in/43,83kip - in}$$
$$\lambda_{\ell} = 0,64$$

Como λ_{ℓ} es ≤ 0.776 la resistencia a la flexion considerando el pandeo local es igual a la resistencia considerando el pandeo lateral torsional.

$$M_{n\ell} = M_{ne}$$

Cálculo de la resistencia a la flexión considerando el pandeo distorsional, para este primero se debe calcular λ_d mediante la siguiente ecuación:

$$\lambda_d = \sqrt{M_y/M_{cdr}}$$

 $\lambda_d = \sqrt{10,85 \, kip - in/43,834 \, kip - in}$

 $\lambda_d = 0,498$

Como λ_d es ≤ 0.673 la resistencia a la flexión considerando el pandeo distorsional es igual al momento de rendimiento efectivo (My).

$$M_{nd} = M_y$$

 $M_{nd} = 10,85 \ kip - in$

Se realizo el mismo ejercicio, pero en este caso utilizando una viga en Z 100x50x15 mm con un espesor de 2,37mm los resultados fueron los siguientes:

Tabla 4: Resultados obtenidos del ejercicio para el elemento Z de 100x50x15mmcon un espesor de 237mm y para el elemento tubular de 48x96mm de con unespesor de 180mm

Elemento	t (mm)	My (kip*in)	My (kN*m)	Mne (kip*in)	Mne (kN*m)	Mnl (kip*in)	Mnl (kN*m)	Mnd (kN*m)
Z 100x50x15mm	2,37	32,75	0,37	22,93	0,26	22,93	0,26	0,37
C 70x38x12mm	1,50	10,85	0,12	31,41	0,35	31,41	0,35	0,12
Tubo 48x96	1,80	25,29	0,29	137,45	1,55	76,67	0,87	-

Fuente: Propia.

Nota: En la resistencia por pandeo distorsional rige el momento de rendimiento efectivo en el caso del elemento en Z, en el elemento tubular la resistencia por pandeo distorsional es muy alta casi que infinita.

Resultados Obtenidos

Se mostrará las tablas de resultados y las graficas generadas de los esfuerzos críticos obtenidos del programa CUFSM.

Tabla 5: Datos	btenidos del programa CUFSM para elemento en C 70x38x12r	nm
t=0,120cm		

С							
	70x38x12mm t= 0,120cm						
DATOS: Obtenidos o	del programa						
CUFSM	1	DATOS: Obt	enidos	del progr	ama CU	FSM	
Py = 9,816 kip	D	My =	8,909	kip-in			
P _{crl} /Py = 1,37 P	P _{crl} = 13,45 kip	M _{crl} /My =	4,49	M _{crl} =	40,00	kip-in	
$P_{crd}/Py = 1,85 P_{crd}$	_{crd} = 18,16 kip	$M_{crd}/My =$	3,09	M _{crd} =	27,53	kip-in	

Fuente: Propia

Figura 16: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 70x38x12mm.



Fuente: Propia

Tabla 6: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 70x38x12mm t=0,150cm



Figura 17: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 70x38x12mm t=0,150cm



Fuente: Propia

Tabla 7: Datos	obtenidos d	el programa	CUFSM	para el	elemento	C 70x38x1	5mm
t=0,120cm							

C 70x50x15mm t= 0,120cm						
DATOS: Obtenidos del CUFSM	programa	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM				
Py = 11,65 kip		My = 11,09 kip-in				
P _{crl} /Py = 1,31 P _{crl} =	15,26 kip	M _{crl} /My = 2,48 M _{crl} = 27,50 kip-in				
$P_{crd}/Py = 1,61 P_{crd} =$	18,76 kip	$M_{crd}/My = 2,48$ $M_{crd} = 27,50$ kip-in				

Fuente: Propia

Figura 18: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 70x38x15mm t=0,120cm



Fuente: Propia

Tabla 8: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 70x50x15mm t=0,150cm

C 70x50x15mm t= 0,150cm									
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM								
Py = 14,37 kip	My = 13,58 kip-in								
$P_{crl}/Py = 2,08$ $P_{crl} = 29,89$ kip-in	M _{crl} /My = 3,97 M _{crl} = 53,91 kip-in								
P _{crd} /Py = 2,08 P _{crd} = 29,89 kip-in	M _{crd} /My = 3,16 M _{crd} = 42,91 kip-in								

Fuente: Propia

Figura 19: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 70x50x15mm t=0,150cm



Fuente: Propia

Tabla 9: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 70x50x15mm t=0,237cm

С									
75x50x15mm t= 0,237cm									
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM								
Py = 14,76 kip	My = 14,82 kip-in								
$P_{crl}/Py = 1,86$ $P_{crl} = 27,45$ kip-in	M _{crl} /My = 3,94 M _{crl} = 58,39 kip-in								
P _{crd} /Py = 2,01 P _{crd} = 29,67 kip-in	M _{crd} /My = 3,07 M _{crd} = 45,50 kip-in								
Fuente: Propia									

Figura 20: Curvas de los esfuerzos crítico contra deformación de pandeo para el elemento C 70x50x15mm t=0,237cm



Fuente: Propia

Tabla 10: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 70x50x15mm t=0,120cm

C									
100x50x15mm t= 0,120cm									
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM								
Py = 13,49 kip	My = 17,47 kip-in								
P _{crl} /Py = 0,66 P _{crl} = 8,90 kip-in	M _{crl} /My = 2,34 M _{crl} = 40,88 kip-in								
P _{crd} /Py = 1,22 P _{crd} = 16,46 kip-in	M _{crd} /My = 2,11 M _{crd} = 36,86 kip-in								

Fuente: Propia

Figura 21: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 70x50x15mm t=0,120cm



Fuente: Propia

Tabla 11: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C100x50x15mm t=0,150cm

С										
100x50x15mm t= 0,150cm										
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM					DATOS: Obtenidos del programa CUFSM					
Py =	16,68	Кір				My =	21,43	kip-in		
P _{crl} /Py =	1,04	P _{crl} =	17,35	kip-in		M _{crl} /My =	3,73	M _{crl} =	79,93	kip-in
$P_{crd}/Py =$	1,62	P _{crd} =	27,02	kip-in		$M_{crd}/My =$	2,7	M _{crd} =	57,86	kip-in
uentes Dronio										

Fuente: Propia

Figura 22: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 100x50x15mm t=0,150cm



Fuente: Propia
Tabla 12: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C100x50x15mm t=0,237cm

C									
100x50x15mm t= 0,237cm									
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM								
Py = 25,47 kip	My = 32,03 kip-in								
P _{crl} /Py = 2,7 P _{crl} = 68,77 kip-in	M _{crl} /My = 9,93 M _{crl} = 318,06 kip-in								
$P_{crd}/Py = 2,72$ $P_{crd} = 69,28$ kip-in	M _{crd} /My = 4,67 M _{crd} = 149,58 kip-in								
Fuente: Propia									

Figura 23: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 100x50x15mm t=0,237cm



Tabla 13: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C100x50x15mm t=0,317cm

	C									
100x50x15mm t= 0,317cm										
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM DATOS: Obtenidos del programa CUFS										
Py = 32,97 kip	My = 40,57 kip-in									
P _{crl} /Py = 5 P _{crl} = 164,85 kip-in	M _{crl} /My = 6,86 M _{crl} = 278,31 kip-in									
P _{crd} /Py = 3,97 P _{crd} = 130,89 kip-in	$M_{crd}/My = 6,394$ $M_{crd} = 259,39$ kip-in									

Fuente: Propia

Figura 24: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 100x50x15mm t=0,317cm



Fuente: Propia

Tabla 14: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 150x50x15mm t=0,150cm

	С									
	150x50x15 h= 0,150cm									
DATOS: C	btenidos del pi	rograma CUFSM	DATOS: C)btenidos del pro	grama CUFSM					
Py =	20,51 kip		My =	36,59 kip-in						
P _{crl} /Py =	0,48 P _{crl} =	9,8448 kip-in	M _{crl} /My =	2,49 M _{crl} =	91,1091 kip-in					
$P_{crd}/Py =$	0,87 P _{crd} =	17,8437 kip-in	$M_{crd}/My =$	2,16 M _{crd} =	79,0344 kip-in					

Fuente: Propia

Figura 25: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 150x50x15mm t=0,150cm



Fuente: Propia

10³

CUFSM results

data1

Tabla 15: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C150x50x15mm t=0,237cm

	,C 150x50x15_ h= 0,237cm										
DATOS: C	btenidos del p	rograma CUFSM	DATOS:	Obtenidos del pro	ograma CUFSM						
Py =	31,53 kip		My =	55,14 kip-in							
$P_{crl}/Py =$	1,22 P _{crl} =	38,4666 kip-in	$M_{crl}/My =$	6,36 M _{crl} =	350,6904 kip-in						
$P_{crd}/Py =$	1,5 P _{crd} =	47,295 kip-in	$M_{crd}/My =$	3,71 M _{crd} =	204,5694 kip-in						

Fuente: Propia

Figura 26: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 150x50x15mm t=0,237cm



Fuente: Propia

Tabla 16: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C150x50x15mm t=0,317cm

	C 150x50x15 h= 0,317cm										
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM			UFSM	DATOS:	Obtenido	s del pro	ograma CUF	SM			
Py =	41,08	kip			My =	70,46	kip-in				
P _{crl} /Py =	2,17	P _{crl} =	89,1436	kip-in	M _{crl} /My =	5,48	M _{crl} =	386,1208	kip-in		
$P_{crd}/Py =$	2,2	P_{crd} =	90,376	kip-in	$M_{crd}/My =$	6,3039	M _{crd} =	444,1728	kip-in		

Fuente: Propia

Figura 27: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 150x50x15mm t=0,317cm



Fuente: Propia

Tabla 17: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C200x50x15mm t=0,150cm

	C										
	200x50x15 h= 0,150cm										
DATOS:	Obtenidos del	JFSM	DATOS: C) btenido	s del pro	ograma CU	IFSM				
Py =	24,35 kip			My =	54,29	kip-in					
P _{crl} /Py =	0,27 P _{crl}	= 6,5745	kip-in	M _{crl} /My =	1,48	M _{crl} =	80,3492	kip-in			
$P_{crd}/Py =$	0,59153 Pcro	¹ = 14,4038	kip-in	$M_{crd}/My =$	1,68	M _{crd} =	91,2072	kip-in			

Fuente: Propia

Figura 28: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 200x50x15mm t=0,150cm



Tabla 18: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C200x50x15mm t=0,237cm

	С									
	200x50x15 t= 0,237cm									
DATOS: 0	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM				DATOS: C	Obtenido	os del pr	ograma CUI	SM	
Py =	37,59	kip			My =	82,27	kip-in			
$P_{crl}/Py =$	0,68	P _{crl} =	25,5612	kip-in	M _{crl} /My =	3,73	M _{crl} =	306,8671	kip-in	
$P_{crd}/Py =$	1,2577	P _{crd} =	47,2769	kip-in	$M_{crd}/My =$	2,9	M _{crd} =	238,583	kip-in	
Fuente: Prop	bia									

Figura 29: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 200x50x15mm t=0,237cm



Fuente: Propia

Tabla 19:Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C200x50x15mm t=0,317cm

C 200450445 to 0.217cm										
200x50x1	t = 0,31/cr	n								
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS:	Obtenido	s del pro	ograma CUF	SM					
Py = 49,19 kip	My =	105,7	kip-in							
P _{crl} /Py = 1,17 P _{crl} = 57,5523 kip-in	M _{crl} /My =	4,31	M _{crl} =	455,567	kip-in					
$P_{crd}/Py = 1,891 P_{crd} = 93,0183$ kip-in	$M_{crd}/My =$	5,7919	M _{crd} =	612,2038	kip-in					

