

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**ALGORITMO PARA DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO,  
BAJO LA NORMA AISC**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERA CIVIL**

**AUTORES:**

**BURGOS MUÑOZ LUIS ANDRÉS**

**CATOTA ROBLES KEVIN ALEXIS**

**DIRECTOR:**

**ING. LUNA HERMOSA GERMAN VINICIO**

**FECHA: QUITO, NOVIEMBRE 2021**

## DECLARACIÓN

Nosotros, **Burgos Muñoz Luis Andrés** y **Catota Robles Kevin Alexis** declaramos que el trabajo aquí escrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

**FIRMA:** \_\_\_\_\_

**NOMBRE:** Burgos Muñoz Luis Andrés

**FIRMA:** \_\_\_\_\_

**NOMBRE:** Catota Robles Kevin Alexis

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Burgos Muñoz Luis Andrés** y **Catota Robles Kevin Alexis**, bajo mi supervisión.

---

Ing. Germán Vinicio Luna Hermosa

**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## DEDICATORIA

A mis padres, Ramón y Mirelly, a mis hermanos, José Luis y César, a mis sobrinos, Andrei y Mateo, quienes han sido mi motivación durante todo este largo camino.

A mi abuela Alba Dolores, la persona que más creyó en mí en cada uno de mis proyectos personales.

*Luis Andrés Burgos Muñoz*

## DEDICATORIA

A mi madre Elizabeth que siempre me apoyo con lo que pudo, a mis hermanos Dennis, Ludwing y Jessy que fueron la motivación para seguir adelante durante mi estadía universitaria.

A mi Abuelita Francisca y demás familiares maternos que estuvieron presentes y aportaron con un grano de arena para conseguir mis logros.

*Kevin Alexis Catota Robles*

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia, ya que durante todo mi camino estuvieron apoyándome siendo el pilar fundamental en mi vida.

A mi compañero Kevin Alexis Catota Robles y mi tutor de tesis Ing. M. Sc. Edgar David Mora Martínez, ya que sin ellos no hubiera sido posible la realización de este proyecto.

*Luis Andrés Burgos Muñoz*

## **AGRADECIMIENTO**

A mi madre y hermanos por estar pendientes en el desarrollo de mi carrera universitaria, brindándome su apoyo y confianza.

A mi familia materna que a pesar de la distancia siempre estuvieron presente con su apoyo incondicional.

A mi compañero Luis Andrés Burgos Muñoz y mi tutor de tesis Ing. M. Sc. Edgar David Mora Martínez, ya que sin ellos no hubiera sido posible la realización de este proyecto.

*Kevin Alexis Catota Robles*

## INDICE

<b>Declaración</b> .....	<b>I</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>II</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>III</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>V</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Objetivos .....	3
1.2.1. Objetivo general.....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Alcance .....	4
1.4. Justificación.....	4
1.4.1. Justificación teórica .....	4
1.4.2. Justificación metodológica.....	5
1.4.3. Justificación práctica.....	6
<b>2. Marco Teórico</b> .....	<b>7</b>
2.1. Acero.....	7
2.1.1. Propiedades mecánicas .....	7
2.1.2. Patologías de los perfiles de acero.....	9
2.2. Solicitaciones de carga .....	10
2.2.1. Axial.....	10
2.2.2. Flexión.....	10
2.2.3. Cortante.....	10

2.2.4. Torsión.....	11
2.3. Normas de diseño de acero .....	11
2.3.1. Especificaciones para estructuras de acero (AISC 360-16) .....	13
2.3.1.1 combinaciones de carga.....	13
2.3.1.1.1. Combinaciones de carga LRFD .....	13
2.3.1.1.2. Combinaciones de carga ASD .....	13
2.3.1.4.1. Pandeo flexural de miembros sin elementos esbeltos .....	21
2.3.1.4.2. Pandeo torsional y flexo-torsional de ángulos simples y miembros sin elementos esbelto .....	22
2.3.1.4.3. Miembros con elementos esbeltos.....	23
2.3.1.4.3.1. Miembros con elementos esbeltos, excluyendo las secciones cilíndricas .....	24
2.3.1.4.3.2. Secciones tubulares.....	26
2.3.1.5.1. Miembros compactos de sección i de simetría doble y canales flectados en torno a su eje mayor .....	29
2.3.1.5.1.1. Fluencia .....	29
2.3.1.5.1.2. Pandeo lateral-torsional .....	29
2.3.1.5.2.1. Pandeo lateral torsional .....	31
2.3.1.5.2.2. Pandeo local del ala en compresión .....	31
2.3.1.5.3.1. Fluencia del ala en compresión .....	32
2.3.1.5.3.2. Pandeo lateral-torsional .....	32
2.3.1.5.3.3. Pandeo local del ala en compresión .....	35
2.3.1.5.3.4. Fluencia del ala en tracción .....	36
2.3.1.5.4. Miembros de sección I de simetría doble y simple con almas esbeltas flectados en torno a su eje mayor.....	37

2.3.1.5.4.1. Fluencia del ala en compresión .....	37
2.3.1.5.4.2. Pandeo lateral torsional .....	37
2.3.1.5.4.3. Pandeo local del ala en compresión .....	38
2.3.1.5.4.4. Fluencia del ala en tracción .....	39
2.3.1.5.5. Miembros de sección I y canales flectados en torno a su eje menor .....	39
2.3.1.5.5.1. Fluencia .....	39
2.3.1.5.5.2. Pandeo local del ala.....	39
2.3.1.5.6. Perfiles tubulares cuadrados y rectangulares .....	40
2.3.1.5.6.1. Fluencia .....	40
2.3.1.5.6.2. Pandeo local del ala.....	40
2.3.1.5.6.3. Pandeo local del alma.....	41
2.3.1.5.6.4. Pandeo lateral-torsional .....	42
2.3.1.5.7. Perfiles tubulares circulares .....	43
2.3.1.5.7.1. Fluencia .....	43
2.3.1.5.7.2. Pandeo local del ala.....	43
2.3.1.5.8. Perfiles T y ángulos dobles cargados en su plano de simetría ...	43
2.3.1.5.8.1. Fluencia .....	44
2.3.1.5.8.2. Pandeo lateral-torsional .....	44
2.3.1.5.8.3. Pandeo local de alas en secciones T y almas de ángulos dobles .....	45
2.3.1.5.8.4. Pandeo local en el alma de secciones T y en almas de ángulos dobles sometidos a compresión por flexión .....	46
2.3.1.5.9. Ángulos simples.....	47

2.3.1.5.9.1. Fluencia .....	47
2.3.1.5.9.2. Pandeo lateral-torsional .....	47
2.3.1.5.9.3. Pandeo local del ala.....	49
2.3.1.6.1. Miembros de perfiles I y canales.....	50
2.3.1.6.1.1. Resistencia de corte del alma sin acción de campo de tracciones .....	50
2.3.1.6.1.2. Resistencia de corte de paneles interiores en el alma considerando el campo de tracciones.....	51
2.3.1.6.2. Ángulos simples y secciones T .....	52
2.3.1.6.3. Tubos de sección rectangular, cajones y otros perfiles de simetría simple y doble .....	53
2.3.1.6.4. Tubos redondos .....	54
2.3.1.6.5. Corte respecto del eje débil en perfiles con simetría simple y doble .....	54
2.3.1.7. Diseño de miembros para solicitaciones combinadas y torsión ....	55
2.3.1.7.1. Miembros con simetría simple y doble, solicitados a flexión y carga axial .....	55
2.3.1.7.1.1. Miembros con simetría doble y simple solicitados a flexión y compresión .....	55
2.3.1.7.1.2. Miembros con simetría doble y simple solicitados a flexión y tracción .....	56
2.3.1.7.1.3. Miembros laminados compactos con simetría doble sometidos a flexión simple y compresión .....	57
2.3.1.7.2. Miembros asimétricos y otros sometidos a flexión y carga axial .	58
2.3.1.7.3. Miembros sometidos a torsión y combinación de torsión, flexión, corte, y/o carga axial .....	59

2.3.1.7.3.1. Resistencia torsional de secciones tubulares redondas y rectangulares .....	59
2.3.1.7.3.2. Secciones tubulares solicitadas a combinación de torsión, corte, flexión y carga axial.....	60
2.3.1.7.3.3. Miembros no tubulares bajo torsión y tensiones combinadas..	61
2.3.2. Revisiones sísmicas para estructuras de acero (AISC 341-16).....	62
2.3.2.1. Aplicabilidad de la norma .....	62
2.3.2.2. Combinaciones de carga.....	62
2.3.2.3. Combinaciones de carga LRFD .....	62
2.3.2.4. Combinaciones de carga ASD .....	63
2.3.2.5. Clasificación de la sección por ductilidad .....	63
2.3.2.6. Tipos de sistemas de resistencia sísmica .....	67
2.3.2.6.1. Ordinary moment frame (OMF).....	68
2.3.2.6.2. Intermediate moment frames (IMF).....	68
2.3.2.6.3. Special moment frames (SMF) .....	68
2.3.2.6.4. Special truss moment frames (STMF).....	69
2.3.2.6.5. Ordinary concentrically braced frames (OCBF) .....	69
2.3.2.6.6. Ordinary concentrically braced frames from isolated structures (OCBFI) .....	70
2.3.2.6.7. Special concentrically braced frames (SCBF).....	70
2.3.2.6.8. Eccentrically braced frames (EBF).....	71
2.3.2.6.9. Buckling restrained braced frames (BRBF).....	74
2.3.2.6.10. Special plate shear walls (SPSW).....	75
2.3.3. Conexiones precalificadas para smf e imf para zonas sísmicas (AISC 358-16) .....	75

2.3.3.1.	Revisión columna fuerte-viga débil.....	75
2.3.3.2.	Análisis del corte en la conexión de la viga .....	76
<b>3.</b>	<b>Metodología .....</b>	<b>78</b>
3.1.	Planteamiento del algoritmo .....	78
3.1.1.	Propiedades de los materiales .....	79
3.1.2.	Propiedades geométricas de los perfiles .....	79
3.1.3.	Clasificación de los elementos por pandeo local y ductilidad .....	80
3.1.4.	Cálculo de la capacidad a tracción axial.....	81
3.1.5.	Cálculo de la capacidad a compresión axial.....	81
3.1.6.	Cálculo de la capacidad a flexión .....	81
3.1.7.	Cálculo de la capacidad a corte.....	82
3.1.8.	Capacidad a torsión.....	82
3.1.9.	Cálculo del factor demanda-capacidad.....	82
3.1.10.	Combinaciones de carga.....	83
3.1.11.	Revisiones sísmicas .....	83
3.1.12.	Diseño de uniones.....	83
3.2.	Modelo de comparación .....	83
3.2.1.	Datos para el modelo.....	83
3.2.2.	Datos para prueba de algoritmos.....	88
<b>4.</b>	<b>Análisis de Resultados .....</b>	<b>91</b>
4.1.	Resultados .....	91
4.1.1.	Comprobación de capacidades de los perfiles .....	91
4.1.2.	Factor demanda-capacidad .....	104
4.1.3.	Combinaciones de carga .....	104

4.1.4. Revisiones sísmicas .....	106
4.1.5. Revisión viga débil-columna fuerte .....	107
4.1.6. Determinación del corte en uniones .....	107
<b>5. Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>108</b>
5.1. Conclusiones.....	108
5.2. Recomendaciones.....	109
5.3. Limitaciones de los algoritmos .....	110
<b>Fuentes Bibliográficas .....</b>	<b>111</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>114</b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> <i>Curva esfuerzo vs deformación del acero</i> .....	8
<b>Ilustración 2.</b> <i>Clasificación de perfiles de acero ante compresión axial</i> .....	15
<b>Ilustración 3.</b> <i>Clasificación de perfiles de acero sometidos a flexión</i> .....	16
<b>Ilustración 4.</b> <i>Continuación clasificación de perfiles de acero sometidos a flexión</i> .....	17
<b>Ilustración 5.</b> <i>Resumen de estados límites según el tipo de perfil de análisis</i> .....	20
<b>Ilustración 6.</b> <i>Factores de ajuste de imperfección</i> .....	26
<b>Ilustración 7.</b> <i>Estados límites para miembros sometidos a flexión</i> .....	27
<b>Ilustración 8.</b> <i>Clasificación de perfiles según su ductilidad</i> .....	64
<b>Ilustración 9.</b> <i>Continuación, clasificación de perfiles según su ductilidad</i> .....	65
<b>Ilustración 10.</b> <i>Continuación, clasificación de perfiles según su ductilidad</i> .....	66
<b>Ilustración 11.</b> <i>Continuación, clasificación de perfiles según su ductilidad</i> .....	67
<b>Ilustración 12.</b> <i>Diferentes tipos de diagonales excéntricas</i> .....	72
<b>Ilustración 13.</b> <i>Representación gráfica de las dimensiones de los diferentes perfiles</i> .....	86
<b>Ilustración 14.</b> <i>Resultados de la consola para el primer caso de análisis</i> .....	106
<b>Ilustración 15.</b> <i>Resultados de la consola para el segundo caso de análisis</i> .....	106
<b>Ilustración 16.</b> <i>Resultados de la consola ante el caso de análisis</i> .....	107
<b>Ilustración 17.</b> <i>Resultado de la consola para el cálculo del corte en la unión</i> .....	107

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Resumen de sismos importantes de la historia moderna.....	2
<b>Tabla 2.</b> Dimensiones perfiles a analizar .....	84
<b>Tabla 3.</b> Solicitación de carga para los perfiles .....	87
<b>Tabla 4.</b> Valores de cargas para combinaciones de carga .....	88
<b>Tabla 5.</b> Datos para comprobación de requerimientos sísmicos.....	89
<b>Tabla 6.</b> Resultados de perfiles I por el método LRFD .....	92
<b>Tabla 7.</b> Resultados de perfiles I por el método ASD .....	93
<b>Tabla 8.</b> Resultados de perfiles T por el método LRFD .....	94
<b>Tabla 9.</b> Resultados de perfiles T por el método ASD .....	95
<b>Tabla 10.</b> Resultados de perfiles C por el método LRFD .....	96
<b>Tabla 11.</b> Resultados de perfiles C por el método ASD.....	97
<b>Tabla 12.</b> Resultados de perfiles ángulo por el método LRFD .....	98
<b>Tabla 13.</b> Resultados de perfiles ángulo por el método ASD.....	99
<b>Tabla 14.</b> Resultados de perfiles tubular rectangular por el método LRFD.....	100
<b>Tabla 15.</b> Resultados de perfiles tubular rectangular por el método ASD .....	101
<b>Tabla 16.</b> Resultados de perfiles tubular circular por el método LRFD.....	102
<b>Tabla 17.</b> Resultados de perfiles tubular circular por el método ASD .....	103
<b>Tabla 18.</b> Factores demanda-capacidad obtenido del algoritmo comparados con el software comercial .....	104
<b>Tabla 19.</b> Resultados obtenidos en el algoritmo de combinaciones de carga .....	105

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo la realización de un algoritmo que permita realizar el diseño de elementos de acero y que pueda ser integrado a un programa de cálculo estructural, para lo cual se analizó la normativa internacional como: AISC-360, AISC-341, AISC-358 para llegar a consolidar el código, siendo este capaz de determinar propiedades geométricas de secciones así como la capacidad de las acciones, bajo los diferentes tipo de cargas como son: axial, flexión, torsión, corte.