Fuente: Propia

Figura 30: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 200x50x15mm t=0,317cm



Fuente: Propia

Tabla 20: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 70x38x12mm t=0,120cm

C									
70x38x12 h= 0,120cm									
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM								
Py = 9,816 kip	My = 8,909 kip-in								
P _{crl} /Py = 1,37 P _{crl} = 13,4479 kip-in	M _{crl} /My = 4,49 M _{crl} = 40,0014 kip-in								
$P_{crd}/Py = 1,85 P_{crd} = 18,1596$ kip-in	M _{crd} /My = 3,09 M _{crd} = 27,5288 kip-in								

Fuente: Propia

Figura 31: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 70x38x12mm t=0,120cm



Fuente: Propia

Tabla 21: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 70x38x12mm t=0,150cm

C									
70x38x12 h= 0,150cm									
DATOS: Obtenidos del prog	grama CUFSM	DATOS: O	btenidos del pro	grama CUFSM					
Py = 12,07 kip		My =	10,85 kip-in						
$P_{crl}/Py = 2,18 P_{crl} = 2$	26,3126 kip-in	M _{crl} /My =	7,18 M _{crl} =	77,9030 kip-in					
$P_{crd}/Py = 2,41 P_{crd} = 2$	29,0887 kip-in	$M_{crd}/My =$	4,04 M _{crd} =	43,8340 kip-in					

Fuente: Propia

Figura 32: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 70x38x12mm t=0,150cm



Fuente: Propia

Tabla 22: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C70x50x12mm t=0,120cm

		70x50x12	C h= 0,120cm		
DATOS: 0	Obtenidos del pi	rograma CUFSM	DATOS: O	btenidos del pr	ograma CUFSM
Py =	11,28 kip		My =	10,9 kip-in	
$P_{crl}/Py =$	1,31 P _{crl} =	14,7768 kip-in	$M_{crl}/My =$	2,49 M _{crl} =	27,1410 kip-in
$P_{crd}/Py =$	1,39 P _{crd} =	15,6792 kip-in	$M_{crd}/My =$	2 M _{crd} =	21,8000 kip-in

Fuente: Propia

Figura 33: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 70x50x12mm t=0,120cm



Fuente: Propia

Tabla 23: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C 70x50x12mm t=0,150cm

	C									
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM			DATOS: O	btenidos	del pro	grama CU	FSM			
Py =	13,91 kip		My =	13,33	kip-in					
$P_{crl}/Py =$	2,08 P _{crl} =	28,9328 kip-in	M _{crl} /My =	3,98	M _{crl} =	53 <i>,</i> 053	kip-in			
$P_{crd}/Py =$	1,79 P _{crd} =	24,8989 kip-in	$M_{crd}/My =$	2,59	M _{crd} =	34,525	kip-in			

Fuente: Propia

Figura 34: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 70x50x12mm t=0,150cm



Fuente: Propia

Tabla 24: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C100x50x15mm t=0,120cm

	С											
	100x50x15 h= 0,120cm											
DATOS: 0	Obtenidos del pr	ograma CUFSM	DATOS: O	btenidos	del pro	grama CL	JFSM					
Py =	13,49 kip		My =	17,47	kip-in							
P _{crl} /Py =	0,66 P _{crl} =	8,9034 kip-in	M _{crl} /My =	2,34	M _{crl} =	40,88	kip-in					
$P_{crd}/Py =$	1,22 P _{crd} =	16,4578 kip-in	$M_{crd}/My =$	2,11	M_{crd} =	36,862	kip-in					

Fuente: Propia

Figura 35: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 100x50x15mm t=0,120cm



Fuente: Propia

Tabla 25: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C100x50x15mm t=0,150cm

	c										
		100x50x15	h= 0,150cm								
DATOS: 0	Obtenidos del pi	rograma CUFSM	DATOS: O	btenidos	del pro	grama CUI	FSM				
Py =	16,68 kip		My =	21,43	kip-in						
P _{crl} /Py =	1,04 P _{crl} =	17,3472 kip-in	M _{crl} /My =	3,73	M _{crl} =	79,934	kip-in				
$P_{crd}/Py =$	1,62 P _{crd} =	27,0216 kip-in	M _{crd} /My =	2,7	M _{crd} =	57,861	kip-in				

Fuente: Propia

Figura 36: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 100x50x15mm t=0,150cm



Fuente: Propia

Tabla 26: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C100x50x15mm t=0,180cm

	C										
	100x50x15 h= 0,180cm										
DATOS: 0	Obtenidos del pr	rograma CUFSM	DATOS: O	btenidos	del pro	grama CL	JFSM				
Py =	19,78 Kip		My =	25,24	kip-in						
$P_{crl}/Py =$	1,52 P _{crl} =	30,0656 kip-in	M _{crl} /My =	5,49	M _{crl} =	138,57	kip-in				
$P_{crd}/Py =$	1,95 P _{crd} =	38,571 kip-in	$M_{crd}/My =$	3,33	M _{crd} =	84,049	kip-in				

Fuente: Propia

Figura 37: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 100x50x15mm t=0,180cm



Fuente: Propia

Tabla 27: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C200x50x15mm t=0,150cm

	C 2001/50/15 b= 0.150cm											
	200x50x15 h= 0,150cm											
DATOS				5014					15014			
DATOS:	Obtenidos	del pro	ograma CU	FSIVI	DATUS: UI	otenidos	ael pro	grama Cl	JESIVI			
_												
Py =	24,35	kip			My =	54,29	kip-in					
$P_{crl}/Py =$	0,27	P _{crl} =	6,5745	kip-in	$M_{crl}/My =$	1,48	M _{crl} =	80,349	kip-in			
$P_{crd}/Py =$	0,59153	P_{crd} =	14,4038	kip-in	$M_{crd}/My =$	1,68	M_{crd} =	91,207	kip-in			

Fuente: Propia

Figura 38: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 200x50x15mm t=0,150cm



Fuente: Propia

Tabla 28: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento C200x50x15mm t=0,180cm

	C											
	200x50x15 h= 0,180cm											
DATOS:	Obtenidos	del pro	ograma CU	IFSM	DATOS: Ob	otenidos	del pro	grama Cl	JFSM			
Py =	28,99	kip			My =	64,22	kip-in					
$P_{crl}/Py =$	0,39	P _{crl} =	11,3061	kip-in	M _{crl} /My =	2,15	M _{crl} =	138,07	kip-in			
$P_{crd}/Py =$	0,80207	P_{crd} =	23,252	kip-in	$M_{crd}/My =$	2,05	M _{crd} =	131,65	kip-in			

Fuente: Propia

Figura 39: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento C 200x50x15mm t=0,180cm



Fuente: Propia

Esfuerzos críticos de pandeo para elementos en Z

Tabla 29: Datos obtenidos del programa CUFSM pandeo para el elemento Z100x50x15mm t=0,150cm

Z										
100x50x15mm t= 0,150cm										
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM									
Py = 17,02 kip	My = 21,36 kip-in									
P _{crl} /Py = 1,04 P _{crl} = 17,7008 kip-in	M _{crl} /My = 4,31 M _{crl} = 92,0616 kip-in									
P _{crd} /Py = 1,16 P _{crd} = 19,7432 kip-in	M _{crd} /My = 1,80 M _{crd} = 38,4480 kip-in									
Fuente: Propia										

Figura 40: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z 100x50x15mm t=0,150cm



Fuente: Propia

Tabla 30: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z 100x50x15mm t=0,237cm

Z 100x50x15mm t= 0,237cm										
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM									
Py = 26,31 Kip	My = 32,75 kip-in									
P _{crl} /Py = 2,67 P _{crl} = 70,2477 kip-in	M _{crl} /My = 3,19 M _{crl} = 104,4725 kip-in									
P _{crd} /Py = 2,09 P _{crd} = 54,9879 kip-in	M _{crd} /My = 6,22 M _{crd} = 203,8524 kip-in									

Figura 41: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z 100x50x15mm t=0,237cm



Fuente: Propia

Tabla 31: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z100x50x15mm t=0,317cm

Z										
100x50x15mm t= 0,317cm										
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM									
Py = 34,49 kip	My = 42,57 kip-in									
$P_{crl}/Py = 4,887$ $P_{crl} = 168,56298$ kip-in	M _{crl} /My = 4,75 M _{crl} = 202,2075 kip-in									
P _{crd} /Py = 3,14 P _{crd} = 108,2986 kip-in	M _{crd} /My = 6,7717 M _{crd} = 288,2713 kip-in									

Fuente: Propia

Figura 42: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z 100x50x15mm t=0,317cm



Fuente: Propia

Tabla 32: Datos obtenidos del programa CUFSM ara el elemento Z 150x50x15mm t=0,150cm

Ζ 150-50-150-150-1											
150x50x15	nm t= 0,150cm										
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM										
Py = 20,85 kip	My = 36,15 kip-in										
P _{crl} /Py = 0,48 P _{crl} = 10,008 kip-in	M _{crl} /My = 2,94 M _{crl} = 106,281 kip-in										
P _{crd} /Py = 0,68 P _{crd} = 14,178 kip-in	M _{crd} /My = 1,5 M _{crd} = 54,225 kip-in										



Figura 43: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z 150x50x15mm t=0,150cm



Fuente: Propia

Z 150x50x15mm t= 0,237cm										
DATOS: 0	Obtenido	os del pr	ograma CUFSM		DATOS:	Obtenido	s del pro	grama CUFSM		
Py =	32,38	Кір			My =	55,6	kip-in			
$P_{crl}/Py =$	1,19	P _{crl} =	38,5322 kip-ir	n	$M_{crl}/My =$	2,7	M _{crl} =	150,12 kip)-in	
P _{crd} /Py =	1,26	P _{crd} =	40,7988 kip-ir	n	M _{crd} /My =	6,7876	M _{crd} =	377,3906 kip)-in	
Fuente: Pro	pia									

Tabla 33: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z 150x50x15mm t=0,237cm

67

Figura 44: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z 150x50x15mm t=0,237cm



Fuente: Propia

Tabla 34: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z150x50x15mm t=0,317cm

Z										
150x50x15mm t= 0,317cm										
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM									
Py = 42,6 kip	My = 72,49 kip-in									
P _{crl} /Py = 1,93 P _{crl} = 82,218 kip-in	M _{crl} /My = 4,06 M _{crl} = 294,3094 kip-in									
P _{crd} /Py = 2,891 P _{crd} = 123,17364 kip-in	M _{crd} /My = 7,4639 M _{crd} = 541,0581 kip-in									

Fuente: Propia

Figura 45: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z 150x50x15mm t=0,317cm



Fuente: Propia

Tabla 35: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z200x50x15mm t=0,150cm

			200x50x15m	<u>r</u> n t= 0,150cm			
DATOS:	Obtenid	los del p	rograma CUFSM	DATOS: C	btenido	os del prop	grama CUFSM
Py =	24,69	kip		My =	54,09	kip-in	
P _{crl} /Py =	0,27	P _{crl} =	6,6663 kip-in	M _{crl} /My =	1,63	M _{crl} =	88,1667 kip-in
$P_{crd}/Py =$	0,553	P _{crd} =	13,64641 kip-in	M _{crd} /My =	1,24	M _{crd} =	67,0716 kip-in
Fuente: Propia	а						

Figura 46: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z 200x50x15mm t=0,150cm