Para una zona sísmica es fundamental que el diseño realizado garantice su buen comportamiento frente a sismos, es por lo que el algoritmo es capaz de calcular la capacidad a corte de una unión, comprobar su buen diseño basándonos en la premisa “Columna fuerte -viga débil”, además, realiza las comprobaciones sísmicas requeridas para cada sistema constructivo (OMF, IMF, SMF, STMF, OCBF, OCBFI, SCBFI, EBF)

Con el previo ingreso de las acciones actuantes en los elementos o en su defecto la debida incorporación a un programa de cálculo estructural que provea de estos datos, el algoritmo es capaz de calcular las combinaciones de carga y determinar los factores demanda capacidad para cada elemento, permitiendo que el analista pueda visualizar el comportamiento de cada elemento y tomar las debidas consideraciones de este para que garanticen la estabilidad de la estructura.

## **ABSTRACT**

The objective of this investigation is to develop an algorithm that allows the design of steel elements and can be integrated into a structural calculation program, for which international standards such as AISC-360, AISC-341, ASCE-7 were analyzed in order to consolidate the programming code being able to determine geometric properties of sections as well as the capacity of the action, considering the different types of loads such as axial, bending, torsion and shear.

For a seismic zone, it is essential that the design ensures the proper seismic performance, so the algorithm is able to calculate the shear capacity of a joint, testing that the design is correct based on the premise “strong column – weak beam,” as well as performing the required seismic verification for each construction system (OMF, IMF, SMF, STMF, OCBF, OCBFI, SCBFI, EBF).

By previously entering the actions acting on the elements or, alternatively, by incorporating them into a structural calculation program that provides this data, the algorithm is able to calculate the load combinations and determine the demand – capacity factors for each element, allowing the analyst to visualize the behavior of each element and take the proper considerations in order to guarantee the stability of the structure.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

El uso de softwares que faciliten el trabajo técnico en la actualidad se ha vuelto muy importante, ya que permite ser más eficiente y productivo a los usuarios de estos (Salih & Ahmed, 2014), por lo cual se han desarrollado una variedad de estos para que suplan muchas áreas de conocimiento, faciliten y agilicen procesos, realicen cálculos repetitivos y más, dentro del campo de ingeniería civil existen programas de cálculo estructural que llegan a ser parte fundamental para el ejercicio de la profesión. Dichos softwares que en los últimos años han sido provistos por las grandes industrias con el fin de un beneficio económico para las misma, por lo que se pretende establecer un cambio de tendencia en el desarrollo de este tipo de software ya que se convierte en una herramienta fundamental para el trabajo ingenieril, optando por el incentivo al desarrollo de estos desde la academia. Abaratando así costos indirectos ya que se sabe que los programas profesionales llegan a costar entre 5000 a 12500 dólares (Microgeo, 2016).

Programas muy usados por los ingenieros como, por ejemplo: SAP2000, ETABS, SAFE, ADAPT, PROKON, RAM1984, RISA, STAAD.Pro, SYPE, etc. Se han desarrollado en base a características principales como; la estandarización que es la compatibilidad del software con diferente tipo de ordenadores y sistemas operativos, confiabilidad que es la confianza en los resultados, longevidad hace referencia a como envejecerá el programa, uso que es la facilidad con la cual el usuario puede realizar actividades en ella, el precio y la funcionalidad. Siendo de todas estas característica las más importantes para los usuarios, la funcionalidad y la confiabilidad de sus resultados, mientras que la cualidad menos importante es el precio (Jarrah et al., 2021) . Por lo cual un programa que sus resultados sean confiables, que a su vez sea muy fácil de usar y de libre acceso, es lo que más se busca por los ingenieros estructurales y a su vez ayudaría a estudiantes que no posean acceso a programas comerciales.

La importancia de obtener estructuras livianas que permitan tener una menor carga reactiva frente a un sismo ha ocasionado que los materiales que se usan en construcción cambien, teniendo así como principal participante a los perfiles de acero, esta industria que en Latinoamérica ha aumentado su producción de 50 millares de toneladas en los 2000 a casi 70 millares de toneladas en la actualidad (ALACERO, 2019) además que con elementos laminados se ha llegado a obtener límites de fluencia entre 2040 kg/cm<sup>2</sup> y 7140 kg/cm<sup>2</sup> (Odesskii, 2018) permitiendo que las estructuras puedan llegar a ser de gran altura y se comporten de forma óptima frente a un sismo.

Los sismos son eventos naturales que afectan a muchos países, siendo detectado aproximadamente 50000 anuales de tal magnitud que puedan ser percibidos sin la necesidad de instrumentación alrededor del mundo, y a su vez, 100 de los sismos ya mencionados pueden causar daños considerables a las estructuras (Bolt, 2021). Existen sismos que han causado muchos daños tanto a estructuras como a las personas, citando algunos ejemplos tenemos:

**Tabla 1.** Resumen de sismos importantes de la historia moderna

Año	Ubicación	Magnitud	Intensidad	Muertes aproximadas
2016	Muisne, Ecuador	7,8	VIII	500
2015	Kathmandu, Nepal	7,8	IX	9000
2011	Honshu, Japón	9,0	VIII	20000
2010	Maule, Chile	8,8	VIII	521
2010	Puerto Príncipe, Haití	7	IX	316000

**Fuente:** “Earthquake” (Bolt, 2021).

**Elaborado por:** Los autores

Además en el mundo desde 1998 al 2017 se han producido alrededor de 563 terremotos de magnitud considerable dejando 747,234 muertes en el mundo (UNDRR. & CRED., 2018) evidenciando la alta amenaza sísmica que someten a

las estructuras, por lo cual se debe de garantizar que las edificaciones deban poseer un buen comportamiento estructural por lo cual el ampliar un software libre que pueda calcular la capacidad de diferentes elementos de acero, tomando en cuenta los tipos de falla suscitados en las diferentes secciones transversales provistas por el mercado, como son: pandeo lateral, pandeo local, pandeo torsional, pandeo torso-flexural, fluencia (ANSI/AISC 360, 2016), permitirá obtener diseños confiables, seguros y económicos.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Realizar un algoritmo que calcule los diferentes tipos de capacidades de elementos de acero, en base a las normas AISC-360, AISC-431 y AISC-358 del 2016, para comparar la relación demanda capacidad de los elementos estructurales, obteniendo así una comprobación para diseño de los elementos mediante un software amigable y confiable para el usuario.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las diferentes combinaciones de carga definidas en la norma AISC para los métodos LRFD y ASD.
- Identificar las diferentes propiedades geométricas en función del tipo de perfil de acero y de las dimensiones del mismo, al igual que las propiedades mecánicas del acero que el usuario del algoritmo desee usar o analizar.
- Clasificar la sección transversal del miembro establecidas en el AISC 360-16 y AISC 341-16 y analizar los diferentes tipos de efectos adversos que reducen la capacidad del elemento estructural, y obtener la capacidad final del elemento.
- Obtener el coeficiente de demanda- capacidad frente a diferentes solicitaciones de cargas que cumplan con las diferentes revisiones sísmicas que las normas definen para las estructuras de acero, estableciendo la aceptación o no de las mismas en cada elemento, previamente obtenido las

diferentes resistencias a los tipos de solicitaciones de carga, haciendo uso de las capacidades determinadas para los perfiles de acero.

- Determinar si la estructura de acero cumple con los requisitos especificados en la norma AISC 341-16, según el tipo de sistema de resistencia sísmico.
- Calcular el corte en la unión viga-columna, el cual servirá para el diseño de uniones, de igual forma revisar la condición viga débil-columna fuerte.

### **1.3. ALCANCE**

El algoritmo que se diseña tendrá como finalidad ayudar al ingeniero en el diseño de estructuras de acero con perfiles normalmente usados en la construcción, por ejemplo: secciones I, ángulos, canales, tubos rectangulares y circulares, etc. Este posee la capacidad de determinar la resistencia de los perfiles ante diferentes tipos de cargas como lo son flexión, axial (tracción y compresión) y corte, según las características del perfil de acero y del material del mismo que el usuario ingrese, finalmente obtenido estos resultados se calcula el coeficiente de demanda-capacidad con la finalidad de determinar si el perfil indicado es suficiente para soportar dichos esfuerzos, cave recalcar que el algoritmo no calcula la demanda, únicamente en función de las solicitaciones previamente ingresadas generará las combinaciones de carga detalladas en las normas AISC-360 y ASCE7. El código analizará requisitos mínimos que la norma específica y realizará advertencias al usuario para que pueda corregir el diseño.

Ciertos parámetros serán asumidos directamente por el algoritmo, pero estos pueden ser cambiados por el usuario, estos se detallarán en los capítulos siguientes.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

#### **1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

El acero estructural en la actualidad es muy utilizado en la construcción de edificaciones de gran envergadura, cada vez, reemplazando a materiales muy

usados anteriormente como lo fue el hormigón armado (ALACERO, 2019), por lo cual, en la actualidad el diseño elementos de acero es muy importante.

El acero es un material muy estudiado en la actualidad debido a que este posee mejores propiedades mecánicas tales como: mayor resistencia, mayor disipación de energía, mayor tenacidad, etc.(Wu & Haimei, 2010), según sea el uso de este, por lo cual en los últimos años se ha ampliado el estudio de este material y ha ampliado la aplicación de elementos de acero en obras civiles, por lo cual el uso de un software o programa que ayude al ingeniero calculista a saber las capacidades de los perfiles de acero que utiliza es de suma importancia para un diseño óptimo y eficiente en acero.

Comparando el acero estructural con un material muy usado en la construcción como lo es el hormigón armado, se puede apreciar que el acero posee mayor resistencia, por lo cual, pese a tener mayor densidad las secciones son muy pequeñas en comparación con las de H.A. dando así estructuras más livianas (aproximadamente un 30% más livianas), al igual se posee aumento en los periodos fundamentales de vibración, desplazamientos y ángulos de rotación de las estructuras, reflejando una estructura mucho más flexible (Liu et al., 2012).

Para el cálculo de la capacidad de los diferentes perfiles de acero para la finalidad de este trabajo se tomarán las fórmulas expresadas en las normas AISC-360, AISC-431 y AISC-358.

#### **1.4.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

Las normas AISC-360, AISC-431 y AISC-358 son normas americanas que regulan el diseño de estructuras de acero laminado en caliente, esta norma se encuentra actualmente aprobada y usada por muchos ingenieros a nivel mundial para el cálculo y diseño de sus propias obras (Pinarbasi et al., 2020), además que estas se encuentran establecidas para el uso y aplicación en estructuras de acero en el Ecuador (NEC, 2015).

Como se conoce los perfiles de acero tienen diferentes tipos de falla del elemento, esto en base al tipo de sección transversal con el cual se está trabajando (ANSI/AISC 360, 2016), debiendo controlar cada tipo de falla para que el elemento

estructural supere los controles y normativa de diseño, estos se encuentran claramente establecidos en la norma mencionada permitiendo que el algoritmo a realizarse este verificado y sea correcto.

### **1.4.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA**

Los software de cálculo y diseño estructural son muy caros en el mercado, problema que lleva a muchos ingenieros a desistir de estos u obtenerlos por medios ilegales (Microgeo, 2016), es por esto por lo que se propone complementar un código que, basado en normas de americanas sobre las estructuras de acero como lo son la: AISC 360-16, AISC 341-16, AISC 358-16, defina las diferentes capacidades que estos elementos puedan tener, de esta forma brindar a los ingenieros estructurales un software de acceso gratuito. También, es de suma importancia que estos software sean de fácil uso y exija al usuario la menor cantidad de intervención por parte de él y tomando en cuenta factores importantes como la funcionalidad y confiabilidad de resultados (Jarrah et al., 2021) . Por lo que se pretende tomar en cuenta todos los fenómenos dados en los perfiles de acero que disminuyen la capacidad del elemento, sistematizándolo para obtener como resultado un análisis confiable y respaldado en las normas de acero americanas.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ACERO

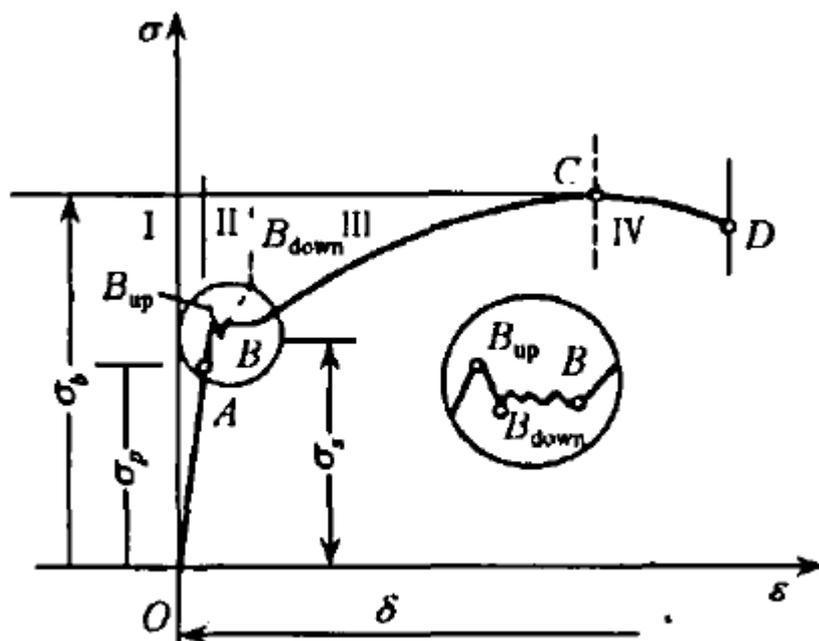
El acero es una aleación, compuesta principalmente por hierro y carbón este por debajo del 2% de la composición y otros diferentes elementos. El acero estructural hace referencia a muchos materiales de acero usados en la construcción, ya sean en diferentes presentaciones como placas, ángulos, tubos, etc.

El acero debido a que su producción es hecha bajo estrictas condiciones y de parámetros, posee las siguientes características: propiedades mecánicas estables, materiales uniformes, mayor resistencia con respecto a otros materiales como el hierro, es soldable, pero cuenta con desventajas como el alto costo y la necesidad de mantenimiento debido a que este material es de fácil corrosión y de que se dañe bajo la presencia de fuego (Wu & Haimei, 2010).

##### 2.1.1. PROPIEDADES MECÁNICAS

- El acero bajo un ensayo de esfuerzo deformación, desarrolla una curva ideal, es decir, al inicio en la zona plástica los esfuerzos son proporcionales a la deformación del mismo, una vez alcanzado el esfuerzo de fluencia la deformación del mismo empieza a ser mayor que los esfuerzos, siendo estas deformaciones plásticas, hasta llegar al punto de esfuerzo de tensión donde este se empieza a deformar y no desarrollar esfuerzos hasta llegar al esfuerzo último, donde el elemento simplemente falla (Wu & Haimei, 2010).
- El módulo de elasticidad o la relación entre la deformación del material y el esfuerzo que este puede soportar en el rango elástico, es decir, el acero puede soportar grandes deformaciones sin que estas sean permanentes. Este valor del módulo de elasticidad en acero estructuras normalmente es tomado como:  $E = (2.0 \sim 2.1) \times 10^5 \text{ MPa}$ . (Wu & Haimei, 2010).

**Ilustración 1.** Curva esfuerzo vs deformación del acero



**Fuente:** “Building materials in civil engineering” (Wu & Haimei, 2010).

- La plasticidad es la capacidad de poder desarrollar esfuerzos y deformaciones permanentes permitiendo disipación de energía a través de estas, el acero posee gran plasticidad lo cual muchas veces ayuda a que las estructuras construidas con acero no fallen, ya que estas son diseñadas en el rango elástico. (Wu & Haimei, 2010).
- La ductilidad es la capacidad de poder disipar energía mediante deformación, calor u otro medio, es decir, poder soportar grandes deformaciones manteniendo su capacidad de carga, el acero posee una gran ductilidad que en muchos casos hace que el peligro de colapso sea reducido. (McCorman & Csernak, 2012)
- La tenacidad es la dualidad entre la resistencia y ductilidad, el acero posee ambas características por lo cual puede soportar que este se doble, soldadura, martillados, cortados, etc. Sin afectar su funcionalidad. (McCorman & Csernak, 2012; Aghayere & Vigil, 2020)

- Las propiedades del acero dependen mucho de su composición, es decir, a mayor contenido de carbono mayor esfuerzo de fluencia y fragilidad, pero su ductilidad y soldabilidad se reduce. (Aghayere & Vigil, 2020)

### **2.1.2. PATOLOGÍAS DE LOS PERFILES DE ACERO**

- Uno de los principales problemas al trabajar con elementos de acero es que estos poseen susceptibilidad al pandeo, en función de que tan largos y esbeltos estos sean, cuando trabajan a compresión puede haber mayor probabilidad de que estos pandeen, a mayor esbeltez, mayor posibilidad de que el elemento pandee. Este problema se puede evitar mediante la adición de rigidizadores. (McCorman & Csernak, 2012).
- Debido a variación en la temperatura de enfriamiento durante la producción del acero laminado en caliente, el doblado de los perfiles laminados en frío, el cote del elemento, aplicar suelda en los elementos o golpes que puede recibir el perfil en el transporte u otro medio, el acero posee un esfuerzo inicial previamente a la aplicación de cargas que en muchos casos no son uniformes, estos son denominados esfuerzos residuales. Estos esfuerzos residuales pueden afectar el módulo de elasticidad, incluso afectar la rigidez de los mismos y en los peores casos puede causar fractura en caso de que estos sean muy altos y los elementos sean sometidos a condiciones muy exigentes. (Aghayere & Vigil, 2020).
- Bajo ciclos de carga y descarga, el acero puede reducir su resistencia si estos ciclos son muy seguidos o también si hay cambio en la magnitud de los esfuerzos de tensión, ya que la fatiga es causada principalmente por tensión. (McCorman & Csernak, 2012). Normalmente la fatiga no se alcanza en edificios, sino que es de mayor relevancia en estructuras que posean mucha variación en sus cargas vivas como lo son: puentes, galpones industriales, etc. (Aghayere & Vigil, 2020).
- El acero, bajo condiciones desventajosas como lo son: la fatiga, bajas temperaturas o altas presiones, pueden hacer que este pierda su ductilidad

y exista una falla frágil en lugares donde los esfuerzos se concentren. (McCorman & Csernak, 2012).

## **2.2. SOLICITACIONES DE CARGA**

Toda fuerza externa aplicada sobre un cuerpo rígido genera reacciones internas dentro del mismo, denominadas fuerzas internas (Beer et al., 2017) al igual que estas generan deformaciones, siendo estas importantes para el diseño de estructuras ya que se debe de conocerlas para poder dimensionar los diferentes elementos, es decir, esta debe ser lo suficientemente fuerte y que no se deforme de manera excesiva (Pytel & Kiusalaas, 2012).

### **2.2.1. AXIAL**

Fuerza perpendicular a la sección transversal del elemento de análisis, pueden ser dos: Tensión, si las fuerzas causan un alargamiento del elemento o compresión si las fuerzas causan un acortamiento del elemento, comúnmente se encuentra este tipo de acción en columnas de las edificaciones, normalmente son constante a lo largo de estas (Beer et al., 2017; Pytel & Kiusalaas, 2012). En elementos estructurales hechos de acero, la compresión axial es muy problemática, ya que estos, si no poseen la esbeltez necesaria puede causar pandeo de la sección.

### **2.2.2. FLEXIÓN**

Momento aplicado perpendicular al eje longitudinal de un elemento estructural, la carga aplicada sobre esta causa que se doble, comúnmente encontrado en vigas de las edificaciones mediante la aplicación de cargas gravitatorias a las mismas, siendo muy difícil el análisis de los mismos, ya que, los momentos flectores varían a lo largo de los elementos. (Beer et al., 2017; Pytel & Kiusalaas, 2012)

### **2.2.3. CORTANTE**

Fuerza perpendicular al eje longitudinal de un elemento estructural, la carga aplicada causa que una parte del elemento quiera deslizarse con respecto a otra del mismo. Al igual que la flexión, se encuentra principalmente en vigas con cargas

gravitatorias y esta varían a lo largo de la misma. (Beer et al., 2017; Pytel & Kiusalaas, 2012)

#### **2.2.4. TORSIÓN**

Momento aplicado perpendicular a la sección transversal del elemento de análisis, también conocido como torque, causado por un efecto de giro o rotación sobre el elemento. Muy común en elementos mecánicos o de maquinaria, pero no se encuentra mucho en las estructuras o en una pequeña magnitud, por lo cual, en ingeniería estructural normalmente es despreciable. (Beer et al., 2017; Pytel & Kiusalaas, 2012)

### **2.3. NORMAS DE DISEÑO DE ACERO**

Normalmente las construcciones en los países como lo son Estados Unidos, Ecuador y muchos otros alrededor del mundo se encuentra reguladas bajo los códigos de construcción o especificaciones técnicas que dan requerimientos mínimos para el óptimo funcionamiento de las estructuras para evitar el riesgo de la vida de los ocupantes y garantizar la seguridad de los mismos (Aghayere & Vigil, 2020). Estas son la agrupación de opiniones y experiencias más valiosas de instituciones como lo son AISC, ASSHTO o el CEN para la buena práctica de los conceptos de ingeniería (McCorman & Csernak, 2012).

Un código de construcción consiste de criterios, especificaciones y estándares, cubriendo todos los aspectos necesarios para el diseño de estructuras, la construcción de los mismos y otros aspectos más. Las normas AISC para el diseño de estructuras de aceros, es referenciada en muchos otros códigos como el IBC o en el caso de algo más local la NEC (Aghayere & Vigil, 2020).

En el presente trabajo se tomarán como referencia tres normas del AISC:

- **AISC 360-16:** Norma estándar para el diseño de estructuras con perfiles de acero conformados en caliente, consiste en criterios que hace referencia al diseño en general, dimensionamiento y propiedades del acero, cálculo de las diferentes capacidades de los perfiles de acero, consideraciones para el diseño de uniones sean soldadas o empernadas, combinaciones de cargas,

entre muchos otros temas como diseño a prueba de fuego que no serán considerados para el trabajo. Cabe recalcar que la norma da especificaciones para los dos métodos de diseños reconocidos: ASD y LRFD.

- **AISC 341-16:** Norma que da requerimientos mínimos para edificaciones ubicadas en zonas de riesgo sísmico, como lo son esbeltez mínima para los perfiles de acero estructural en función de qué tipo de sistema de resistencia sísmica posea la estructura, combinaciones de carga, entre otros factores.
- **AISC 358-16:** Norma para el diseño de uniones para elementos de acero estructural en zonas de riesgo sísmico, sean estas uniones emperradas o soldadas, también hace referencia a diferentes tipos de uniones recomendadas por el AISC.
- **ASCE 7-16:** Código al cual hace referencia el AISC para la toma de valores de carga muerta, viva, lluvia, nieve, sismo, viento, etc., es decir que es complementario a las normas ya mencionadas anteriormente.

El método LRFD su nombre que proviene de sus siglas en inglés “Load and Resistance Factor Design Method” o “Diseño por factores de carga y resistencia” en español, este considera las incertidumbres o variaciones de las fuerzas de los miembros estructurales, las cargas aplicadas y la resistencia de los mismos mediante el uso de factores que modifican, tanto las cargas aplicadas como la resistencia de los elementos estructurales (Aghayere & Vigil, 2020).

El método ASD su nombre que proviene de sus siglas en inglés “Allowable Strength Design” o “Diseño por esfuerzos permisibles”, cabe recalcar que tanto el método LRFD y ASD se basan en el diseño por estados límites, es decir, define resistencias mínimas que debe de cumplir la estructura y ambos buscan minimizar la diferencia entre la resistencia y la carga que se determina en el diseño con lo que se tendrá en la realidad, reduciendo así la probabilidad de colapso de la estructura (McCorman & Csernak, 2012; Aghayere & Vigil, 2020).

Los métodos difieren en la toma de valores para modificar sus combinaciones de carga y los factores que modifican la resistencia, siendo para el ASD el factor de

seguridad o FS el usado para reducir las capacidades de los elementos y en el LRFD se usan factores de reducción de la resistencia, este último método también toma factores que modifican la resistencia de la estructura (Ramirez Palomino & Carrasco Gutiérrez, 2019).

### **2.3.1. ESPECIFICACIONES PARA ESTRUCTURAS DE ACERO (AISC 360-16)**

#### **2.3.1.1 Combinaciones de carga**

Los elementos estructurales deben de ser diseñado de tal forma, de que las capacidades de los mismos sean mayores que los efectos de las cargas factorizadas, sea este el método de diseño LRFD o ASD. La norma AISC 360-16 hace referencia a las combinaciones de carga expresadas en la norma ASCE 7-16.

Las cargas tomadas en cuenta por la norma son las siguientes: Muerta ( $D$ ), Viva ( $L$ ), Viva del techo ( $L_r$ ), Nieve ( $S$ ), Lluvia ( $R$ ) y Viento ( $W$ ). Las cargas por sismo no son tomadas en cuenta ya que se tomarán para la norma AISC 341-16. Cave recalcar que las cargas por viento y la de nieve pueden ser reversibles.