Fuente: Propia

Z						
200x50x15mn	n t= 0,237cm					
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM					
Py = 38,44 kip	My = 83,38 kip-in					
P _{crl} /Py = 0,66 P _{crl} = 25,3704 kip-in	M _{crl} /My = 2,26 M _{crl} = 188,4388 kip-in					
P _{crd} /Py = 1,217 P _{crd} = 46,796856 kip-in	M _{crd} /My = 5,0728 M _{crd} = 422,9701 kip-in					
Fuente: Propia						

Tabla 36: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z200x50x15mm t=0,237cm

69

Figura 47: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z 200x50x15mm t=0,237cm



Fuente: Propia

Tabla 37: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z200x50x15mm t=0,317cm

Z					
200x50x15mn	n t= 0,317cm				
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM				
Py = 50,71 kip	My = 108,9 kip-in				
P _{crl} /Py = 1,1 P _{crl} = 55,781 kip-in	M _{crl} /My = 3,46 M _{crl} = 376,794 kip-in				
P _{crd} /Py = 1,853 P _{crd} = 93,985914 kip-in	M _{crd} /My = 7,0793 M _{crd} = 770,9358 kip-in				

Fuente: Propia

Figura 48: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z 200x50x15mm t=0,317cm



Tabla 38: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z300x90x15mm t=0,150cm

Z 300x90x15mm t= 0,150cm					
DATOS: Obtenidos del prog	rama CUFSM	DATOS: Ob	tenidos	del prog	rama CUFSM
Py = 38,5 kip		My =	128,9	kip-in	
P _{crl} /Py = 0,12 P _{crl} =	4,62 kip-in	M _{crl} /My =	0,71	M _{crl} =	91,519 kip-in
$P_{crd}/Py = 0,1818$ $P_{crd} =$	7,00084 kip-in	M _{crd} /My =	0,5	M _{crd} =	64,45 kip-in

Fuente: Propia

Figura 49: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z 300x90x15mm t=0,150cm



Fuente: Propia

Tabla 38: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z300x90x15mm t=0,237cm

Z							
300x90x15m	300x90x15mm t= 0,237cm						
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM						
Py = 60,26 kip	My = 200,7 kip-in						
P _{crl} /Py = 0,29 P _{crl} = 17,4754 kip-in	M _{crl} /My = 0,87 M _{crl} = 174,609 kip-in						
$P_{crd}/Py = 0,3851 P_{crd} = 23,20613$ kip-in	M _{crd} /My = 1,0708 M _{crd} = 214,90956 kip-in						

Figura 50: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z 300x90x15mm t=0,237cm



Fuente: Propia

Tabla 39: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z300x90x15mm t=0,317cm

Z							
300x90x15mm t= 0,317cm							
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM						
Py = 78,89 kip	My = 264,6 kip-in						
P _{crl} /Py = 0,5 P _{crl} = 39,445 kip-in	M _{crl} /My = 1,34 M _{crl} = 354,564 kip-in						
$P_{crd}/Py = 0.6528$ $P_{crd} = 51.49939$ kip-in	$M_{crd}/My = 1,852$ $M_{crd} = 490,0392$ kip-in						

Fuente: Propia

Figura 51: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z 300x90x15mm t=0,317cm



Tabla 40: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z 350x90x15mm t=0,150cm

Z 350×00×15mm t= 0.150cm							
			2207207720001	l= 0,150cm			
DATOS	Obtenid	os del pro	ograma CUFSM	DATOS: Ob	otenidos	del prog	rama CUFSM
Py =	42,34	kip		My =	160,8	kip-in	
P _{crl} /Py =	0,09	P _{crl} =	3,8106 kip-in	M _{crl} /My =	0,51	M _{crl} =	82,008 kip-in
$P_{crd}/Py =$	0,1244	P _{crd} =	5,267096 kip-in	M _{crd} /My =	0,44	M _{crd} =	70,752 kip-in
Fuente: Propia							

Figura 52: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z 350x90x15mm t=0,150cm



Fuente: Propia

Tabla 41: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z 350x90x15mm t=0,237cm

Z 250×00×15mm t= 0.227cm						
	220720712	mm t= 0,2370	m			
DATOS: Obtenidos del	programa CUFSM	DATOS	: Obtenio	dos del p	orograma CUFSM	I
					0	
Py = 66,32 kip		My =	250,5	kip-in		
P _{crl} /Py = 0,21 P _{crl} =	= 13,9272 kip-in	M _{crl} /My =	0,79	M _{crl} =	197,895	kip-in
$P_{crd}/Py = 0,2665 P_{crd} =$	= 17,67295 kip-in	$M_{crd}/My =$	0,9293	M _{crd} =	232,792155	kip-in
Fuente: Propia						

Figura 53: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z 350x90x15mm t=0,237cm



Fuente: Propia

Tabla 42: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento Z350x90x15mm t=0,317cm

	Z
350x90x15r	mm t= 0,317cm
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM
Py = 88 kip	My = 330,5 kip-in
P _{crl} /Py = 0,36 P _{crl} = 31,68 kip-in	M _{crl} /My = 1,21 M _{crl} = 399,905 kip-in
P _{crd} /Py = 0,452 P _{crd} = 39,776 kip-in	M _{crd} /My = 1,5978 M _{crd} = 528,0729 kip-in

Fuente: Propia

Figura 54: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento Z 350x90x15mm t=0,317cm



Esfuerzos críticos de pandeo para elementos tubulares

Tabla 43: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 23x96mm t=0,150cm

	23X96mm t= 0,15cm						
DATOS: OI	otenidos del pr	ograma CUFSM	DATOS: Obte	nidos de	el prograr	na CUFSM	
Py =	17,40 kip		My =	14,21	kip-in		
P _{crl} /Py =	1,21 P _{crl} =	21,0541 kip-in	M _{crl} /My =	6,65	M _{crl} =	94,4965	kip-in
Frankas Duanta							

Fuente: Propia

Figura 55: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 23x96mm t=0,150cm



Fuente: Propia

Tabla 44: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 23x96mm t=0,180cm

23X96mm t= 0,18cm						
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM					
Py = 20,62 kip	My = <u>16,61</u> kip-in					
P _{crl} /Py = 1,78 P _{crl} = 36,7036 kip-in	M _{crl} /My = 9,71 M _{crl} = 161,2831 kip-in					
Fuente: Propia						

Figura 56: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 23x96mm t=0,180cm



Fuente: Propia

Tabla 45: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 25x75mm t=0,150cm

25x75mm t= 0,15cm						
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM					
Py = 14,48 kip	My = 9,92 kip-in					
P _{crl} /Py = 1,94 P _{crl} = 28,0912 kip-in	M _{crl} /My = 10,44 M _{crl} = 103,5961 kip-in					
Fuente: Propia						

Figura 57: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 25x75mm t=0,150cm



Tabla 46: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 25x75mm t=0,180cm

25x75mm t= 0,18cm						
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM					
Py = 17,16 kip	My = 11,68 kip-in					
P _{crl} /Py = 2,88 P _{crl} = 49,4208 kip-in	M _{crl} /My = 15,41 M _{crl} = 179,9888 kip-in					

Fuente: Propia

Figura 58: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 25x75mm t=0,180cm



Fuente: Propia

Tabla 47: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 38x50mm t=0,180cm

38x50mm t= 0,180cm	
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM
Py = 14,95 kip	My = 8,47 kip-in
P _{crl} /Py = 5,88 P _{crl} = 87,906 kip-in	M _{crl} /My = 13,93 M _{crl} = 117,9418 kip-in

Figura 59: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento38x50mm t=0,180cm



Fuente: Propia

Tabla 48: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 38x75mm t=0,150cm

38x75mm t= 0,150cm	
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM
Py = 16,38 kip	My = 12,78 kip-in
P _{crl} /Py = 1,89 P _{crl} = 30,9582 kip-in	M _{crl} /My = 7,30 M _{crl} = 93,294 kip-in
Fuente: Propia	

Figura 60: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 38x75mm t=0,150cm



Tabla 49: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 38x75mm t=0,180cm

38x75mm t= 0,180cm	
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM
Py = 19,55 kip	My = 15,12 kip-in
P _{crl} /Py = 2,76 P _{crl} = 53,958 kip-in	M _{crl} /My = 10,75 M _{crl} = 162,54 kip-in

Fuente: Propia

Figura 61: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 38x75mm t=0,180cm



Fuente: Propia

Tabla 50: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 48x72mm t=0,150cm

48x72mm t= 0,150cm	
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	
My = 14,17 kip-in	
M _{crl} /My = 4,77 M _{crl} = 67,5909 kip-in	

Figura 62: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 48x72mm t=0,150cm



Fuente: Propia

Tabla 51: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 48x72mm t=0,180cm

48x72mm t= 0,180cm	
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM
Py = 19,00 kip	My = 14,25 kip-in
P _{crl} /Py = 2,96 P _{crl} = 56,24 kip-in	M _{crl} /My = 11,15 M _{crl} = 158,8875 kip-in
Fuente: Propia	

Figura 63: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 48x72mm t=0,180cm



Fuente: Propia

Tabla 52: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 48x72mm t=0,237cm

48x72mm t= 0,237cm		
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	
Py = 27,64 kip	My = 21,53 kip-in	
P _{crl} /Py = 5,13 P _{crl} = 141,7932 kip-in	M _{crl} /My = 12,96 M _{crl} = 279,0288 kip-in	

Fuente: Propia

Figura 64: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 48x72mm t=0,237cm



Fuente: Propia

Tabla 53: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 48x96mm t=0,150cm

48x96mm t= 0,150cm	
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM
Py = 21,14 kip	My = 21,29 kip-in
$P_{crl}/Py = 1,10 P_{crl} = 23,254$ kip-in	M _{crl} /My = 4,28 M _{crl} = 91,1212 kip-in

Figura 65: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 48x96mm t=0,150cm



Fuente: Propia

Tabla 54: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 48x96mm t=0,180cm

48x96mm t= 0,180cm	
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM
Py = 25,26 kip	My = 25,29 kip-in
P _{crl} /Py = 1,61 P _{crl} = 40,6686 kip-in	M _{crl} /My = 6,28 M _{crl} = 158,8212 kip-in
Fuente: Propia	

Figura 66: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 48x96mm t=0,180cm



Tabla 55: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 48x96mm t=0,237cm

48x96mm t= 0,237cm	
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM
Py = 33,26 kip	My = 32,70 kip-in
P _{crl} /Py = 2,88 P _{crl} = 95,7888 kip-in	M _{crl} /My = 11,38 M _{crl} = 372,126 kip-in

Fuente: Propia

Figura 67: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 48x96mm t=0,237cm



Fuente: Propia

Tabla 56: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 48x96mm t=0,317cm

48x96mm t= 0,317cm	
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM
Py = 42,40 kip	My = 40,52 kip-in
P _{crl} /Py = 5,29 P _{crl} = 224,296 kip-in	M _{crl} /My = 21,50 M _{crl} = 871,18 kip-in
Evente Dropia	

Figura 68: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 48x96mm t=0,317cm



Fuente: Propia

Tabla 57: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x150mm t=0,150cm

50x150mm t= 0,150cm	
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM
Py = 29,73 kip	My = 42,46 kip-in
P _{crl} /Py = 0,47 P _{crl} = 13,9731 kip-in	M _{crl} /My = 2,45 M _{crl} = 104,027 kip-in
Fuente: Propia	

Fuente: Propia

Figura 69: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 50x150mm t=0,150cm



Fuente: Propia

Tabla 58: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x150mm t=0,180cm

50x150mm t= 0,180cm	
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM
Py = 35,57 kip	My = 50,60 kip-in
P _{crl} /Py = 0,69 P _{crl} = 24,5433 kip-in	M _{crl} /My = 3,56 M _{crl} = 180,136 kip-in