##### **2.3.1.1.1. Combinaciones de carga LRFD**

- $1.4D$  **(2.3.1.1.1)**
- $1.2D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$  **(2.3.1.1.2)**
- $1.2D + 1.6(L_r \text{ o } S \text{ o } R) + (L \text{ o } 0.5W)$  **(2.3.1.1.3)**
- $1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$  **(2.3.1.1.4)**
- $0.9D + 1.0W$  **(2.3.1.1.5)**

##### **2.3.1.1.2. Combinaciones de carga ASD**

- $D$  **(2.3.1.1.6)**
- $D + L$  **(2.3.1.1.7)**
- $D + (L_r \text{ o } S \text{ o } R)$  **(2.3.1.1.8)**
- $D + 0.75L + 0.75(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$  **(2.3.1.1.9)**

- $D + (0.6W)$  **(2.3.1.1.10)**
- $D + 0.75L + 0.75(0.6W) + 0.75(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$  **(2.3.1.1.11)**
- $0.6D + 0.6W$  **(2.3.1.1.12)**

### 2.3.1.2. Clasificación de las secciones por pandeo local

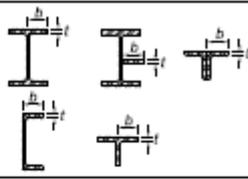
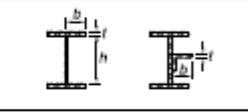
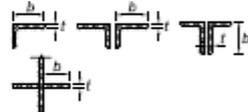
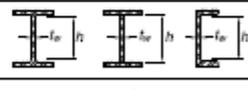
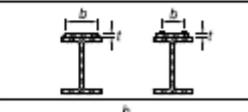
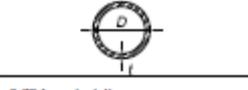
Todos los perfiles de acero pueden sufrir de un fenómeno conocido como pandeo local, si este posee una esbeltez muy excesiva. La norma clasifica los perfiles sometidos ante compresión axial y flexión según su esbeltez para poder castigar su capacidad ante la acción sometida.

Los elementos sometidos a compresión axial se clasifican principalmente en elementos esbeltos y no-esbeltos, esto dependiendo de un factor  $\lambda_r$  que se definirá posteriormente, la relación largo-espesor no debe de ser mayor que  $\lambda_r$  y si este la relación largo-espesor es superada o igualada, se caracteriza como un elemento esbelto.

Elementos bajo fuerzas que provoquen flexión deben de ser calificados como elementos compactos, no-compactos o esbeltos, para poder ser calificados como compacto los patines de los perfiles deben de estar conectados continuamente al alma y de poseer una relación largo-espesor que no exceda  $\lambda_p$ , si la relación largo-espesor supera  $\lambda_p$  pero no excede el valor de  $\lambda_r$  el elemento se clasifica como no-compacto y en caso de superar  $\lambda_r$  se denomina al elemento como esbelto.

A continuación, se presentan tablas, las cuales ayuda a clasificar los perfiles de acero ante pandeo local y como determinar los valores:

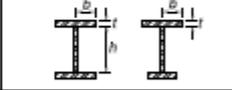
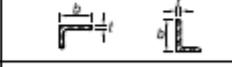
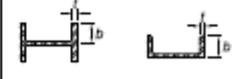
Ilustración 2. Clasificación de perfiles de acero ante compresión axial

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

<sup>(a)</sup> $k_c = 4\sqrt{h/t_w}$ , but shall not be taken less than 0.35 nor greater than 0.76 for calculation purposes.

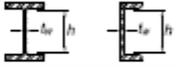
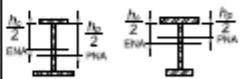
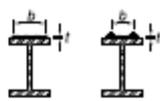
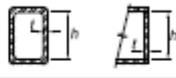
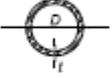
Fuente: “Specification for Structural Steel Buildings, an American National Standard” (ANSI/AISC 360, 2016).

**Ilustración 3. Clasificación de perfiles de acero sometidos a flexión**

<b>TABLE B4.1b</b>						
<b>Width-to-Thickness Ratios: Compression Elements</b>						
<b>Members Subject to Flexure</b>						
Case	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio		Examples	
			$\lambda_p$ (compact/ noncompact)	$\lambda_r$ (noncompact/ slender)		
Unstiffened Element	10	Flanges of rolled I-shaped sections, channels, and tees	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Flanges of doubly and singly symmetric I-shaped built-up sections	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$	
	12	Legs of single angles	$b/t$	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Flanges of all I-shaped sections and channels in flexure about the minor axis	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	Stems of tees	$d/t$	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.52 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

**Fuente:** “Specification for Structural Steel Buildings, an American National Standard” (ANSI/AISC 360, 2016).

Ilustración 4. Continuación clasificación de perfiles de acero sometidos a flexión

TABLE B4.1b (continued) Width-to-Thickness Ratios: Compression Elements Members Subject to Flexure						
Case	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting		Examples	
			$\lambda_p$ (compact/ noncompact)	$\lambda_r$ (noncompact/ slender)		
Stiffened Elements	15	Web of doubly symmetric I-shaped sections and channels	$h/t_w$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16	Web of singly symmetric I-shaped sections	$h_c/t_w$	$\frac{h_c}{h_p} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ [B] $\left( \frac{0.54 M_p}{M_y} - 0.09 \right)^2$ $\leq \lambda_p$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	17	Flanges of rectangular HSS	$b/t$	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	Flange cover plates and diaphragm plates between lines of fasteners or welds	$b/t$	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	Web of rectangular HSS and box sections	$h/t$	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	20	Round HSS	$D/t$	$0.07 \frac{E}{F_y}$	$0.3 \frac{E}{F_y}$	
	21	Flanges of box sections	$b/t$	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

[B]  $\lambda_c = 4(\sqrt{h/t_w})$ , shall not be taken less than 0.35 nor greater than 0.76 for calculation purposes.  
 [C]  $F_1 = 0.7F_y$  for slender web I-shaped members and major-axis bending of compact and noncompact web built-up I-shaped members with  $S_{xc}/S_{yc} \geq 0.7$ ;  $F_1 = F_y S_{xc}/S_{yc} > 0.5F_y$  for major-axis bending of compact and noncompact web built-up I-shaped members with  $S_{xc}/S_{yc} < 0.7$ , where  $S_{xc}$ ,  $S_{yc}$  = elastic section modulus referred to compression and tension flanges, respectively, in<sup>3</sup> (mm<sup>3</sup>).  
 [D]  $M_y$  is the moment at yielding of the extreme fiber;  $M_p = F_y Z_x$ , plastic bending moment, kip-in. (N-mm), where  $Z_x$  = plastic section modulus taken about x-axis, in.<sup>3</sup> (mm<sup>3</sup>).  
 E = modulus of elasticity of steel = 29,000 ksi (200,000 MPa)      ENA = elastic neutral axis  
 F<sub>y</sub> = specified minimum yield stress, ksi (MPa)      PNA = plastic neutral axis

Fuente: “Specification for Structural Steel Buildings, an American National Standard” (ANSI/AISC 360, 2016).

Donde:

- E, “Módulo de elasticidad del acero” (ANSI/AISC 360, 2016), se puede tomar como 200000 MPa.
- F<sub>y</sub>, “Esfuerzo de fluencia del acero” (ANSI/AISC 360, 2016), valor del acero a usar.

- $F_L$ , “Resistencia nominal de compresión del acero” (ANSI/AISC 360, 2016), según el acero a usar. Para secciones con doble simetría se puede tomar como:  $F_L = 0.7F_y$ . Para secciones con simetría simple se puede tomar como:  

$$F_L = \frac{S_{xt}}{S_{xc}} F_y, 0.5F_y \leq F_L \leq 0.7F_y$$
- $b$ , “Ancho total del ala en compresión” (ANSI/AISC 360, 2016), se especifica como tomar este valor en las tablas antes mencionadas.
- $h$ , “Altura libre del elemento de análisis” (ANSI/AISC 360, 2016), se especifica como determinar el valor en las tablas antes mencionadas.
- $D$ , “Diámetro exterior de perfil circular” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $t, t_w$ , “Espesor del elemento analizado” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $k_c$ , “Coeficiente para elementos esbeltos no atiesados” (ANSI/AISC 360, 2016), especificado en la tabla la fórmula para determinarlo.  $k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$ ,  
 $0.35 \leq k_c \leq 0.76$ .

### 2.3.1.3. Diseño de miembros a tracción axial

La capacidad nominal o capacidad de diseño, es la resistencia que se espera que el perfil de acero pueda desarrollar en condiciones ideales, es decir, esta no representa la capacidad real del perfil, ya que esta puede ser menor debido a problemas con el material o de las ecuaciones de diseño.

A diferencia de los elementos sometido ante compresión axial y flexión, la norma no especifica un requerimiento límite de esbeltez o los clasifica, ya que este tipo de acción no es tan agresiva a los perfiles de acero, pero si recomienda que la esbeltez del elemento de análisis no sea mayor de 300.

La resistencia de diseño en tracción,  $\phi_t P_n$  (método LRFD) y la resistencia admisible en tracción,  $P_n/\Omega_t$  (método ASD), siempre debe de ser tomado como el menor valor que se obtenga en función de los estados límites: Fluencia en tracción en la sección bruta y Ruptura en tracción en la sección neta.

- a) Fluencia en tracción en la sección bruta:

$$P_n = F_y A_g \quad (3.3.1.3.1)$$

$$\phi_t = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_t = 1.67 \text{ (ASD)}$$

Donde:

- $F_y$ , "Tensión de fluencia del acero" (ANSI/AISC 360, 2016) en análisis.
- $A_g$ , "Área bruta de la sección" (ANSI/AISC 360, 2016).

b) Ruptura en tracción en la sección neta:

$$P_n = F_u A_e \quad (3.3.1.3.2)$$

$$\phi_t = 0.75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_t = 2.00 \text{ (ASD)}$$

Donde:

- $F_u$ , "Resistencia a tracción mínima" (ANSI/AISC 360, 2016) especificada para el acero.
- $A_e$ , "Área efectiva" (ANSI/AISC 360, 2016).

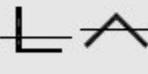
#### 2.3.1.4. Diseño de miembros en compresión axial

La resistencia a compresión de diseño,  $\phi_c P_n$  (método LRFD) y la resistencia a compresión admisible,  $P_n/\Omega_c$  (método ASD), tomando como la resistencia nominal a compresión como el de menor valor que se obtenga de acuerdo a los estados límites, los cuales son: pandeo por flexión, pandeo torsional y pandeo flexo-torsional. El valor de reducción de la capacidad para compresión es  $\phi_c = 0.90$  (LRFD) y el factor de seguridad  $\Omega_c = 1.67$  (ASD).

La norma recomienda que, para elementos sometidos a compresión, su esbeltez o  $KL/r$  no debe de exceder 200, siendo este no un impedimento para el uso de elementos cuya esbeltez sea mayor que el valor definido previamente.

En la ilustración 5 se presenta una tabla, según el tipo de perfil de acero que se analiza, cuales son los estados límites que se deberán de analizar.

**Ilustración 5.** Resumen de estados límites según el tipo de perfil de análisis

TABLE USER NOTE E1.1 Selection Table for the Application of Chapter E Sections				
Cross Section	Without Slender Elements		With Slender Elements	
	Sections In Chapter E	Limit States	Sections In Chapter E	Limit States
	E3 E4	FB TB	E7	LB FB TB
	E3 E4	FB FTB	E7	LB FB FTB
	E3	FB	E7	LB FB
	E3	FB	E7	LB FB
	E3 E4	FB FTB	E7	LB FB FTB
	E6 E3 E4	FB FTB	E6 E7	LB FB FTB
	E5		E5	
	E3	FB	N/A	N/A
Unsymmetrical shapes other than single angles	E4	FTB	E7	LB FTB

FB = flexural buckling, TB = torsional buckling, FTB = flexural-torsional buckling, LB = local buckling, N/A = not applicable

**Fuente:** “Specification for Structural Steel Buildings, an American National Standard” (ANSI/AISC 360, 2016).

La determinación de la longitud efectiva es de suma importancia para el cálculo de la longitud efectiva o  $L_c$ , donde este factor es igual a  $KL$ , siendo  $K$  el “factor de longitud efectiva” y  $L$  distancia longitudinal en el sentido de análisis, de acuerdo con el ANEXO 7 de la norma se especifica el valor de  $K$  en los siguientes casos:

- En sistemas estructurales con: marcos arriostrados, muros de corte, y otros tipos de sistemas estructurales en el cual exista estabilidad lateral y de resistencia a cargas laterales que no dependa de la rigidez a flexión de las

columnas, el factor de longitud efectiva puede tomarse con un valor de 1,0. Se puede justificar un valor menor con un análisis justificatorio.

- b) En sistemas de marco de momento y otros sistemas estructurales que su rigidez a flexión de columnas sean el mayor indicador de la resistencia ante cargas laterales y su estabilidad lateral, en columnas no se considere que su rigidez no aporta a la estabilidad lateral, se puede tomar como 1,0.

#### 2.3.1.4.1. Pandeo flexural de miembros sin elementos esbeltos

La resistencia nominal a compresión o  $P_n$ , dado el estado límite de pandeo por flexión, se determina como:

$$P_n = F_{cr}A_g \quad (3.3.1.4.1)$$

La tensión de pandeo por flexión o  $F_{cr}$ , se determinará según los siguientes casos:

a) Si  $\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  o  $\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$

$$F_{cr} = (0.658 \frac{F_y}{F_e}) F_y \quad (3.3.1.4.2)$$

b) Si  $\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  o  $\frac{F_y}{F_e} > 2.25$

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (3.3.1.4.3)$$

Donde:

- $A_g$ , "Área bruta de la sección" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $E$ , "Módulo de elasticidad del acero" (ANSI/AISC 360, 2016), 200000 MPa.
- $F_e$ , "Tensión de pandeo elástico" (ANSI/AISC 360, 2016) o esfuerzo de Euler,  $\frac{\pi^2 E}{(\frac{KL}{r})^2}$  (3.3.1.4.4).
- $F_y$ , "Tensión de fluencia del acero en análisis" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $r$ , "Radio de giro de la sección" (ANSI/AISC 360, 2016).