Fuente: Propia

Figura 70: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 50x150mm t=0,180cm



Fuente: Propia

Tabla 59: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x150mm t=0,237cm

50x150mm t= 0,237cm				
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM			
Py = 47,03 kip	My = 66,78 kip-in			
P _{crl} /Py = 1,21 P _{crl} = 56,9063 kip-in	M _{crl} /My = 6,29 M _{crl} = 420,0462 kip-in			
Fuentes Brania				

Figura 71: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 50x150mm t=0,237cm



Fuente: Propia

Tabla 60: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x150mm t=0,317cm

50x150mm t= 0,317cm				
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM			
Py = 68,18 kip	My = 86,74 kip-in			
P _{crl} /Py = 2,22 P _{crl} = 151,3596 kip-in	M _{crl} /My = 11,68 M _{crl} = 1013,123 kip-in			
Fuente: Propia				

Figura 72: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 50x150mm t=0,317cm



Tabla 61: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x150mm t=0,475cm

50x150mm t= 0,475cm				
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM			
Py = 87,54 kip	My = 114,80 kip-in			
P _{crl} /Py = 5,16 P _{crl} = 451,7064 kip-in	M _{crl} /My = 27,03 M _{crl} = 3103,044 kip-in			
Evente, Drania				

Fuente: Propia

Figura 73: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 50x150mm t=0,475cm



Fuente: Propia

Tabla 62: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x200mm t=0,237cm

50x200mm t= 0,237cm				
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM			
Py = 59,16 kip	My = 105,20 kip-in			
$P_{crl}/Py = 0.69 P_{crl} = 40.8204 kip-in$	M _{crl} /My = 3,73 M _{crl} = 392,396 kip-in			

Figura 74: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 50x200mm t=0,237cm



Fuente: Propia

Tabla 63: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x200mm t=0,317cm

50x200mm t= 0,317cm				
DATOS: Obtenidos del programa CU	UFSM DATOS: Ob	tenidos del programa CUFSM		
Py = 78,40 kip	My =	137,50 kip-in		
$P_{crl}/Py = 1,25$ $P_{crl} = 98$ kip	ip-in M _{crl} /My =	6,88 M _{crl} = 946 kip-in		
Fuente: Propia				

Fuente: Propia

Figura 75: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 50x200mm t=0,317cm


Tabla 64: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 100x150mm t=0,237cm

100x150mm t= 0,237cm									
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM DATOS: Obtenidos del programa CUFSM									
Py = 58,77 kip	My = 100,80 kip-in								
P _{crl} /Py = 1,07 P _{crl} = 62,8839 kip-in	M _{crl} /My = 2,63 M _{crl} = 265,104 kip-in								

Fuente: Propia

Figura 76: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 100x150mm t=0,237cm



Fuente: Propia

Tabla 65: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 100x150mm t=0,317cm

100x150mm t= 0,317cm								
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM							
Py = 76,77 kip	My = 129,80 kip-in							
P _{crl} /Py = 1,95 P _{crl} = 149,7015 kip-in	M _{crl} /My = 4,83 M _{crl} = 626,934 kip-in							

Figura 77: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 100x150mm t=0,317cm



Fuente: Propia

Tabla 66: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 100x150mm t=0,475cm

100x150mm t= 0,475cm								
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM DATOS: Obtenidos del programa CUFSM								
Py = 111,80 kip	My = 184,20 kip-in							
$P_{crl}/Py = 4,55 P_{crl} = 508,69 kip-in$	M _{crl} /My = 11,65 M _{crl} = 2145,93 kip-in							
Fuente: Propia								

Figura 78: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 100x150mm t=0,475cm



Fuente: Propia

Tabla 67: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 100x200mm t=0,237cm

100x200mm t= 0,237cm								
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM DATOS: Obtenidos del programa O								
Py = 83,40 kip	My = 199,20 kip-in							
P _{crl} /Py = 0,58 P _{crl} = 48,372 kip-in	M _{crl} /My = 1,12 M _{crl} = 223,104 kip-in							

Fuente: Propia

Figura 79: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 100x200mm t=0,237cm



Fuente: Propia

Tabla 68: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 100x200mm t=0,317cm

100x200mm t= 0,317cm								
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM DATOS: Obtenidos del progra								
Py = 95,16 kip	My = 201,40 kip-in							
P _{crl} /Py = 1,15 P _{crl} = 109,434 kip-in	M _{crl} /My = 4,44 M _{crl} = 894,216 kip-in							

Figura 80: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 100x2000mm t=0,317cm



Fuente: Propia

Tabla 69: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 100x200mm t=0,475cm

100x200mm t= 0,475cm									
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM DATOS: Obtenidos del programa CUFSM									
Py = 136,10 kip	My = 287,20 kip-in								
P _{crl} /Py = 2,64 P _{crl} = 359,304 kip-in	M _{crl} /My = 10,47 M _{crl} = 3006,984 kip-in								
Fuente: Propia									

Fuente: Propia

Figura 81: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 100x2000mm t=0,475cm



Tabla 70: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x50mm t=0,120cm

50X50mm t= 0,120cm								
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM DATOS: Obtenidos del programa CUFSM								
Py = 11,55 kip	My = 6,43 kip-in							
P _{crl} /Py = 2,21 P _{crl} = 25,5255 kip-in	M _{crl} /My = 3,52 M _{crl} = 22,6266 kip-in							
Fuente: Propia								

Fuente: Propia

Figura 82: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 50x50mm t=0,120cm



Fuente: Propia

Tabla 71: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x50mm t=0,150cm

50X50mm t= 0,150cm									
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM								
Py = 14,38 kip	My = 6,68 kip-in								
P _{crl} /Py = 3,17 P _{crl} = 45,5846 kip-in	M _{crl} /My = 7,22 M _{crl} = 48,2007 kip-in								

Fuente: Propia

Figura 83: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 50x50mm t=0,150cm



Fuente: Propia

Tabla 72: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x50mm t=0,180cm

50X50mm t= 0,180 cm									
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM DATOS: Obtenidos del programa CUFSM									
Py = 17,16 kip	My = 9,38 kip-in								
P _{crl} /Py = 4,68 P _{crl} = 80,3088 kip-in	M _{crl} /My = 7,78 M _{crl} = 72,9686 kip-in								
Fuente: Propia									

Fuente: Propia

Figura 84: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 50x50mm t=0,180cm



Tabla 73: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x50mm t=0,237cm

50X50mm t= 0,237cm							
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM						
Py = 21,88 kip	My = 12,20 kip-in						
P _{crl} /Py = 8,45 P _{crl} = 184,8860 kip-in	M _{crl} /My = 13,79 M _{crl} = 168,2380 kip-in						

Fuente: Propia

Figura 85: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 50x50mm t=0,237cm



Fuente: Propia

Tabla 74: Datos obtenidos del programa CUFSM para el elemento 50x50mm t=0,317cm

50X50mm t= 0,317cm							
DATOS: Obtenidos del programa CUFSM	DATOS: Obtenidos del programa CUFSM						
Py = 28,13 kip	My = 13,11 kip-in						
P _{crl} /Py = 16,14 P _{crl} = 454,0182 kip-in	M _{crl} /My = 34,64 M _{crl} = 454,1304 kip-in						

Figura 86: Curvas de los esfuerzos critico contra deformación de pandeo para el elemento 50x50mm t=0,317cm



Fuente: Propia

Tabla 75: Propiedades y esfuerzos críticos de pandeo para elementos nacionalesen C norma ASTM-A653

PRODUCTO	h (cm)	t (cm)	A (cm2)	Fy (ksi)	Pcrl (KN)	Pcrd (KN)	Mcrl (KN*m)	Mcrd (KN*m)
С	7	0,120	1,92		59,83	80,78	4,52	3,11
70x38x12mm	1	0,150	2,38		117,03	129,40	8,80	4,95
С	7	0,120	2,22		67,89	83,43	3,11	3,11
70x50x15mm	1	0,150	2,74		132,95	132,95	6,09	4,85
C 75x50x15mm	7,5	0,237	4,34		122,12	131,97	6,60	5,14
		0,120	2,58		39,60	73,21	4,62	4,16
С	10	0,150	3,19		77,16	120,20	9,03	9,03
100x50x15mm	10	0,237	4,93		305,90	308,16	35,94	16,90
		0,317	6,50		733,29	582,23	31,44	29,31
•		0,150	3,94	33	43,79	79,37	10,29	8,93
150x50x15mm	15	0,237	6,12		171,11	210,38	39,62	23,11
		0,317	8,06		396,53	402,01	43,63	50,18
0		0,150	4,69		29,24	64,07	9,08	10,31
200x50x15mm	20	0,237	7,30		113,70	210,30	34,67	26,96
		0,317	9,68		256,00	413,76	51,47	69,17
С	7	0,120	1,92		59,82	80,78	4,52	3,11
70x38x12mm	'	0,150	2,38		117,04	129,39	8,80	4,95
С	7	0,120	2,22		65,73	69,74	3,07	2,46
70x50x12mm	'	0,150	2,74		128,70	110,76	5,99	3,90
C		0,120	2,58		39,60	73,21	4,62	4,16
100x50x15mm	00x50x15mm 10	0,150	3,19		77,16	120,20	9,03	6,54
		0,180	3,83		133,74	171,57	15,66	9,50
С	20	0,150	3,94		29,24	64,07	9,08	10,31
200x50x15mm	20	0,180	4,69		50,29	103,43	15,60	14,87

Tabla 76: Propiedades y esfuerzos críticos de pandeo para elementos nacionalesen Z norma ASTM-A653

		Dimen	siones	5	Area					
Tipo de Perfil	t (mm)	h (mm)	b (mm)	d (mm)	A (cm2)	Fy (ksi)	Pcrl (KN)	Pcrd (KN)	Mcrl (KN*m)	Mcrd (KN*m)
7	1,5				3,33		78,74	87,82	10,40	4,34
2 100x50x15	2,37				5,17		312,48	244,60	11,80	23,03
100,30,13	3,17				6,8		749,80	481,73	22,85	32,57
7	1,5	-			4,07		44,52	63,07	12,01	6,13
$\frac{2}{150x50x15}$	2,37	150	50	15	6,36		171,40	181,48	16,96	42,64
130,30,13	3,17				8,38		365,72	547,90	33,25	61,13
7	1,5				4,83		29,65	60,70	9,96	7,58
200x50x15	2,37	200			7,55		112,85	208,16	21,29	47,79
200,00,10	3,17				9,97		248,13	418,07	42,57	87,10
z	1,50 G	050	75		6,3	33	24,47	41,27	10,56	7,07
250x75x15	2,37	250	75		9,93		94,46	142,63	20,20	28,81
	3,17				13,14		217,30	323,96	38,90	67,46
z	1,50 G	000		45	7,5		20,55	31,14	10,34	7,28
300x90x15	2,37	300		15	11,83		77,73	103,23	19,73	24,28
	3,17		00		15,67		175,46	229,08	40,06	55,37
z	1,50 G	050	90		8,25		16,95	23,43	9,27	7,99
350x90x15	2,37	350			13,02		61,95	78,61	22,36	26,30
	3,17				17,26		140,92	176,93	45,18	59,66

 Tabla 77: Propiedades y esfuerzos críticos de pandeo para elementos tubulares

 nacionales norma ASTM-A653

	Dim	ensio	nes		E.,	Deri	Mari
DN	h (cm)	b (cm)	t (cm)	A (cm2)	Fy (ksi)	(KN)	(KN*m)
1,5	9,6	2,3	0,15	3,4		93,653	10,6767
1,8	9,6	2,3	0,18	4,06		163,26	18,2225
1,5	7,5	2,5	0,15	2,81		124,96	11,7048
1,8	7,5	2,5	0,18	3,35		219,83	20,336
1,8	5	3,8	0,18	2,94		391,02	13,3256
1,5	7,5	3,8	0,15	3,2		137,71	10,5408
1,8	7,5	3,8	0,18	3,8		240,02	18,3645
1,5	7,2	4,8	0,15	3,41		151,36	7,63674
1,8	7,2	4,8	0,18	4,08		250,17	17,9519
2,37	7,2	4,8	0,24	5,24		630,72	31,526
1,5	9,6	4,8	0,15	4,13		103,44	10,2953
1,8	9,6	4,8	0,18	4,94		180,9	17,9444
2,37	9,6	4,8	0,24	6,38		426,09	42,0446
3,17	9,6	4,8	0,32	8,29		997,71	98,4301
1,5	15	5	0,15	5,81		62,155	11,7535
1,8	15	5	0,18	6,97	22	109,17	20,3526
2,37	15	5	0,24	9,05	33	253,13	47,4588
3,17	15	5	0,32	11,85		673,28	114,468
4,75	15	5	0,48	17,88		2009,3	350,597
2,37	20	5	0,24	11,43		181,58	44,3348
3,17	20	5	0,32	15,02		435,92	106,884
2,37	15	10	0,24	11,43		279,72	29,9527
3,17	15	10	0,32	15,02		665,9	70,834
4,75	15	10	0,48	21,88		2262,8	242,457
2,37	20	10	0,24	13,81		215,17	25,2074
3,17	20	10	0,32	18,19		486,78	101,033
4,75	20	10	0,48	26,62		1598,3	339,743
1,2	5	5	0,12	2,228		113,54	2,55646
1,5	5	5	0,15	2,81		202,77	5,44595
1,8	5	5	0,18	3,33		357,23	8,24434
2,37	5	5	0,24	4,37		822,41	19,0083
3,17	5	5	0,32	5,506		2019,6	51,3098
	1,5 1,8 1,5 1,8 1,5 1,8 1,5 1,8 1,5 1,8 2,37 3,17 1,5 1,8 2,37 3,17 4,75 2,37 3,17 4,75 2,37 3,17 4,75 2,37 3,17 4,75 2,37 3,17 4,75 2,37 3,17 4,75 2,37 3,17 4,75 1,2 1,5 1,8 2,377 3,17 4,75 1,2 1,5 1,8 2,37 3,17 4,75 1,5 1,8 2,37 3,17 <td>Dim h 1,5 9,6 1,8 9,6 1,8 7,5 1,8 7,5 1,8 7,5 1,8 7,5 1,8 7,5 1,8 7,5 1,8 7,5 1,8 7,2 1,5 7,2 1,8 7,2 1,5 9,6 1,8 7,2 1,5 9,6 1,8 9,6 2,37 9,6 3,17 9,6 3,17 9,6 3,17 9,6 3,17 15 3,17 15 3,17 15 3,17 15 3,17 15 3,17 20 3,17 15 3,17 20 3,17 20 3,17 20 3,17 20 3,17 20</td> <td>Dimension h b 1.5 9,6 2,3 1,8 9,6 2,3 1,8 9,6 2,3 1,8 9,6 2,3 1,8 9,6 2,3 1,8 7,5 2,5 1,8 7,5 2,5 1,8 7,5 3,8 1,5 7,5 3,8 1,5 7,5 3,8 1,5 7,2 4,8 2,37 7,2 4,8 1,5 9,6 4,8 1,5 9,6 4,8 3,17 9,6 4,8 3,17 9,6 4,8 3,17 9,6 4,8 3,17 15 5 3,17 15 5 3,17 20 5 3,17 20 5 3,17 20 10 3,17 20 10 3,17 20 <t< td=""><td>Dimensioneshbt1.59,62,30,151,89,62,30,181,57,52,50,151,87,52,50,181,87,53,80,181,57,53,80,181,57,53,80,181,57,24,80,151,87,24,80,182,377,24,80,182,379,64,80,143,179,64,80,243,179,64,80,243,171550,151,81550,182,371550,243,171550,243,1715100,243,172050,324,7515100,243,1720100,324,7515100,243,1720100,324,7520100,481,2550,151,8550,151,8550,151,550,243,1720100,324,752550,151,8550,151,8550,243,17550,243,17550,243,17550,24<td>DimensionesA (cm)hbt (cm)1,59,62,30,153,41,89,62,30,184,061,57,52,50,152,811,87,52,50,183,351,853,80,182,941,57,53,80,153,21,87,53,80,153,21,87,53,80,153,411,87,24,80,184,082,377,24,80,184,082,377,24,80,184,942,379,64,80,246,383,179,64,80,246,383,179,64,80,246,383,179,64,80,249,053,171550,186,972,371550,249,053,171550,2411,433,172050,3215,022,3715100,3215,022,3715100,3215,024,7515100,3215,024,7515100,3218,194,7520100,4821,882,372050,152,811,8550,152,811,8550,122,2281,555<td< td=""><td>Dimensiones A Fy h b t (cm2) P(ksi) 1.5 9.6 2.3 0.15 3.4 1.8 9.6 2.3 0.15 2.81 1.8 7.5 2.5 0.18 3.35 1.8 7.5 2.5 0.18 3.35 1.8 7.5 3.8 0.18 3.85 1.8 7.5 3.8 0.18 3.85 1.8 7.5 3.8 0.15 3.41 1.5 7.2 4.8 0.15 3.41 1.8 7.2 4.8 0.15 4.13 1.5 9.6 4.8 0.15 4.13 1.5 9.6 4.8 0.24 6.38 3.17 9.6 4.8 0.32 8.29 1.5 15 5 0.48 17.88 2.37 15 5 0.32 15.02 3.17 20 5</td><td>DNDimmensiomes (cm)A (cm)Fy (cm)Pcri (cm)1.59.62.30.153.493.6531.89.62.30.184.06163.261.57.52.50.152.81124.961.87.52.50.183.35391.021.57.53.80.153.21137.711.87.53.80.183.811.57.24.80.153.411.87.24.80.153.411.87.24.80.153.411.87.24.80.184.082.377.24.80.245.241.59.64.80.124.331.550.155.811.89.64.80.241.51550.241.51550.241.51553.171553.171553.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715<td< td=""></td<></td></td<></td></td></t<></td>	Dim h 1,5 9,6 1,8 9,6 1,8 7,5 1,8 7,5 1,8 7,5 1,8 7,5 1,8 7,5 1,8 7,5 1,8 7,5 1,8 7,2 1,5 7,2 1,8 7,2 1,5 9,6 1,8 7,2 1,5 9,6 1,8 9,6 2,37 9,6 3,17 9,6 3,17 9,6 3,17 9,6 3,17 15 3,17 15 3,17 15 3,17 15 3,17 15 3,17 20 3,17 15 3,17 20 3,17 20 3,17 20 3,17 20 3,17 20	Dimension h b 1.5 9,6 2,3 1,8 9,6 2,3 1,8 9,6 2,3 1,8 9,6 2,3 1,8 9,6 2,3 1,8 7,5 2,5 1,8 7,5 2,5 1,8 7,5 3,8 1,5 7,5 3,8 1,5 7,5 3,8 1,5 7,2 4,8 2,37 7,2 4,8 1,5 9,6 4,8 1,5 9,6 4,8 3,17 9,6 4,8 3,17 9,6 4,8 3,17 9,6 4,8 3,17 15 5 3,17 15 5 3,17 20 5 3,17 20 5 3,17 20 10 3,17 20 10 3,17 20 <t< td=""><td>Dimensioneshbt1.59,62,30,151,89,62,30,181,57,52,50,151,87,52,50,181,87,53,80,181,57,53,80,181,57,53,80,181,57,24,80,151,87,24,80,182,377,24,80,182,379,64,80,143,179,64,80,243,179,64,80,243,171550,151,81550,182,371550,243,171550,243,1715100,243,172050,324,7515100,243,1720100,324,7515100,243,1720100,324,7520100,481,2550,151,8550,151,8550,151,550,243,1720100,324,752550,151,8550,151,8550,243,17550,243,17550,243,17550,24<td>DimensionesA (cm)hbt (cm)1,59,62,30,153,41,89,62,30,184,061,57,52,50,152,811,87,52,50,183,351,853,80,182,941,57,53,80,153,21,87,53,80,153,21,87,53,80,153,411,87,24,80,184,082,377,24,80,184,082,377,24,80,184,942,379,64,80,246,383,179,64,80,246,383,179,64,80,246,383,179,64,80,249,053,171550,186,972,371550,249,053,171550,2411,433,172050,3215,022,3715100,3215,022,3715100,3215,024,7515100,3215,024,7515100,3218,194,7520100,4821,882,372050,152,811,8550,152,811,8550,122,2281,555<td< td=""><td>Dimensiones A Fy h b t (cm2) P(ksi) 1.5 9.6 2.3 0.15 3.4 1.8 9.6 2.3 0.15 2.81 1.8 7.5 2.5 0.18 3.35 1.8 7.5 2.5 0.18 3.35 1.8 7.5 3.8 0.18 3.85 1.8 7.5 3.8 0.18 3.85 1.8 7.5 3.8 0.15 3.41 1.5 7.2 4.8 0.15 3.41 1.8 7.2 4.8 0.15 4.13 1.5 9.6 4.8 0.15 4.13 1.5 9.6 4.8 0.24 6.38 3.17 9.6 4.8 0.32 8.29 1.5 15 5 0.48 17.88 2.37 15 5 0.32 15.02 3.17 20 5</td><td>DNDimmensiomes (cm)A (cm)Fy (cm)Pcri (cm)1.59.62.30.153.493.6531.89.62.30.184.06163.261.57.52.50.152.81124.961.87.52.50.183.35391.021.57.53.80.153.21137.711.87.53.80.183.811.57.24.80.153.411.87.24.80.153.411.87.24.80.153.411.87.24.80.184.082.377.24.80.245.241.59.64.80.124.331.550.155.811.89.64.80.241.51550.241.51550.241.51553.171553.171553.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715<td< td=""></td<></td></td<></td></td></t<>	Dimensioneshbt1.59,62,30,151,89,62,30,181,57,52,50,151,87,52,50,181,87,53,80,181,57,53,80,181,57,53,80,181,57,24,80,151,87,24,80,182,377,24,80,182,379,64,80,143,179,64,80,243,179,64,80,243,171550,151,81550,182,371550,243,171550,243,1715100,243,172050,324,7515100,243,1720100,324,7515100,243,1720100,324,7520100,481,2550,151,8550,151,8550,151,550,243,1720100,324,752550,151,8550,151,8550,243,17550,243,17550,243,17550,24 <td>DimensionesA (cm)hbt (cm)1,59,62,30,153,41,89,62,30,184,061,57,52,50,152,811,87,52,50,183,351,853,80,182,941,57,53,80,153,21,87,53,80,153,21,87,53,80,153,411,87,24,80,184,082,377,24,80,184,082,377,24,80,184,942,379,64,80,246,383,179,64,80,246,383,179,64,80,246,383,179,64,80,249,053,171550,186,972,371550,249,053,171550,2411,433,172050,3215,022,3715100,3215,022,3715100,3215,024,7515100,3215,024,7515100,3218,194,7520100,4821,882,372050,152,811,8550,152,811,8550,122,2281,555<td< td=""><td>Dimensiones A Fy h b t (cm2) P(ksi) 1.5 9.6 2.3 0.15 3.4 1.8 9.6 2.3 0.15 2.81 1.8 7.5 2.5 0.18 3.35 1.8 7.5 2.5 0.18 3.35 1.8 7.5 3.8 0.18 3.85 1.8 7.5 3.8 0.18 3.85 1.8 7.5 3.8 0.15 3.41 1.5 7.2 4.8 0.15 3.41 1.8 7.2 4.8 0.15 4.13 1.5 9.6 4.8 0.15 4.13 1.5 9.6 4.8 0.24 6.38 3.17 9.6 4.8 0.32 8.29 1.5 15 5 0.48 17.88 2.37 15 5 0.32 15.02 3.17 20 5</td><td>DNDimmensiomes (cm)A (cm)Fy (cm)Pcri (cm)1.59.62.30.153.493.6531.89.62.30.184.06163.261.57.52.50.152.81124.961.87.52.50.183.35391.021.57.53.80.153.21137.711.87.53.80.183.811.57.24.80.153.411.87.24.80.153.411.87.24.80.153.411.87.24.80.184.082.377.24.80.245.241.59.64.80.124.331.550.155.811.89.64.80.241.51550.241.51550.241.51553.171553.171553.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715<td< td=""></td<></td></td<></td>	DimensionesA (cm)hbt (cm)1,59,62,30,153,41,89,62,30,184,061,57,52,50,152,811,87,52,50,183,351,853,80,182,941,57,53,80,153,21,87,53,80,153,21,87,53,80,153,411,87,24,80,184,082,377,24,80,184,082,377,24,80,184,942,379,64,80,246,383,179,64,80,246,383,179,64,80,246,383,179,64,80,249,053,171550,186,972,371550,249,053,171550,2411,433,172050,3215,022,3715100,3215,022,3715100,3215,024,7515100,3215,024,7515100,3218,194,7520100,4821,882,372050,152,811,8550,152,811,8550,122,2281,555 <td< td=""><td>Dimensiones A Fy h b t (cm2) P(ksi) 1.5 9.6 2.3 0.15 3.4 1.8 9.6 2.3 0.15 2.81 1.8 7.5 2.5 0.18 3.35 1.8 7.5 2.5 0.18 3.35 1.8 7.5 3.8 0.18 3.85 1.8 7.5 3.8 0.18 3.85 1.8 7.5 3.8 0.15 3.41 1.5 7.2 4.8 0.15 3.41 1.8 7.2 4.8 0.15 4.13 1.5 9.6 4.8 0.15 4.13 1.5 9.6 4.8 0.24 6.38 3.17 9.6 4.8 0.32 8.29 1.5 15 5 0.48 17.88 2.37 15 5 0.32 15.02 3.17 20 5</td><td>DNDimmensiomes (cm)A (cm)Fy (cm)Pcri (cm)1.59.62.30.153.493.6531.89.62.30.184.06163.261.57.52.50.152.81124.961.87.52.50.183.35391.021.57.53.80.153.21137.711.87.53.80.183.811.57.24.80.153.411.87.24.80.153.411.87.24.80.153.411.87.24.80.184.082.377.24.80.245.241.59.64.80.124.331.550.155.811.89.64.80.241.51550.241.51550.241.51553.171553.171553.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715<td< td=""></td<></td></td<>	Dimensiones A Fy h b t (cm2) P(ksi) 1.5 9.6 2.3 0.15 3.4 1.8 9.6 2.3 0.15 2.81 1.8 7.5 2.5 0.18 3.35 1.8 7.5 2.5 0.18 3.35 1.8 7.5 3.8 0.18 3.85 1.8 7.5 3.8 0.18 3.85 1.8 7.5 3.8 0.15 3.41 1.5 7.2 4.8 0.15 3.41 1.8 7.2 4.8 0.15 4.13 1.5 9.6 4.8 0.15 4.13 1.5 9.6 4.8 0.24 6.38 3.17 9.6 4.8 0.32 8.29 1.5 15 5 0.48 17.88 2.37 15 5 0.32 15.02 3.17 20 5	DNDimmensiomes (cm)A (cm)Fy (cm)Pcri (cm)1.59.62.30.153.493.6531.89.62.30.184.06163.261.57.52.50.152.81124.961.87.52.50.183.35391.021.57.53.80.153.21137.711.87.53.80.183.811.57.24.80.153.411.87.24.80.153.411.87.24.80.153.411.87.24.80.184.082.377.24.80.245.241.59.64.80.124.331.550.155.811.89.64.80.241.51550.241.51550.241.51553.171553.171553.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715103.1715 <td< td=""></td<>