### 2.3.1.4.2. Pandeo torsional y flexo-torsional de ángulos simples y miembros sin elementos esbelto

Aplicable para miembros que contengan simetría simple o asimetría y en pocos casos que posean simetría doble, cuyos elementos no sean esbeltos. Se aplica en ángulos simples en los que se cumpla  $\frac{b}{t} > 0.71\sqrt{E/F_y}$ , siendo b el ancho del ala de mayor longitud y t su espesor.

La resistencia nominal a compresión o  $P_n$ , dado el estado límite de pandeo por torsión o flexo-torsión, se determina como:

$$P_n = F_{cr}A_g \quad (3.3.1.4.5)$$

La tensión crítica,  $F_{cr}$ , se determinará en función de lo antes expuesto (3.3.1.4.2) y (3.3.1.4.3), usando la tensión por pandeo elástico torsional o flexo-torsional,  $F_e$ , se determina según los siguientes casos:

- a) Miembros con doble simetría, que roten sobre el centro de corte:

$$F_e = \left( \frac{\pi^2 EC_w}{(K_z L)^2} + GJ \right) \frac{1}{I_x + I_y} \quad (3.3.1.4.6)$$

- b) Miembros con simetría simple, que roten sobre el centro de corte y coinciden con el eje de simetría:

$$F_e = \left( \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2H} \right) \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{ey}F_{ez}H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right] \quad (3.3.1.4.7)$$

En caso de poseer simetría simple y que la simetría sea sobre el eje x,  $F_{ey}$  se reemplazará con  $F_{ex}$ .

- c) Miembros asimétricos, que roten sobre su centro de corte,  $F_e$  será la menor respuesta a la siguiente ecuación cúbica:

$$(F_e - F_{ex})(F_e - F_{ey})(F_e - F_{ez}) - F_e^2(F_e - F_{ey})\left(\frac{x_o}{r_o}\right)^2 - F_e^2(F_e - F_{ex})\left(\frac{y_o}{r_o}\right)^2 = 0 \quad (3.3.1.4.8)$$

Donde:

- $C_w$ , “Constante de alabeo” (ANSI/AISC 360, 2016), característica geométrica del perfil
  - $F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cx}}{r_x}\right)^2}$ ,  $F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{cy}}{\bar{r}_y}\right)^2}$ ,  $F_{ez} = \left(\frac{\pi^2 E C_w}{L_{cz}^2} + GJ\right) \frac{1}{A_g \bar{r}_o^2}$  (3.3.1.4.9).
  - $G$ , “Módulo de corte del acero” (ANSI/AISC 360, 2016), 77200 MPa.
  - $H = 1 - \frac{x_o^2 + y_o^2}{\bar{r}_o^2}$ , “Constante de flexión” (ANSI/AISC 360, 2016).
  - $I_x, I_y$ , “Momento de inercia sobre los ejes principales de la sección” (ANSI/AISC 360, 2016).
  - $J$ , “Constante torsional” (ANSI/AISC 360, 2016).
  - $K_x, K_y, K_z$ , “Factores de longitud efectiva” (ANSI/AISC 360, 2016) para pandeo por flexión respecto a sus diferentes ejes.
  - $L_x, L_y, L_z$ , “Longitud lateral no arriestra” (ANSI/AISC 360, 2016) del miembro por cada eje.
  - $\bar{r}_o$ , “Radio de giro polar sobre el centro de corte” (ANSI/AISC 360, 2016).
  - $\bar{r}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g}$
  - $r_x, r_y$ , “Radio de giro en torno a sus ejes” (ANSI/AISC 360, 2016).
  - $x_o, y_o$ , “Coordenadas del centro del corte con respecto a su centroide” (ANSI/AISC 360, 2016).
- d) Miembros con arriostamiento lateral fuera del centro de corte, deberán de usar diferentes métodos para la determinación de la tensión  $F_e$ .

#### 2.3.1.4.3. Miembros con elementos esbeltos

Únicamente se analizará los perfiles cuyos elementos sean clasificados como esbeltos bajo los criterios expuestos anteriormente, la resistencia teórica de compresión será tomado como el menor valor analizando los estados límites de

pandeo por flexión, torsión o flexo-torsión, tomando en cuenta el pandeo local debido a la condición de poseer elementos esbeltos.

$$P_n = F_{cr} A_e \quad (3.3.1.4.10)$$

Donde:

- $A_e$ , “Área efectiva de la sección transversal” (ANSI/AISC 360, 2016) basada en los anchos efectivos, que se han corregido según los criterios de esta sección.
- $F_{cr}$ , “Tensión crítica” (ANSI/AISC 360, 2016) determinada bajo los criterios de las secciones anteriores.

#### 2.3.1.4.3.1. Miembros con elementos esbeltos, excluyendo las secciones cilíndricas

El ancho efectivo o  $b_e$ , en elementos esbeltos deberá de ser calculada según los siguientes criterios:

a) Si  $\lambda \leq \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}}$

$$b_e = b \quad (3.3.1.4.11)$$

b)  $\lambda > \lambda_r \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}}$

$$b_e = b \left(1 - c_1 \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}\right) \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} \quad (3.3.1.4.12)$$

Donde:

- $b$ , “Ancho original del elemento” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $c_1$ , “Factor de ajuste por imperfecciones en ancho efectivo” (ANSI/AISC 360, 2016), la Ilustración 7 indica como determinar este valor.
- $c_2 = \frac{1 - \sqrt{1 - 4c_1}}{2c_1} \quad (3.3.1.4.13)$
- $\lambda$ , “Relación ancho-espesor” (ANSI/AISC 360, 2016) determinado bajo los criterios ya mencionados.

- $\lambda_r$ , “Límite de esbeltez” ” (ANSI/AISC 360, 2016) determinado bajo los criterios ya mencionados.
- $F_{el} = \left(c_2 \frac{\lambda_r}{\lambda}\right)^2 F_y$ , “Tensión por pandeo local elástico” (ANSI/AISC 360, 2016).

**Ilustración 6. Factores de ajuste de imperfección**

<b>TABLE E7.1</b>			
<b>Effective Width Imperfection Adjustment Factors,</b>			
<b><math>c_1</math> and <math>c_2</math></b>			
<b>Case</b>	<b>Slender Element</b>	<b><math>c_1</math></b>	<b><math>c_2</math></b>
(a)	Stiffened elements except walls of square and rectangular HSS	0.18	1.31
(b)	Walls of square and rectangular HSS	0.20	1.38
(c)	All other elements	0.22	1.49

**Fuente:** “Specification for Structural Steel Buildings, an American National Standard” (ANSI/AISC 360, 2016).

**2.3.1.4.3.2. Secciones tubulares**

En caso de tener perfiles tubulares cilíndricos, el área efectiva se determinará de la siguiente forma:

a) Si  $\frac{D}{t} \leq 0.11 \frac{E}{F_y}$

$$A_e = A_g \quad \text{(3.3.1.4.14)}$$

b) Si  $0.11 \frac{E}{F_y} < \frac{D}{t} < 0.45 \frac{E}{F_y}$

$$A_e = \left[ \frac{0.038E}{F_y \left(\frac{D}{t}\right)} + \frac{2}{3} \right] A_g \quad \text{(3.3.1.4.15)}$$

Donde:

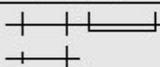
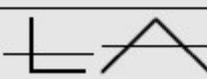
- $D$ , “Diámetro exterior del tubo de acero” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $t$ , “Espesor del tubo” (ANSI/AISC 360, 2016).

**2.3.1.5. Diseño para miembros en flexión**

Comprende el cálculo de la resistencia nominal a flexión de elementos que se encuentren bajo los efectos de flexión simple a lo largo de su eje principal. En la

Ilustración 7, se presenta una tabla donde de los estados límites de análisis para diferentes tipos de perfiles:

**Ilustración 7. Estados límites para miembros sometidos a flexión**

TABLE USER NOTE F1.1 Selection Table for the Application of Chapter F Sections				
Section in Chapter F	Cross Section	Flange Slenderness	Web Slenderness	Limit States
F2		C	C	Y, LTB
F3		NC, S	C	LTB, FLB
F4		C, NC, S	C, NC	CFY, LTB, FLB, TFY
F5		C, NC, S	S	CFY, LTB, FLB, TFY
F6		C, NC, S	N/A	Y, FLB
F7		C, NC, S	C, NC, S	Y, FLB, WLB, LTB
F8		N/A	N/A	Y, LB
F9		C, NC, S	N/A	Y, LTB, FLB, WLB
F10		N/A	N/A	Y, LTB, LLB
F11		N/A	N/A	Y, LTB
F12	Unsymmetrical shapes, other than single angles	N/A	N/A	All limit states

Y = yielding, CFY = compression flange yielding, LTB = lateral-torsional buckling, FLB = flange local buckling, WLB = web local buckling, TFY = torsion flange yielding, LLB = leg local buckling, LB = local buckling, C = compact, NC = noncompact, S = slender, N/A = not applicable

**Fuente:** “Specification for Structural Steel Buildings, an American National Standard” (ANSI/AISC 360, 2016).

La resistencia de diseño en flexión,  $\phi_b M_n$  (método LRFD) y la resistencia admisible en flexión,  $M_n/\Omega_b$  (método ASD), deben de ser tomados los siguientes puntos:

- El factor de reducción para la flexión es  $\phi_b = 0.90$  (LRFD) y el facto de seguridad para flexión  $\Omega_b = 1.67$  (ASD).

- b) Las formulas y diferentes aspectos dichos en esta sección, se basan en la premisa que los nudos de apoyo de elementos se encuentran restringidas a rotación en su eje longitudinal.
- c) En miembros con simetría simple con curvatura simple y todos los diferentes elementos que posean doble simetría debe de tomarse lo siguiente: para la determinación de la resistencia nominal con respecto a su eje principal, en el análisis del estado límite de pandeo lateral-torsional (LTB), se usa el factor de modificación de pandeo lateral-torsional o  $C_b$  para momento no uniformes.

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max}+3M_A+4M_B+3M_C} \quad (3.3.1.5.1)$$

Donde:

- $M_{max}$ , “Valor absoluto del momento máximo en el segmento no arriostrado” (ANSI/AISC 360, 2016)
- $M_A$ , “Valor absoluto del momento en el primer cuarto del segmento no arriostrado” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $M_B$ , “Valor absoluto del momento en el centro del segmento no arriostrado” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $M_B$ , “Valor absoluto del momento en el tercer cuarto del segmento no arriostrado” (ANSI/AISC 360, 2016).

En miembros que posean simetría doble y que no posea cargas transversales entre los arriostramientos, el factor antes mencionado debe de ser tomado como 1.0 en casos donde los momentos extremos poseen el mismo signo, 2.27 en el caso que exista signos opuestos en los extremos y 1.67 en caso de que exista un valor de 0 en los extremos. En vigas que formen parte de un voladizo en donde no exista alabeo y el extremo no este arriostrado  $C_b = 1.0$ .

- d) Miembros que posean simetría simple que se encuentren bajo los efectos de flexión, debe de ser analizado el LTB en ambas alas, la resistencia disponible debe de ser tomado como: mayor que el máximo momento requerido que causa compresión del ala bajo el análisis.

### 2.3.1.5.1. Miembros compactos de sección I de simetría doble y canales flectados en torno a su eje mayor

Las siguientes revisiones y criterios serán aplicadas para secciones I con doble simetría y canales dobles que posean almas y alas compactas según los criterios anteriormente definidos. La resistencia nominal a flexión,  $M_n$  debe de ser el menor valor determinado del análisis de los estados límites de fluencia y pandeo lateral-torsional.

#### 2.3.1.5.1.1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (3.3.1.5.2)$$

Donde:

- $F_y$ , “Tensión de fluencia mínima” (ANSI/AISC 360, 2016) según las especificaciones del acero a utilizar.
- $Z_x$ , “Módulo de sección plástico en torno al eje x” (ANSI/AISC 360, 2016).

#### 2.3.1.5.1.2. Pandeo lateral-torsional

a) Si  $L_b \leq L_p$ , el LTB no debe de ser analizado.

b) Si  $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[ M_p (M_p - 0.7 F_y Z_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (3.3.1.5.3)$$

c) Si  $L_b > L_r$

$$M_n = F_y Z_x \leq M_p \quad (3.3.1.5.4)$$

Donde:

- $L_b$ , “Longitud entre los puntos, que se encuentra arriostrados contra desplazamientos laterales del ala comprimida o arriostrados contra los giros en la sección transversal” (ANSI/AISC 360, 2016).

- $F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0.0078 \frac{J_c}{S_x h_o} \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$  **(3.3.1.5.5)** ,Tensión crítica " (ANSI/AISC 360, 2016).
- $E$ , "Módulo de elasticidad del acero" (ANSI/AISC 360, 2016), 200000 MPa.
- $J$ , "Constante torsional" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $S_x$ , "Módulo de sección elástica en torno al eje x" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $h_o$ , "Distancia entre los centroides de las alas" (ANSI/AISC 360, 2016).