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se determinó los esfuerzos críticos de pandeo local y distorsional en perfiles nacionales laminados en frio con la ayuda del programa CUFSM y así poder aplicar el método de la resistencia directa.
- Se generaron tablas que permiten la lectura directa de los esfuerzos críticos de pandeo lateral y distorsional para elemento nacionales laminados en frio.
- Se generaron curvas que muestran el comportamiento de los esfuerzos contra la deformación provocada por el pandeo local y distorsional.
- Se realizó una comparación ente los perfiles en C, Z y tubulares donde se determinó que los elementos que presentan una mejor resistencia son los tubulares ya que por su forma son aún más resistentes a las deformaciones por pandeo en especial el pandeo distorsional ya que en estos elementos dicho pandeo no cumple.
- Se determinó la resistencia utilizando el método de resistencia directa para ello se plantearon dos problemas en los que se muestra la aplicación de dicho método ya sea en flexión tanto como en compresión.
- Se concluyo que en algunos perfiles nacionales por la forma en que se elaboran hacen que sean muy fuertes y resistentes a los modos de pandeos.

Recomendaciones

Se recomienda generar tablas de pandeo local y distorsional para todos los casos en donde se pueda leer la longitud no abrasada en relación con el pandeo, también generar tablas que nos faciliten el cálculo de los momentos críticos de pandeo lateral torsional, así como la carga critica por pandeo lateral torsional

También se recomienda ampliar el trabajo para emular las tablas de diseño del manual AISCI.

Por otra parte, y muy importante es la realización de pruebas de laboratorio de tensión de acuerdo con el ASTM-E8 para probar las verdaderas propiedades (Fy, Fu y la deformación unitaria) de los elementos en Costa Rica en especial el del Latón laminados en frio JIS-3132-SPHT-2.

REFERENCIAS

Romanjek M. (2007). Capacidad estructural de juntas T de perfiles de acero laminado en frio.

https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/view/7747

Oviedo G. (2010). Desarrollo de una herramienta para el diseño de elementos estructurales de acero laminado en frio basado en la norma AISI 2007 y por el método *LRFD* (Tesis de licenciatura). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago. Costa Rica.

Villar M. (2011). Comportamiento estructural de marcos de acero laminado en frío con uniones reforzados mediante placas bajo carga cíclica (Tesis de licenciatura). Universidad de Costa Rica, San José. Costa Rica.

Kubde P. y Sangle K. (2017) Ampliación del método da resistencia directa paradimensionarparedesdemarcodeacero.http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-68352017000200172&Ing=es&nrm=iso

McCormac J. & Csernak S. (2012). Diseño de Estructuras de Acero

Michaleris P. (2011). *Minimization of welding distortion and buckling*. *https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=q4dmAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&d q=distorting+buckling&ots=ZlzgHBisrt&sig=Q4gpwNpvsI7hVz4zS38RAxC9Tg#v=o nepage&q=distorting%20buckling&f=false* Miserere M. (2017). *Pandeo de perfiles de pared delgada* (Proyecto integrador). Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba. Argentina.