La longitud no arriostrada para el estado límite de fluencia o  $L_p$ , se determina como:

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \mathbf{(3.3.1.5.6)}$$

La longitud no arriostrada para LTB inelástico o  $L_r$ , se determina de la siguiente forma:

$$L_r = 1.95 r_{ts} \frac{E}{0.7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{S_x h_o} + \sqrt{\left(\frac{J_c}{S_x h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{0.7 F_y}{E}\right)^2}} \quad \mathbf{(3.3.1.5.7)}$$

Donde:

- $r_y$ , "Radio de giro sobre el eje y de la sección" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y C_w}}{S_x}$

El coeficiente  $c$  se determina de la siguiente forma:

1) Perfiles I de doble simetría

$$c = 1 \quad \mathbf{(3.3.1.5.8a)}$$

2) Perfiles canales

$$c = \frac{h_o}{2} \sqrt{\frac{I_y}{C_w}} \quad \mathbf{(3.3.1.5.8b)}$$

### 2.3.1.5.2. Miembros de sección I de simetría doble con almas compactas y alas no compactas o esbeltas flectadas en torno a su eje mayor

Las siguientes revisiones y criterios serán aplicadas para secciones I con doble simetría flectados sobre su eje que posean las almas compactas y alas no compactas o esbeltas definidas bajo los criterios expuestos con anterioridad. La resistencia nominal a flexión,  $M_n$  debe de ser el menor valor determinado del análisis de los estados límites de pandeo lateral-torsional y pandeo local del ala en compresión.

#### 2.3.1.5.2.1. Pandeo lateral torsional

Definido en la sección anterior.

#### 2.3.1.5.2.2. Pandeo local del ala en compresión

a) Perfiles con alas no compactas

$$M_n = M_p - (M_p - 0.7F_y Z_x) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \quad (3.3.1.5.9)$$

b) Perfiles con alas esbeltas

$$M_n = \frac{0.9Ek_c S_x}{\lambda^2} \quad (3.3.1.5.10)$$

Donde:

- $k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$ ; valor que por facilidad en los cálculos no debe de ser menor que 0.35 ni mayor que 0.76.
- $h$ , "Altura del alma" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$
- $b_f$ , "Ancho del ala" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $t_f$ , "Espesor del ala" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $\lambda_{pf}$ , "Razón de esbeltez límite para ala compacta" (ANSI/AISC 360, 2016).

- $\lambda_{rf}$ , “Razón de esbeltez para ala no compacta” (ANSI/AISC 360, 2016).

### 2.3.1.5.3. Otros miembros de sección I con almas compactas o no compactas flectados en torno a su eje mayor

Las siguientes revisiones y criterios serán aplicadas para secciones I que posean doble simetría que se encuentren flectados sobre su eje mayor que posean almas no compactas y miembros de sección I que posean simetría simple con almas se encuentren unidas a la mitad del ancho de las alas y se encuentren flectados sobre su eje mayor que posean almas compactas o no compactas, basados en los criterios expuestos anteriormente. La resistencia nominal a flexión,  $M_n$  se toma como el menor valor determinado del análisis de los estados límites de fluencia del ala en compresión, pandeo lateral-torsional, pandeo local del ala en compresión y fluencia del ala en tracción.

#### 2.3.1.5.3.1. Fluencia del ala en compresión

$$M_n = R_{pc}M_{yc} \quad (3.3.1.5.11)$$

Donde:

- $M_{yc} = F_y S_{xc}$ , “Momento de fluencia del ala en compresión” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $R_{pc}$ , “Factor de plastificación del alma” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $S_{xc}$ , “Módulo elástico de la sección referido al ala en compresión” (ANSI/AISC 360, 2016).

#### 2.3.1.5.3.2. Pandeo lateral-torsional

a) Si  $L_b \leq L_p$ , el LTB no debe de ser analizado.

3. Si  $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[ R_{pc}M_{yc} - (R_{pc}M_{yc} - F_L S_{xc}) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq R_{pc}M_{yc} \quad (3.3.1.5.12)$$

4. Si  $L_b > L_r$

$$M_n = F_{cr}S_{xc} \leq R_{pc}M_{yc} \quad (3.3.1.5.13)$$

Donde:

1)  $M_{yc} = F_y S_{xc}$  (3.3.1.5.14), “Momento de fluencia del ala en compresión” (ANSI/AISC 360, 2016).

2)  $F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2} \sqrt{1 + 0.0078 \frac{J}{S_{xc} h_o} \left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2}$  (3.3.1.5.15), “Tensión crítica” (ANSI/AISC 360, 2016). En caso de  $\frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0.23$ , debe de ser tomado como cero.

3)  $I_{yc}$ , “Momento de inercia del ala en compresión sobre el eje y.” (ANSI/AISC 360, 2016)

4)  $F_L$ , Tensión nominal del ala en compresión en la cual se analiza el estado límite de pandeo inelástico” (ANSI/AISC 360, 2016), se debe de analizar cómo se expresa a continuación:

I. Si  $\frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0.7$

$$F_L = 0.7F_y \quad (3.3.1.5.16a)$$

II. Si  $\frac{S_{xt}}{S_{xc}} < 0.7$

$$F_L = F_y \frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0.5F_y \quad (3.3.1.5.16b)$$

- $S_{xt}$ , “Módulo elástico de la sección con respecto al ala en tracción” (ANSI/AISC 360, 2016).

5)  $L_p = 1.1r_t \sqrt{\frac{E}{F_y}}$  (3.3.1.5.17), “Longitud no arriostrada para el estado límite de fluencia” (ANSI/AISC 360, 2016).

6)  $L_r = 1.95r_t \frac{E}{F_L} \sqrt{\frac{J}{S_{xc} h_o} + \sqrt{\left(\frac{J}{S_{xc} h_o}\right)^2 + 6.76 \left(\frac{F_L}{E}\right)^2}}$  (3.3.1.5.18), “Longitud no arriostrada para el estado límite de pandeo lateral-torsional inelástico” (ANSI/AISC 360, 2016).

7)  $R_{pc}$ , “Factor de plastificación del alma” (ANSI/AISC 360, 2016), se calcula de la siguiente forma:

$$1) \text{ Si } \frac{I_{yc}}{I_y} > 0.23$$

$$\text{I. Si } \frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw}$$

$$R_{pc} = \frac{M_P}{M_{yc}} \quad \mathbf{(3.3.1.5.19a)}$$

$$\text{II. Si } \frac{h_c}{t_w} > \lambda_{pw}$$

$$R_{pc} = \left[ \frac{M_P}{M_{yc}} - \left( \frac{M_P}{M_{yc}} - 1 \right) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_P}{M_{yc}} \quad \mathbf{(3.3.1.5.19b)}$$

$$2) \text{ Si } \frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0.23$$

$$R_{pc} = 1.0 \quad \mathbf{(3.3.1.5.20)}$$

Donde:

- $M_n = F_y Z_x \leq 1.6 F_y S_x$
  - $h_c$ , “Doble de la distancia que existe entre el centroide de las siguientes opciones: Cara interna del ala en compresión menos el radio de filete o de esquina, línea más cercana de persona en el ala en compresión o la cara interna del ala en compresión” (ANSI/AISC 360, 2016).
  - $\lambda = \frac{h_c}{t_w}$
  - $\lambda_{pw}$ , “Razón de esbeltez límite para ala compacta” (ANSI/AISC 360, 2016).
  - $\lambda_{rw}$ , “Razón de esbeltez para ala no compacta” (ANSI/AISC 360, 2016).
- 8)  $r_t$ , “Radio efectivo de giro para pandeo lateral-torsional” (ANSI/AISC 360, 2016), se calcula de la siguiente forma:

I. Secciones I con ala rectangular en compresión:

$$r_t = \frac{b_{fc}}{\sqrt{12\left(1+\frac{1}{9}a_w\right)}} \quad (3.3.1.5.21)$$

Donde:

- $a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}}$
- $b_{fc}$ , “Ancho del ala en compresión” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $t_{fc}$ , “Espesor del ala en compresión” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $t_w$ , “Espesor del alma” (ANSI/AISC 360, 2016).

II. Secciones I con canales o placas de cubiertas fijadas al ala en compresión:

- $r_t$ , “Radio de giro de los componentes del ala en compresión por flexión, sumado a un tercio del área del alma en compresión debido al efecto de flexión en torno al eje mayor” (ANSI/AISC 360, 2016).

#### 2.3.1.5.3.3. Pandeo local del ala en compresión

- a) Perfiles con alas compactas, no se debe de analizar este límite.
- b) Perfiles con alas no compactas.

$$M_n = R_{pc} M_{yc} - (R_{pc} M_{yc} - F_L S_{xc}) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \quad (3.3.1.5.22)$$

- c) Perfiles con alas esbeltas.

$$M_n = \frac{0.9 E k_c S_{xc}}{\lambda^2} \quad (3.3.1.5.23)$$

Donde:

- $F_L$ , Ecuación (3.3.1.5.16a) o (3.3.1.5.16b).
- $R_{pc}$ , Ecuación (3.3.1.5.19a), (3.3.1.5.19b) o (3.3.1.5.20).

- $k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$ ; valor que por facilidad en los cálculos no debe de ser menor que 0.35 ni mayor que 0.76.
- $\lambda = \frac{b_{fc}}{2t_{fc}}$
- $\lambda_{pf}$ , “Razón de esbeltez límite para ala compacta” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $\lambda_{rf}$ , “Razón de esbeltez para ala no compacta” (ANSI/AISC 360, 2016).

#### 2.3.1.5.3.4. Fluencia del ala en tracción

- Si  $S_{xt} \geq S_{xc}$ , este estado límite no se analiza.
- Si  $S_{xt} < S_{xc}$ ,

$$M_n = R_{pt}M_{yt} \text{ (3.3.1.5.24)}$$

Donde:

- $M_{yt} = F_y S_{xt}$ , “Momento de fluencia del ala en tracción” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $R_{pt}$ , “factor de plastificación del alma con relación al estado límite de fluencia del ala en tracción” (ANSI/AISC 360, 2016), debe de calcularse de la siguiente forma:

$$1) \text{ Si } \frac{I_{yc}}{I_y} > 0.23$$

$$\text{I. Si } \frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw}$$

$$R_{pt} = \frac{M_P}{M_{yt}} \text{ (3.3.1.5.25a)}$$

$$\text{II. Si } \frac{h_c}{t_w} > \lambda_{pw}$$

$$R_{pt} = \left[ \frac{M_P}{M_{yt}} - \left( \frac{M_P}{M_{yt}} - 1 \right) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_P}{M_{yt}} \text{ (3.3.1.5.25b)}$$

$$2) \text{ Si } \frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0.23$$

$$R_{pc} = 1.0 \quad (3.3.1.5.26)$$

Donde:

- $M_p = F_y Z_x \leq 1.6 F_y S_x$
- $\lambda = \frac{h_c}{t_w}$
- $\lambda_{pf}$ , "Razón de esbeltez límite para ala compacta" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $\lambda_{rf}$ , "Razón de esbeltez para ala no compacta" (ANSI/AISC 360, 2016).

#### 2.3.1.5.4. Miembros de sección I de simetría doble y simple con almas esbeltas flectados en torno a su eje mayor

Las siguientes revisiones y criterios serán aplicadas para secciones I que posean doble simetría o simple con almas esbeltas conectadas a la mitad del ancho de alas y flectadas en torno al eje mayor, basados en los criterios anteriormente expuestos. La resistencia nominal a flexión,  $M_n$  se toma como el menor valor determinado del análisis de los estados límites de fluencia del ala en compresión, pandeo lateral-torsional, pandeo local del ala en compresión y fluencia del ala en tracción.

##### 2.3.1.5.4.1. Fluencia del ala en compresión

$$M_n = R_{pg} F_y S_{xc} \quad (3.3.1.5.27)$$

##### 2.3.1.5.4.2. Pandeo lateral torsional

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc} \quad (3.3.1.5.28)$$

1) Si  $L_b \leq L_p$ , el estado límite no debe de ser analizado.

2) Si  $L_p < L_b \leq L_r$

$$F_{cr} = C_b \left[ F_y - (0.3 F_y) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq F_y \quad (3.3.1.5.29)$$

3) Si  $L_b > L_r$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{r_t}\right)^2} \leq F_y \quad (3.3.1.5.30)$$

Donde:

- $L_p$ , se encuentra definida en la ecuación (3.3.1.5.17).
- $L_r = \pi r_t \sqrt{\frac{E}{0.7F_y}}$
- $r_t$ , "Radio efectivo de giro para pandeo lateral" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $R_{pg} = 1 - \frac{a_w}{1.200+300a_w} \left( \frac{h_c}{t_w} - 5.7 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1.0$  (3.3.1.5.31) , "Factor de reducción de resistencia a flexión" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $a_w = \frac{h_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} < 10$

#### 2.3.1.5.4.3. Pandeo local del ala en compresión

$$M_n = R_{pg} F_{cr} S_{xc} \quad (3.3.1.5.32)$$

- Perfiles con alas compactas, no deben de ser analizados bajo este estado límite.
- Perfiles con alas no compactas.

$$F_{cr} = \left[ F_y - (0.3F_y) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \quad (3.3.1.5.33)$$

- Perfiles con alas esbeltas.

$$F_{cr} = \frac{0.9Ek_c}{\left(\frac{b_f}{2t_f}\right)^2} \quad (3.3.1.5.34)$$

Donde:

- $k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$ ; valor que por facilidad en los cálculos no debe de ser menor que 0.35 ni mayor que 0.76.
- $\lambda = \frac{b_{fc}}{2t_{fc}}$

- $\lambda_{pf}$ , “Razón de esbeltez límite para ala compacta” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $\lambda_{rf}$ , “Razón de esbeltez para ala no compacta” (ANSI/AISC 360, 2016).

#### 2.3.1.5.4.4. Fluencia del ala en tracción

- Si  $S_{xt} \geq S_{xc}$ , este estado límite no se analiza.
- Si  $S_{xt} < S_{xc}$ ,

$$M_n = F_y S_{xt} \quad (3.3.1.5.35)$$

#### 2.3.1.5.5. Miembros de sección I y canales flectados en torno a su eje menor

Las siguientes revisiones y criterios serán aplicadas para secciones I y canales que se encuentren flectados en su eje menor. La resistencia nominal a flexión,  $M_n$  debe de ser el menor valor determinado del análisis de los estados límites de fluencia y pandeo local del ala.

##### 2.3.1.5.5.1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z_y \leq 1.6 F_y S_y \quad (3.3.1.5.36)$$

Donde:

- $S_y$ , “Módulo de sección elástico respecto del eje y” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $Z_y$ , “Módulo de sección plástica respecto del eje y” (ANSI/AISC 360, 2016).

##### 2.3.1.5.5.2. Pandeo local del ala

- Perfiles con alas compactas, no deben de ser analizados bajo este estado límite.
- Perfiles con alas no compactas.

$$M_n = M_p - (M_p - 0.7 F_y S_y) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \quad (3.3.1.5.37)$$

- Perfiles con alas esbeltas.

$$M_n = F_{cr} S_y \quad (3.3.1.5.38)$$

Donde:

- $F_{cr} = \frac{0.69E}{\left(\frac{b}{t_f}\right)^2}$  **(3.3.1.5.39)**
- $b$ , "Ancho del ala" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $t_f$ , "Espesor del ala" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $\lambda = \frac{b}{t_f}$
- $\lambda_{pf}$ , "Razón de esbeltez límite para ala compacta" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $\lambda_{rf}$ , "Razón de esbeltez para ala no compacta" (ANSI/AISC 360, 2016).

#### 2.3.1.5.6. Perfiles tubulares cuadrados y rectangulares

Las siguientes revisiones y criterios serán aplicadas para secciones tubulares, ya sean cuadradas o rectangulares, que posean almas compactas o no compactas, bajo los criterios expuestos previamente. La resistencia nominal a flexión,  $M_n$  debe de ser el menor valor determinado del análisis de los estados límites de fluencia, pandeo local del ala, pandeo local del alma y pandeo lateral torsional en flexión pura.

##### 2.3.1.5.6.1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z \quad \mathbf{(3.3.1.5.40)}$$

Donde:

- $Z$ , "Módulo plástico de la sección en torno al eje de flexión" (ANSI/AISC 360, 2016).

##### 2.3.1.5.6.2. Pandeo local del ala

- a) Perfiles compactos, no deben de ser analizados bajo este estado límite.
- b) Perfiles con alas no compactas.

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S) \left( 3.57 \frac{b}{t_f} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4.0 \right) \leq M_p \quad (3.3.1.5.41)$$

c) Perfiles con alas esbeltas.

$$M_n = F_y S_e \quad (3.3.1.5.42)$$

1) Perfiles tubulares

$$b_e = 1.92 t_f \sqrt{\frac{F_y}{E}} \left( 1 - \frac{0.38}{b/t_f} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right) \leq b \quad (3.3.1.5.43)$$

2) Perfiles cajón

$$b_e = 1.92 t_f \sqrt{\frac{F_y}{E}} \left( 1 - \frac{0.34}{b/t_f} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right) \leq b \quad (3.3.1.5.44)$$

Donde:

- $S$ , “Módulo elástico de la sección en torno al eje de flexión” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $b$ , “Ancho del ala en compresión” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $S_e$ , “Módulo efectivo determinado con el ancho efectivo del ala en compresión” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $b_e$ , “Ancho efectivo” (ANSI/AISC 360, 2016).

### 2.3.1.5.6.3. Pandeo local del alma

a) Perfiles compactos, no deben de ser analizados bajo este estado límite.

b) Perfiles con almas no compactas.

$$M_n = M_p - (M_p - F_y S) \left( 0.305 \frac{h}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0.738 \right) \leq M_p \quad (3.3.1.5.45)$$

c) Perfiles con almas esbeltas.

1) Fluencia en el ala en compresión

$$M_n = R_{pg} F_y S \quad (3.3.1.5.46)$$

## 2) Pandeo local en el ala en compresión

$$M_n = R_{pg} F_y S_{xc} \quad (3.3.1.5.47)$$

$$F_{cr} = \frac{0.9 E k_c}{\left(\frac{b}{t_f}\right)^2} \quad (3.3.1.5.48)$$

Donde:

- $h$ , "Altura del alma" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $R_{pg}$ , Definido en la ecuación (3.3.1.5.31) y  $a_w = 2ht_w/(b_{tf})$ .
- $k_c = 4.0$

## 2.3.1.5.6.4. Pandeo lateral-torsional

a) Si  $L_b \leq L_p$ , el estado límite no debe de ser analizado.

b) Si  $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = C_b \left[ M_p - (M_p - 0.7 F_y S_x) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (3.3.1.5.49)$$

c) Si  $L_b > L_r$

$$M_n = 2 E C_b \frac{\sqrt{J A_g}}{L_b / r_y} \leq M_p \quad (3.3.1.5.50)$$

Donde:

- $A_g$ , "Área bruta de la sección transversal del perfil" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $L_p = 0.13 E r_t \frac{\sqrt{J A_g}}{M_p}$  (3.3.1.5.51), "Longitud no arriostrada para el estado límite de fluencia" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $L_r = 2 E r_t \frac{\sqrt{J A_g}}{0.7 F_y S_x}$  (3.3.1.5.52), "Longitud no arriostrada para el estado límite de pandeo lateral-torsional inelástico" (ANSI/AISC 360, 2016).

### 2.3.1.5.7. Perfiles tubulares circulares

Las siguientes revisiones y criterios serán aplicadas para secciones tubulares circulares que cumplan con la siguiente condición  $\frac{0.45E}{F_y}$ . La resistencia nominal a flexión,  $M_n$  debe de ser el menor valor determinado del análisis de los estados límites de fluencia y pandeo local.

#### 2.3.1.5.7.1. Fluencia

$$M_n = M_p = F_y Z \quad (3.3.1.5.53)$$

#### 2.3.1.5.7.2. Pandeo local del ala

- Perfiles compactos, no deben de ser analizados bajo este estado límite.
- Perfiles no compactos.

$$M_n = \left[ \frac{0.021E}{\left(\frac{D}{t}\right)} + F_y \right] S \quad (3.3.1.5.54)$$

- Perfiles esbeltos.

$$M_n = F_{cr} S \quad (3.3.1.5.55)$$

Donde:

- $D$ , "Diámetro exterior del perfil" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $t$ , "Espesor del tubo" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $F_{cr} = \frac{0.33E}{\left(\frac{D}{t}\right)} \quad (3.3.1.5.56)$

### 2.3.1.5.8. Perfiles T y ángulos dobles cargados en su plano de simetría

Las siguientes revisiones y criterios serán aplicadas para secciones T y ángulos dobles que posean cargas aplicadas en su plano de simetría. La resistencia nominal a flexión,  $M_n$  debe de ser el menor valor determinado del análisis de los estados límites de fluencia, pandeo lateral-torsional, pandeo local del ala y pandeo local del alma en secciones T y de alas conectadas en los ángulos dobles.

### 2.3.1.5.8.1. Fluencia

$$M_n = M_p \quad (3.3.1.5.57)$$

Donde:

- a) Almas de secciones T y almas de secciones dobles en tracción.

$$M_p = F_y Z_x \leq 1.6 M_y \quad (3.3.1.5.58)$$

- b) Almas de secciones T en compresión.

$$M_p = M_y \quad (3.3.1.5.59)$$

- c) Ángulos dobles con almas en compresión.

$$M_p = 1.5 M_y \quad (3.3.1.5.60)$$

Donde:

- $M_y = F_y S_x$ , "Momento de fluencia con respecto a su eje en flexión" (ANSI/AISC 360, 2016).

### 2.3.1.5.8.2. Pandeo lateral-torsional

- a) Almas de secciones T y alas de ángulos en tracción.

- 1) Si  $L_b \leq L_p$ , el estado límite no debe de ser analizado.
- 2) Si  $L_p < L_b \leq L_r$

$$M_n = M_n - (M_p - M_y) \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \quad (3.3.1.5.61)$$

- 3) Si  $L_b > L_r$

$$M_n = M_{cr} \quad (3.3.1.5.62)$$

Donde:

$$L_p = 1.76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.3.1.5.63)$$

$$L_r = 1.95 \left( \frac{E}{F_y} \right) \frac{\sqrt{I_y J}}{S_x} \sqrt{2.36 \left( \frac{F_y}{E} \right) \frac{d S_x}{J} + 1} \quad (3.3.1.5.64)$$

$$M_{cr} = \frac{1.95E}{L_b} \sqrt{I_y J} (B + \sqrt{1 + B^2}) \quad (3.3.1.5.65)$$

$$B = 2.3 \left( \frac{d}{L_b} \right) \sqrt{\frac{I_y}{J}} \quad (3.3.1.5.66)$$

- $d$ , “Altura de la sección T o el ancho de las alas en el alma” (ANSI/AISC 360, 2016).
- b) Almas de secciones T y almas en compresión en cualquier ubicación a lo largo de la longitud no arriostrada,  $M_{cr}$  debe de ser calculado con el uso de la fórmula (3.3.1.5.65).

$$B = -2.3 \left( \frac{d}{L_b} \right) \sqrt{\frac{I_y}{J}} \quad (3.3.1.5.67)$$

- 1) Almas de perfiles T
- 2) Las alas en el alma de ángulos dobles,  $M_n$  se determina usando las ecuaciones (3.3.1.5.75) o (3.3.1.5.76), mientras que  $M_n$  con la ecuación (3.3.1.5.65) y  $M_y$  con la ecuación  $M_y = F_y S_x$ .

### 2.3.1.5.8.3. Pandeo local de alas en secciones T y almas de ángulos dobles

- a) Alas de perfiles T.
  - 1) Perfiles con alas compactas comprimidas por flexión, el estado no debe de ser analizado.
  - 2) Perfiles con alas no compactas comprimidas por flexión.

$$M_n = \left[ M_p - (M_p - 0.7F_y S_{xc}) \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \leq 1.6M_y \quad (3.3.1.5.68)$$

- 3) Perfiles con alas esbeltas comprimidas por flexión.

$$M_n = \frac{0.7ES_{xc}}{\left( \frac{b_f}{2t_f} \right)^2} \quad (3.3.1.5.69)$$

Donde:

- $S_{xc}$ , “Módulo elástico de la sección con respecto al ala en compresión” (ANSI/AISC 360, 2016).

- $\lambda = \frac{b_f}{2t_f}$
- $\lambda_{pf}$ , “Razón de esbeltez límite para ala compacta” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $\lambda_{rf}$ , “Razón de esbeltez para ala no compacta” (ANSI/AISC 360, 2016).

b) Alas de ángulos dobles.

La resistencia a momento nominal,  $M_n$  en el caso de ángulos dobles con las alas libres en compresión, determinada con la ecuación (3.3.1.5.75) o (3.3.1.5.76) , con  $S_c$  respecto a las alas en compresión.

#### 2.3.1.5.8.4. Pandeo local en el alma de secciones T y en almas de ángulos dobles sometidos a compresión por flexión

a) Almas de perfiles T

$$M_p = F_{cr} S_x \quad (3.3.1.5.70)$$

$$1) \text{ Si } \frac{d}{t_w} \leq 0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$F_{cr} = F_y \quad (3.3.1.5.71)$$

$$2) \text{ Si } 0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{d}{t_w} \leq 1.52 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$F_{cr} = \left( 1.43 - 0.515 \frac{d}{t_w} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right) F_y \quad (3.3.1.5.72)$$

$$3) \text{ Si } \frac{d}{t_w} > 1.52 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$F_{cr} = \frac{1.52E}{\left(\frac{d}{t_w}\right)^2} \quad (3.3.1.5.73)$$

Donde:

- $S_x$ , “Módulo elástico de la sección” (ANSI/AISC 360, 2016).

- $F_{cr}$ , “Tensión crítica” (ANSI/AISC 360, 2016).

b) Alas en el alma de ángulos dobles.

La resistencia de momento nominal,  $M_n$  en el caso de ángulos dobles con las alas libres en compresión debe de ser determinada con la ecuación -, con  $S_c$  respecto a las alas en compresión.

### 2.3.1.5.9. Ángulos simples

Las siguientes revisiones y criterios serán aplicadas para ángulos simples que posean o no restricción lateral en su eje longitudinal. Los ángulos con restricción lateral-torsional continua pueden ser diseñado basado con la flexión en torno a sus ambos ejes geométrico, mientras que los que no posean este tipo de restricción deberá de ser diseñado para flexión en torno a sus ejes principales con la excepción en los casos en donde se pueda aplicar en torno a sus ejes geométricos.

La resistencia nominal a flexión,  $M_n$  debe de ser el menor valor determinado del análisis de los estados límites de fluencia, pandeo lateral-torsional y pandeo local del ala.