ANEXOS

	_	PERFIL EST	RUCTU	RAL TIP	OCEN	HIER	RO NE	GRO (P	ROPIE	DADE	S MEC	NICAS)				
					Eje x			Eje y								
h (cm)	t (cm)	Peso (kg/unidad)	A (cm2)	lx (cm4)	Sx (cm3)	rx (cm)	ly (cm4)	min Sy (cm3)	ry (cm)	x (cm)	m (cm)	J (cm4)	Cw (cm6)	j (cm)	ro (cm)	Ха
-	0.120	8.79	1.92	14.62	4.18	2.76	4.05	1.71	1.45	1.439	1.961	0.0092	52.60	4.43	4.61	3.40
'	0.150	10.98	2.38	17.92	3.12	2.75	4.92	2.08	1.44	1.438	1.922	0.0178	63.00	4.4	4.57	3.36
-	0.120	9.85	2.22	18.20	5.20	2.82	7.88	2.55	1.89	1.912	2.893	0.0106	110.60	6.46	5.90	4.81
1	0.150	12.31	2.74	22.10	6.33	2.84	9.52	3.14	1.87	1.968	2.646	0.0205	137.50	5.58	5.67	4.54
7.5	0.237	20.45	4.34	39.05	10.41	3.00	14.47	4.69	1.83	1.915	2.405	0.0812	194.78	5.37	5.57	4.32
	0.120	11.75	2.58	41.80	8.26	4.00	9.02	2.69	1.87	1.645	2.657	0.0124	214.30	7.38	6.17	4.30
10	0.150	14.69	3.19	50.50	10.10	3.98	10.91	3.31	1.85	1.701	2.450	0.0239	268.60	6.32	5.99	4.08
10	0.237	22.99	4.93	76.50	15.30	3.94	16.13	4.89	1.81	1.699	2.393	0.0924	390.80	6.28	5.88	3.97
	0.317	30.45	6.50	98.60	19.72	3.90	20.31	6.15	1.77	1.698	2.340	0.2189	485.10	6.24	5.78	3.88
	0.150	30.01	3.94	130.60	17.42	5.76	12.51	3.47	1.78	1.391	2.188	0.0295	623.80	8.65	6.97	3.50
15	0.237	28.62	6.12	199.60	26.61	5.71	18.51	5.13	1.74	1.393	2.134	0.1146	917.00	8.69	6.87	3.41
	0.317	37.99	8.06	258.80	34.50	5.67	23.36	6.48	1.70	1.395	1.885	0.2700	994.34	7.95	6.76	3.28
	0.150	21.68	4.69	260.00	26.00	7.45	13.60	3.56	1.70	1.18	1.984	0.0351	1,171.50	12.29	8.24	3.09
	h (cm) 7 7 7.5 10	h (cm) t (cm) 7 0.120 0.150 0.150 7 0.120 0.150 0.237 0.120 0.150 10 0.120 110 0.120 0.120 0.120 0.120 0.150 0.237 0.317 0.317 0.317 0.317 0.317	b t Peso (kg/unidad) 7 0.120 8.79 0.150 10.98 7 0.120 9.85 0.150 12.31 7.5 0.237 20.45 0.150 11.75 0.120 11.75 0.120 11.75 0.120 11.75 0.120 11.75 0.120 11.75 0.120 11.75 0.120 11.75 0.120 11.75 0.120 11.75 0.120 11.75 0.120 11.75 0.120 11.75 0.237 22.99 0.317 30.45 0.237 28.62 0.317 37.99	PERFIL ESTRUCTU h t Peso (kg/unidad) A (cm2) 7 0.120 8.79 1.92 0.150 10.98 2.38 7 0.120 9.85 2.22 0.150 12.31 2.74 7.5 0.237 20.45 4.34 10 0.120 11.75 2.58 0.150 14.69 3.19 0.237 22.99 4.93 0.317 30.45 6.50 0.317 30.01 3.94 15 0.237 28.62 6.12 0.317 37.99 8.06	t Peso A Ix 0.120 8.79 1.92 14.62 0.150 10.98 2.38 17.92 0.120 9.85 2.22 18.20 7 0.120 9.85 2.22 18.20 7 0.120 9.85 2.22 18.20 7.5 0.237 20.45 4.34 39.05 0.150 11.75 2.58 41.80 0.150 14.69 3.19 50.50 0.237 22.99 4.93 76.50 0.317 30.45 6.50 98.60 15 0.237 28.62 6.12 199.60 0.317 37.99 8.06 258.80	PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C EN (cm) t Peso (kg/unidad) A (cm2) Eje x (cm3) 7 0.120 8.79 1.92 14.62 4.18 0.150 10.98 2.38 17.92 3.12 7 0.120 9.85 2.22 18.20 5.20 7 0.150 12.31 2.74 22.10 6.33 7.5 0.237 20.45 4.34 39.05 10.41 10 0.150 11.75 2.58 41.80 8.26 0.150 14.69 3.19 50.50 10.10 0.237 22.99 4.93 76.50 15.30 0.317 30.45 6.50 98.60 19.72 15 0.237 28.62 6.12 199.60 26.61 0.317 37.99 8.06 258.80 34.50	PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C EN HIER h t Peso (kg/unidad) A Eje x 7 0.120 8.79 1.92 14.62 4.18 2.76 0.150 10.98 2.38 17.92 3.12 2.75 7 0.120 9.855 2.22 18.20 5.20 2.82 0.150 12.31 2.74 22.10 6.33 2.84 7.5 0.237 20.45 4.34 39.05 10.41 3.00 10 11.75 2.58 41.80 8.26 4.00 0.150 14.69 3.19 50.50 10.10 3.98 0.237 22.99 4.93 76.50 15.30 3.94 0.317 30.45 6.50 98.60 19.72 3.90 15 0.237 28.62 6.12 199.60 26.61 5.71 0.317 30.01 3.94 130.60 17.42 5.76 15 0.237	PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NE h t Peso (kg/unidad) A (cm2) Eje x I 7 0.120 8.79 1.92 14.62 4.18 2.76 4.05 7 0.120 9.859 2.22 18.20 5.20 2.82 7.88 0.150 12.31 2.74 22.10 6.33 2.84 9.52 7.5 0.237 20.45 4.34 39.05 10.41 3.00 14.47 9.120 11.75 2.58 41.80 8.26 4.00 9.02 7.5 0.237 20.45 4.34 39.05 10.41 3.00 14.47 9.120 11.75 2.58 41.80 8.26 4.00 9.02 10 14.69 3.19 50.50 10.10 3.98 10.91 10.237 22.99 4.93 76.50 15.30 3.94 16.13 0.317 30.45 6.50 98.60 19.72	PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (P h t Peso (kg/unidad) A (cm2) Eje x Eje y 7 0.120 8.79 1.92 14.62 4.18 2.76 4.05 1.71 0.150 10.98 2.38 17.92 3.12 2.75 4.92 2.08 7 0.150 12.31 2.74 22.10 6.33 2.84 9.52 3.14 7.5 0.237 20.45 4.34 39.05 10.41 3.00 14.47 4.69 0.150 11.75 2.58 41.80 8.26 4.00 9.02 2.69 0.150 14.69 3.19 50.50 10.10 3.98 10.91 3.31 10 14.69 3.19 50.50 10.10 3.94 16.13 4.89 0.317 30.45 6.50 98.60 19.72 3.90 20.31 6.15 11 5.237 28.62 6.12 199.60 26.61 <td>PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (PROPHE (cm) t Peso (kg/unidad) A (cm2) Eje x Eje y 0.120 8.79 1.92 14.62 4.18 2.76 4.05 1.71 1.45 0.150 10.98 2.38 17.92 3.12 2.75 4.92 2.08 1.44 7 0.120 9.855 2.22 18.20 5.20 2.82 7.88 2.55 1.89 0.150 12.31 2.74 22.10 6.33 2.84 9.52 3.14 1.87 7.5 0.237 20.45 4.34 39.05 10.41 3.00 14.47 4.69 1.83 10 11.75 2.58 41.80 8.26 4.00 9.02 2.69 1.87 11 3.19 50.50 10.10 3.98 10.91 3.31 1.85 0.237 22.99 4.93 76.50 15.30 3.94 16.13 4.89 1.81 0</td> <td>PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (PROPIEDADES) h t Peso (kg/unidad) A (cm2) Eje x Eje y x</td> <td>PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (PROPIEDADES MEC/</td> <td>PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (PROPIEDADES MECÁNICAS) h t Peso (kg/unidad) A Eje x Eje y x min ry cm x gm gm x gm x gm x gm x gm gm gm ry cm fin ry cm gm gm</td> <td>PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (PROPIEDADES MECÁNICAS) h t Peso (kg/unidad) A (cm2) Eje x Eje x K k <th< td=""><td>PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (PROPIEDADES MECÁNICAS) h t Peso (kg/unidad) A Eje x Eje y x m J J Cw j (cm) j (cm) J J J J J J J J J (cm) j (cm) min m m J J J Cw j (cm) j (cm) J J J J J M M M min <thmin< <="" td=""><td>PERFILESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (PROPIEDADES MECÁNICAS) h t Peso A Eje x Eje y A M Sx rx ly min Sy (cm3) ry x m fm ry m fm <thm< td=""></thm<></td></thmin<></td></th<></td>	PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (PROPHE (cm) t Peso (kg/unidad) A (cm2) Eje x Eje y 0.120 8.79 1.92 14.62 4.18 2.76 4.05 1.71 1.45 0.150 10.98 2.38 17.92 3.12 2.75 4.92 2.08 1.44 7 0.120 9.855 2.22 18.20 5.20 2.82 7.88 2.55 1.89 0.150 12.31 2.74 22.10 6.33 2.84 9.52 3.14 1.87 7.5 0.237 20.45 4.34 39.05 10.41 3.00 14.47 4.69 1.83 10 11.75 2.58 41.80 8.26 4.00 9.02 2.69 1.87 11 3.19 50.50 10.10 3.98 10.91 3.31 1.85 0.237 22.99 4.93 76.50 15.30 3.94 16.13 4.89 1.81 0	PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (PROPIEDADES) h t Peso (kg/unidad) A (cm2) Eje x Eje y x	PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (PROPIEDADES MEC/	PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (PROPIEDADES MECÁNICAS) h t Peso (kg/unidad) A Eje x Eje y x min ry cm x gm gm x gm x gm x gm x gm gm gm ry cm fin ry cm gm gm	PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (PROPIEDADES MECÁNICAS) h t Peso (kg/unidad) A (cm2) Eje x Eje x K k <th< td=""><td>PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (PROPIEDADES MECÁNICAS) h t Peso (kg/unidad) A Eje x Eje y x m J J Cw j (cm) j (cm) J J J J J J J J J (cm) j (cm) min m m J J J Cw j (cm) j (cm) J J J J J M M M min <thmin< <="" td=""><td>PERFILESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (PROPIEDADES MECÁNICAS) h t Peso A Eje x Eje y A M Sx rx ly min Sy (cm3) ry x m fm ry m fm <thm< td=""></thm<></td></thmin<></td></th<>	PERFIL ESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (PROPIEDADES MECÁNICAS) h t Peso (kg/unidad) A Eje x Eje y x m J J Cw j (cm) j (cm) J J J J J J J J J (cm) j (cm) min m m J J J Cw j (cm) j (cm) J J J J J M M M min min <thmin< <="" td=""><td>PERFILESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (PROPIEDADES MECÁNICAS) h t Peso A Eje x Eje y A M Sx rx ly min Sy (cm3) ry x m fm ry m fm <thm< td=""></thm<></td></thmin<>	PERFILESTRUCTURAL TIPO C EN HIERRO NEGRO (PROPIEDADES MECÁNICAS) h t Peso A Eje x Eje y A M Sx rx ly min Sy (cm3) ry x m fm ry m fm fm <thm< td=""></thm<>

Anexo 1: Tablas de propiedades mecánicas obtenidas de METALCO.

		0.150	21.68	4.69	260.00	26.00	7.45	13.60	3.56	1.70	1.18	1.984	0.0351	1,171.50	12.29	8.24	3.09
C 200x50x15mm	20	0.237	34.15	7.30	399.20	39.92	7.39	20.13	5.28	1.66	1.186	1.932	0.1368	1,730.90	12.46	8.15	3.00
		0.317	45.53	9.68	521.30	52.13	7.34	25.36	6.66	1.62	1.192	1.884	0.3261	2,179.60	12.64	8.06	2.92
La longuitud d	le los	perfiles o	es de 6 m / At	iesador	de 1.5 cr	m / Pedi	ido esp	oecial: C	250 x 7	75 x 15	5 mm* -	C 300 >	<mark>× 90 x 1</mark> 5	mm* - C 3	50 x 90	x 15 n	nm*
Nota: La fabric	ación	especial	se da en los	product	os de list	a en lor	ngitude unid	s de 4 a lades.	12 mel	tros. *	Consult	ar espe	sores dis	sponiles. C	antidad	mínim	a 20

1			PERFIL E	STRUC	TURAL	TIPO C	GALV	ANIZAD	O (PRC	PIED	ADES N	IECÁN	CAS)				
						Eje x			Eje y								
PRODUCTO	h (cm)	t (cm)	Peso (kg/unidad)	A (cm2)	lx (cm4)	Sx (cm3)	rx (cm)	ly (cm4)	min Sy (cm3)	ry (cm)	x (cm)	m (cm)	J (cm4)	Cw (cm6)	j (cm)	ro (cm)	Ха
с	-	0.120	8.95	1.92	14.62	4.18	2.76	4.05	1.21	1.45	1.439	1.961	0.0092	52.60	4.43	4.61	3.40
70x38x12mm	'	0.150	11.15	2.38	17.92	5.12	2.75	4.92	2.08	1.44	1.438	1.922	0.0178	63.00	4.4	4.57	3.36
с	-	0.120	10.04	2.22	18.20	5.15	2.86	7.80	2.57	1.88	1.969	2.666	0.0106	114.00	5.61	5.71	4.58
70x50x12mm	ſ .	0.150	12.50	2.74	22.10	6.33	2.84	9.52	3.14	1.87	1.968	2.646	0.0205	137.50	5.58	5.67	4.54
		0.120	11.97	2.58	41.00	8.20	4.00	8.92	2.71	1.87	1.701	2.469	0.0123	221.00	6.34	6.03	4.11
C 100x50x15mm	10	0.150	14.91	3.19	50.50	10.10	3.98	10.91	3.31	1.85	1.701	2.450	0.0239	268.60	6.32	5.99	4.08
		0.180	17.68	3.83	60.50	12.09	3.98	13.00	3.84	1.84	1,616	2.617	0.0413	303.70	7.31	6.09	4.23
с	20	0.150	22.01	3.94	130.60	17.42	5.76	12.51	3.47	1.78	1.39	2.19	0.03	623.80	8.65	6.97	3.50
200x50x15mm	20	0.180	26.18	4.69	260.00	26.00	7.45	13.60	3.56	1.71	1.180	1.984	0.0352	1,048.40	11.21	8.22	3.05
					Nota: L	a longu	itud de	e los pe	files es	de 6 n	n						

								PERFIL	ESTRUCT	URAL TI	PO RZ Y	RZG								
Tino da			Dimen	siones		Peso	Area	St Venant	Alabeo	Ángulo		Mome	nto de i	nercia		Módu Seco	ilo de ción	Radi	io de (Giro
Perfil	Calb.	t (mm)	h (mm)	b (mm)	d (mm)	(kg/m)	A (cm2)	J (cm4)	Cw (cm6)	α (°)	lx (cm4)	ly (cm4)	lxy (cm4)	lx2 (cm4)	ly2 (cm4)	Sx (cm3)	Sy (cm3)	rx (cm)	ry (cm)	r min (cm)
	16	1.50 G				2.73	3.47	0.0289	404.78	59.13	56.60	25.30	29.11	7.90	74.00	11.32	4.34	4.04	2.70	1.51
Z	16	1.5	100.00			2.61	3.33	0.0250	378.89	59.35	54.58	24.20	27.75	7.75	71.03	10.92	4.11	4.05	2.70	1.53
100x50x15	13	2.37				4.06	5.17	0.0976	578.60	59.22	82.67	36.71	42.42	11.45	107.93	16.53	6.38	4.00	2.66	1.49
	11	3.17				5.34	6.80	0.2277	731.36	59.32	106.76	47.09	54.66	14.65	139.20	21.35	8.28	3.96	2.63	1.47
	16	1.50 G				3.35	4.26	0.0355	994.95	71.65	145.01	25.30	44.61	10.51	159.80	19.33	4.34	5.83	2.44	1.57
Z	16	1.5	150.00	50.00		3.20	4.07	0.0306	935.19	71.79	139.49	24.20	42.53	10.20	153.48	18.60	4.11	5.85	2.44	1.58
150X50X15	13	2.37]	-		5.00	6.36	0.1201	1431.00	71.78	213.30	36.71	65.18	15.25	234.75	28.44	6.38	5.79	2.40	1.55
	11	3.17				6.59	8.38	0.2808	1820.06	71.91	277.44	47.09	84.23	19.57	304.95	36.99	8.28	5.75	2.37	1.53
	16	1.50 G				3.97	5.05	0.0421	1881.56	77.65	286.74	25.30	60.10	12.15	299.90	28.67	4.34	7.53	2.24	1.55
Z	16	1.5	200.00			3.79	4.83	0.0362	1772.40	77.74	275.38	24.20	57.31	11.74	287.84	27.54	4.11	7.55	2.24	1.56
200230215	13	2.37			15.00	5.93	7.55	0.1425	2714.22	77.77	423.45	36.71	87.95	17.64	442.51	42.34	6.38	7.49	2.21	1.53
	11	3.17				7.84	9.97	0.3339	3462.34	77.89	552.96	47.09	136.47	22.66	577.38	55.30	8.28	7.45	2.17	1.51

7	16	1.50 G				4.95	6.30	0.0473	7438.00	75.70	583.40	66.99	141.91	30.56	619.82	46.67	8.04	9.62	3.26	2.20
250x75x15	13	2.37	250.00	75.00		7.80	9.93	0.1875	11399.00	75.70	910.40	103.21	220.03	47.13	966.49	72.83	12.50	9.58	3.22	2.18
	11	3.17				10.33	13.14	0.4401	14713.00	75.79	1194.60	133.84	287.00	61.17	1267,23	95.56	16.35	9.54	3.19	2.16
7	16	1.50 G				5.90	7.50	0.0563	17246.00	76.11	999.20	108.00	234.78	49.94	1057.26	66.61	10.99	11.54	3.79	2.58
300x90x15	13	2.37	300.00			9.30	11.83	0.2234	26569.00	76.19	1563.50	167.10	365.26	77.33	1653.24	104.23	17.13	11.49	3.76	2.56
	11	3.17		00.00		12.32	15.67	0.5251	34458.00	76.27	2056.40	217.55	477.92	100.76	2173.23	137.10	22.46	11.45	3.73	2.54
7	16	1.50 G		90.00		6.48	8.25	0.0619	24341.00	78.80	1439.40	108.00	274.49	56.63	1493.73	82.25	10.99	13.21	3.62	2.55
350x90x15	13	2.37	350.00			10.23	13.02	0.2459	37534.00	78.87	2255.10	167.10	427.22	83.07	2339.10	128.86	17.13	13.16	3.58	2.53
	11	3.17	1			13.57	17.26	0.5781	48719.00	78.94	2969.50	217.55	559.20	108.26	3078.78	169.69	22.46	13.12	3.55	2.50
	G	= Galv	vanizado	/ Nota	: La fa	bricaciór	n de Pe	rfil Z se r	realiza bajo	pedido.	Con long	itudes d	e 4 a 12	m. Can	tidad mín	ima 20 u	unidade	s.		

			TU	BERÍA (espe	ESTRU	CTURAL ones téc	RECTAN	IGULAR I	EN HIER es geon	RO NEG	RO Y GA	LVANIZ.	ADA			
SECO	NÓN	Largo	h	b	t	A	İx	Sx	rx	ly	Sy	ry	Cw	J	Acab	ado
SLOU		(m)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm2)	(cm4)	(cm3)	(cm)	(cm4)	(cm3)	(cm)	(cm6)	(cm4)	H.N.	H.G.
22 4 06	1.50 mm		9.6	2.3	0.150	3.40	33.75	7.03	3.15	3.44	2.99	1.00	11.86	10.84	16.51	
23 X 90	1.80 mm		9.6	2.3	0.180	4.06	39.70	8.27	3.12	3.99	3.47	0.99	13.81	12.71	19.81	
05 - 75	1.50 mm		7.5	2.5	0.150	2.81	18.11	4.82	2.53	3.22	2.58	1.07	4.77	9.41	13.92	
20 X 70	1.80 mm		7.5	2.5	0.180	3.35	21.15	5.64	2.51	3.74	2.99	1.06	5.54	11.05	16.70	
38 x 50	1.80 mm		5.0	3.8	0.180	2.94	10.32	4.13	1.87	6.77	3.56	1.52	0.41	13.38	15.02	
0075	1.50 mm		7.5	3.8	0.150	3.20	23.38	6.23	2.70	8.23	4.33	1.60	5.64	20.04	15.88	
38 x 75	1.80 mm		7.5	3.8	0.180	3.80	27.30	7.28	2.68	27.30	5.04	1.59	6.61	23.64	19.05	
		6										-				

	1.50 mm		7.2	4.8	0.150	3.41	24.86	6.91	2.70	13.41	5.41	1.98	3.36	28.13	16.51	1
48 x 72	1.80 mm		7.2	4.8	0.180	4.08	29.26	8.13	2.68	15.76	6.56	1.97	3.99	33.47	19.81	
	2.37 mm		7.2	4.8	0.237	5.24	36.63	10.17	2.64	19.67	8.19	1.93	5.04	42.76	26.08	
	1.50 mm		9.6	4.8	0.150	4.13	50.04	10.43	3.48	17.30	7.21	2.46	19.91	41.81	19.86	20.17
10.00	1.80 mm		9.6	4.8	0.180	4.94	59.15	12.32	3.46	20.39	8.50	2.03	23.63	49.82	23.84	24.14
48 x 96	2.37 mm		9.6	4.8	0.237	6.38	74.63	15.54	3.42	25.62	10.67	2.00	29.90	63.81	31.39	
	3.17 mm	6	9.6	4.8	0.317	8.29	93.81	19.54	3.36	32.02	13.34	1.95	37.60	81.75	41.83	
	1.50 mm		15.0	5.0	0.150	5.81	156.69	20.89	5.19	28.47	11.39	2.21	165.80	80.04	27.42	27.83
	1.80 mm		15.0	5.0	0.180	6.97	186.24	24.83	5.17	33.70	13.48	2.20	197.02	95.48	32.90	33.32
50 x 150	2.37 mm		15.0	5.0	0.237	9.05	237.57	31.68	5.12	42.68	17.07	2.17	251.60	122.65	43.32	
	3.17 mm		15.0	5.0	0.317	11.85	303.38	40.45	5.06	53.97	21.59	2.13	319.70	157.91	57.94	
	4.75 mm		15.0	5.0	0.475	17.88	318.38	42.50	5.03	57.25	26.09	2.11	331.70	165.91	86.38	
50 x	2.37 mm		20.0	5.0	0.237	11.43	503.34	50.33	6.63	56.19	22.48	2.22	807.80	174.42	54.70	
200	3.17 mm		20.0	5.0	0.317	15.02	647.81	64.78	6.57	71.38	28.55	2.18	1031.00	224.77	72.87	
	2.37 mm		15.0	10.0	0.237	11.43	367.25	48.97	5.67	198.36	39.67	4.17	213.00	409.91	53.34	
100 x 150	3.17 mm		15.0	10.0	0.317	15.02	474.27	63.24	5.62	255.71	51.14	4.13	279.00	536.97	72.87	
	4.75 mm		15.0	10.0	0.475	21.88	666.80	88.90	5.52	358.30	71.65	4.04	398.00	775.80	108.53	
	2.37 mm		20.0	10.0	0.237	13.81	735.72	73.57	7.30	255.07	51.01	4.29	1263.00	608.67	65.75	
100 x 200	3.17 mm		20.0	10.0	0.317	18.19	954.90	95.48	7.25	330.00	66.00	4.26	1650.00	798.30	87.21	
	4.75 mm		20.0	10.0	0.475	26.62	1356.60	135.66	7.13	466.10	93.22	4.18	2362.00	1157.00	129.79	
	Nota	a: La fabr	icación e	especial	l se da e	n los pro	oductos de	lista, en le	ongitude	s de 4 a 1	12 metros	, cantida	ad mínima	20 unidad	es.	

				100		-				Acabado y Pes	so (kg/unidad
SECO	ION	Largo (m)	b (cm)	t (cm)	A (cm2)	Fy (Mpa)	Ix = ly (cm4)	Sx = Sy (cm3)	rx = ry (cm)	H.N.	H.G.
	1.20 mm		5.0	0.120	2.280	0	8.92	3.57	1.98	11.135	11.346
	1.50 mm	1	5.0	0.150	2.810	0	10.82	4.33	1.96	13.919	14.13
50 X 50	1.80 mm	1	5.0	0.180	3.330	0	12.60	5.04	1.94	16.703	16.914
	2.37 mm	1	5.0	0.237	4.370	227	16.24	6.50	1.93	21.992	
	3.17 mm		5.0	0.317	5.506	227	19.15	7.66	1.86	28.972	
	1.20 mm	1	7.2	0.120	3.340	0	27.60	7.67	2.88	15.891	16.192
	1.50 mm	1	7.2	0.150	4.130	0	33.80	9.39	2.86	19.864	20.165
72 X 72	1.80 mm		7.2	0.180	4.915	0	39.75	11.04	2.84	23.837	24.138
	2.37 mm	1	7.2	0.237	6.442	227	51.39	14.28	2.82	31.385	
	3.17 mm		7.2	0.317	8.296	227	63.54	17.65	2.76	41.831	
	1.50 mm	6	9.1	0.150	5.330	0	72.10	15.67	3.68	24.83	25.206
91 X 91	1.80 mm		9.1	0.180	6.355	0	85.17	18.52	3.66	29.796	30.172
	1.50 mm		10.0	0.150	5.813	227	93.18	18.63	4.36	27.418	27.834
	1.80 mm		10.0	0.180	6.931	227	110.21	22.04	3.98	32.902	33.317
00 X 100	2.37 mm		10.0	0.237	9.050	227	141.65	28.33	3.95	43.32	
	3.17 mm		10.0	0.317	11.847	227	181.37	36.27	3.91	57.943	
	4.75 mm		10.0	0.475	17.129	227	250.44	50.08	3.82	86.38	
	2.37 mm]	15.0	0.237	13.810	227	496.92	66.26	5.99	65.754	
50 X 150	3.17 mm]	15.0	0.317	18.187	227	645.10	86.02	5.96	87.21	
	4.75 mm		15.0	0.475	26.629	227	917.40	122.32	5.86	129.792	
	Nota: La f	abricación e	special s	e da en	los produ	ctos de lista	a, en longitudes	s de 4 a 12 metro	os, cantidad m	ínima 20 unidade	es.