#### 2.3.1.5.9.1. Fluencia

$$M_n = 1.5M_y \quad (3.3.1.5.74)$$

#### 2.3.1.5.9.2. Pandeo lateral-torsional

Aplicable para ángulos simples sin restricción continua para el pandeo lateral-torsional.

a) Si  $\frac{M_y}{M_{cr}} \leq 1.0$

$$M_n = \left(1.92 - 1.17 \sqrt{\frac{M_y}{M_{cr}}}\right) M_y \leq 1.5M_y \quad (3.3.1.5.75)$$

b) Si  $\frac{M_y}{M_{cr}} > 1.0$

$$M_n = \left(0.92 - \frac{0.17M_{cr}}{M_y}\right) M_{cr} \quad (3.3.1.5.76)$$

Donde:

- $M_{cr}$ , “Momento de pandeo elástico lateral-torsional” (ANSI/AISC 360, 2016), siendo determinado de la siguiente forma:

- 1) Flexión en torno al eje principal mayor de un ángulo simple:

$$M_{cr} = \frac{9EA_r z t C_b}{8L_b} \left[ \sqrt{1 + \left(4.4 \frac{\beta_w r_z}{L_b t}\right)^2} + 4.4 \frac{\beta_w r_z}{L_b t} \right] \quad (3.3.1.5.77)$$

- 2) Flexión en torno a uno de los ejes geométricos para ángulos de alas iguales:

- I. Sin arriostramiento lateral-torsional

- a) Compresión máxima en el borde extremo

$$M_{cr} = \frac{0.58Eb^4 t C_b}{L_b^2} \left[ \sqrt{1 + 0.88 \left(\frac{L_b t}{b^2}\right)^2} - 1 \right] \quad (3.3.1.5.78a)$$

- b) Tracción máxima en el borde extremo

$$M_{cr} = \frac{0.58Eb^4 t C_b}{L_b^2} \left[ \sqrt{1 + 0.88 \left(\frac{L_b t}{b^2}\right)^2} + 1 \right] \quad (3.3.1.5.78b)$$

Donde:

- $C_b$ , Determinado mediante el uso de (3.3.1.5.1).
- $A$ , “Área de la sección transversal del ángulo” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $L_b$ , “Longitud no arriostrada lateralmente del miembro” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $r_z$ , “Radio de giro del eje principal menor” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $t$ , “Espesor del ala del ángulo” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $\beta_w$ , “Propiedad de ángulos simples, positivo para alas cortas en compresión y negativo para alas largas en compresión, cero para ángulos de alas iguales” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $M_y$ , “Se recomienda tomarlo como 80% el momento de primera fluencia” (ANSI/AISC 360, 2016).

- $b$ , “Ancho del ala” (ANSI/AISC 360, 2016).

II. Con arriostramiento lateral-torsional en el punto de máximo momento.

$M_{cr}$ , debe tomarse como 125% del valor determinado usando **(3.3.1.5.78a)** o **(3.3.1.5.78b)**.

### 2.3.1.5.9.3. Pandeo local del ala

Aplicable cuando el borde extremo del ala se encuentra en compresión.

- Perfiles compactos, no se debe de analizar este estado límite.
- Ángulos con alas no compactas.

$$M_n = F_y S_c \left[ 2.43 - 1.72 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right] \quad \mathbf{(3.3.1.5.79)}$$

- Ángulos con alas esbeltas.

$$M_n = F_{cr} S_c \quad \mathbf{(3.3.1.5.80)}$$

Donde;

- $F_{cr} = \frac{0.71E}{\left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad \mathbf{(3.3.1.5.81)}$ .
- $S_c$ , “Módulo elástico de la sección con relación al borde exterior en compresión relativo al eje de flexión” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $b$ , “Ancho total del ala en compresión” (ANSI/AISC 360, 2016).

### 2.3.1.6. Diseño de miembros en corte

Sección que comprende el diseño de las almas de perfiles que se encuentren solicitadas a corte en el plano de alma o corte en la dirección débil del perfil. La resistencia de diseño de corte,  $\phi_v V_n$  (método LRFD) y la resistencia admisible de corte,  $V_n/\Omega_v$  (método ASD), tienen los siguientes valores:

$$\phi_v = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_v = 1.67 \text{ (ASD)}$$

### 2.3.1.6.1. Miembros de perfiles I y canales

#### 2.3.1.6.1.1. Resistencia de corte del alma sin acción de campo de tracciones

La resistencia nominal a cortes o  $V_n$ , se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v1} \quad (3.3.1.6.1)$$

Donde:

- $F_y$ , "Tensión de fluencia especificada para el acero" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $A_w$ , "Área del alma" (ANSI/AISC 360, 2016).

a) Almas de miembros I laminados en caliente, que cumplan con  $\frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$\phi_v = 1.00 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_v = 1.50 \text{ (ASD)}$$

$$C_{v1} = 1.0 \quad (3.3.1.6.2)$$

Donde:

- $E$ , "Módulo de elasticidad del acero" (ANSI/AISC 360, 2016), 200000 MPa.
- $h$ , "Distancia libre entre alas" (ANSI/AISC 360, 2016), sin considerar el filete de cada ala.
- $t_w$ , "Espesor del alma" (ANSI/AISC 360, 2016).

b) Otros perfiles I y canales:

1) El coeficiente de corte del alma o  $C_{v1}$ , debe de ser calculado de la siguiente forma:

$$\text{I. Si } \frac{h}{t_w} \leq 1.10 \sqrt{k_v \frac{E}{F_y}}$$

$$C_{v1} = 1.0 \quad (3.3.1.6.3)$$

$$\text{II. Si } \frac{h}{t_w} > 1.10 \sqrt{k_v \frac{E}{F_y}}$$

$$C_{v1} = \frac{1.10\sqrt{k_v E/F_y}}{h/t_w} \quad (3.3.1.6.4)$$

2) El coeficiente de pandeo por corte del alma o  $k_v$ , debe de calcularse de la siguiente forma:

I. Almas sin atiesadores transversales:

$$k_v = 5.34$$

II. Almas atiesadas:

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}; \text{ si } \frac{a}{h} < 3.0 \kappa \therefore k_v = 5.34 \quad (3.3.1.6.5)$$

Donde:

- $h$ , "Distancia entre alas" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $a$ , "Distancia libre entre atiesadores transversales" (ANSI/AISC 360, 2016).

### 2.3.1.6.1.2. Resistencia de corte de paneles interiores en el alma considerando el campo de tracciones

La resistencia nominal a cortes o  $V_n$ , se calcula con la siguiente ecuación:

$$\text{a) Si } \frac{h}{t_w} \leq 1.10 \sqrt{k_v \frac{E}{F_y}}$$

$$V_n = 0.6F_y A_w \quad (3.3.1.6.6)$$

$$\text{a) Si } \frac{h}{t_w} > 1.10 \sqrt{k_v \frac{E}{F_y}}$$

1) Si  $2A_w/(A_{fc} + A_{ft}) \leq 2.5$ ,  $h/b_{fc} \leq 6.0$  y  $h/b_{ft} \leq 6.0$

$$V_n = 0.6F_y A_w \left[ C_{v2} + \frac{1-C_{v2}}{1.15\sqrt{1+(a/h)^2}} \right] \quad (3.3.1.6.7)$$

2) Caso contrario

$$V_n = 0.6F_y A_w \left[ C_{v2} + \frac{1-C_{v2}}{1.15[a/h + \sqrt{1+(a/h)^2}]} \right] \quad (3.3.1.6.8)$$

Donde:

- El coeficiente de pandeo por corte o  $C_{v2}$ , se calcula de la siguiente forma:

$$\text{I. Si } \frac{h}{t_w} \leq 1.10 \sqrt{k_v \frac{E}{F_y}}$$

$$C_{v2} = 1.0 \quad \text{(3.3.1.6.9)}$$

$$\text{II. Si } 1.10 \sqrt{k_v \frac{E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 1.37 \sqrt{k_v \frac{E}{F_y}}$$

$$C_{v2} = \frac{1.10 \sqrt{k_v E / F_y}}{h/t_w} \quad \text{(3.3.1.6.10)}$$

$$\text{III. Si } \frac{h}{t_w} > 1.37 \sqrt{k_v \frac{E}{F_y}}$$

$$C_{v2} = \frac{1.51 k_v E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_y} \quad \text{(3.3.1.6.11)}$$

Donde:

- $A_{fc}$ , "Área del ala en compresión" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $A_{ft}$ , "Área del ala en tracción" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $b_{fc}$ , "Ancho del ala en compresión" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $b_{ft}$ , "Ancho del ala en tracción" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $k_v$ , "Definido en la sección anterior" (ANSI/AISC 360, 2016).

### 2.3.1.6.2. Ángulos simples y secciones T

La resistencia nominal a corte o  $V_n$ , se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_n = 0.6 F_y b t C_{v2} \quad \text{(3.3.1.6.12)}$$

Donde:

- $C_{v2}$ , "Coeficiente de resistencia de corte del alma en pandeo" (ANSI/AISC 360, 2016), definido en una sección anterior con las siguientes consideraciones:  $h/t_w = b/t$  y  $k_v = 1.2$ .

- $b$ , “Ancho del ala que resista la fuerza de corte y en caso de perfiles T, la altura de la misma” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $t$ , “Espesor del ala en ángulos o del alma en perfiles T” (ANSI/AISC 360, 2016).

### 2.3.1.6.3. Tubos de sección rectangular, cajones y otros perfiles de simetría simple y doble

La resistencia nominal a corte o  $V_n$ , se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_n = 0.6F_y A_w C_{v2} \quad (3.3.1.6.13)$$

En secciones tubulares rectangulares y cajones:

- $A_w = 2ht$ .
- $C_{v2}$ , “Coeficiente de resistencia de corte del alma en pandeo” (ANSI/AISC 360, 2016), definido en una sección anterior con las siguientes consideraciones:  $h/t_w = h/t$  y  $k_v = 5$ .
- $h$ , “Ancho resistente a la fuerza de corte, siendo esta la distancia libre entre alas menos el radio de esquina interior en cada lado para tubos o la distancia libre entre alas para secciones cajón” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $t$ , “Espesor de la pared de tubo o cajón” (ANSI/AISC 360, 2016).

En otras secciones de simetría simple o doble:

- $A_w$ , “Área del alma o de las alas” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $C_{v2}$ , “Coeficiente de resistencia de corte del alma en pandeo” (ANSI/AISC 360, 2016), definido en una sección anterior con las siguientes consideraciones:  $h/t_w = h/t$  y  $k_v = 5$ .
- $h$ , “Ancho resistente a la fuerza de corte” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $t$ , “Espesor de la pared de tubo o cajón” (ANSI/AISC 360, 2016).

#### 2.3.1.6.4. Tubos redondos

La resistencia nominal a corte o  $V_n$ , se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_n = F_{cr}A_g/2 \quad (3.3.1.6.14)$$

Donde:

- $F_{cr}$ , debe de ser tomado como el mayor entre sin exceder  $0.6F_{cr}$ :

$$F_{cr} = \frac{1.60E}{\sqrt{\frac{L_v(D)}{D} \left(\frac{D}{t}\right)^4}} \quad (3.3.1.6.15a) \qquad F_{cr} = \frac{0.78E}{\left(\frac{D}{t}\right)^2} \quad (3.3.1.6.15b)$$

- $A_g$ , "Área bruta del perfil" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $D$ , "Diámetro exterior" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $L_v$ , "Distancia entre la fuerza de corte máxima y la de corte cero" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $t$ , "Espesor de pared del tubo" (ANSI/AISC 360, 2016).

#### 2.3.1.6.5. Corte respecto del eje débil en perfiles con simetría simple y doble

La resistencia nominal a corte o  $V_n$ , en caso de perfiles con simetría doble y simple que se encuentren cargados en su eje débil sin causar torsión, se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_n = 0.6F_y b_f t_f C_{v2} \quad (3.3.1.6.16)$$

Donde:

- $C_{v2}$ , "Coeficiente de resistencia de corte del alma en pandeo" (ANSI/AISC 360, 2016), definido en una sección anterior con las siguientes consideraciones:  $h/t_w = b_f/2t_f$  en perfiles I y T, o  $h/t_w = b_f/t_f$  para canales, y  $k_v = 1.2$ .
- $b_f$ , "Ancho del ala" (ANSI/AISC 360, 2016).
- $t_f$ , "Espesor del ala" (ANSI/AISC 360, 2016).

### 2.3.1.7. Diseño de miembros para solicitaciones combinadas y torsión

Sección que comprende el diseño de miembros que se encuentren solicitados axialmente y a flexión, ya sea en uno o ambos ejes que tengan o no torsión, y de miembros únicamente solicitados a torsión.

#### 2.3.1.7.1. Miembros con simetría simple y doble, solicitados a flexión y carga axial

##### 2.3.1.7.1.1. Miembros con simetría doble y simple solicitados a flexión y compresión

Elementos que se encuentren sometidos a flexión y compresión axial que posean doble o simetría simple, que la flexión solo suceda en torno a un eje geométrico, deben regirse a las siguientes indicaciones:

a) Si  $\frac{P_r}{P_c} \geq 0.2$

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (3.3.1.7.1a)$$

b) Si  $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0 \quad (3.3.1.7.1b)$$

Donde:

- $P_r$ , "Resistencia de compresión axial solicitada" (ANSI/AISC 360, 2016), según las combinaciones de carga sean LRFD o ASD.
- $P_c$ , "Resistencia de compresión axial disponible" (ANSI/AISC 360, 2016).

$$P_c = \phi_c P_n \text{ (LRFD)} \quad P_c = P_n / \Omega_c \text{ (ASD)}$$

- $M_r$ , "Resistencia de flexión solicitada" (ANSI/AISC 360, 2016), según las combinaciones de carga sean LRFD o ASD.
- $M_c$ , "Resistencia de flexión disponible" (ANSI/AISC 360, 2016).

$$M_c = \phi_b M_n \text{ (LRFD)} \quad M_c = M_n / \Omega_b \text{ (ASD)}$$

- $x, y$ , “Subíndice que indica en torno a que eje se desarrolla la flexión” (ANSI/AISC 360, 2016).

### 2.3.1.7.1.2. Miembros con simetría doble y simple solicitados a flexión y tracción

Elementos que se encuentren sometidos a flexión y tracción axial que posean doble o simetría simple, que la flexión solo suceda en torno a un eje geométrico, deben regirse a la ecuación **(3.3.1.7.1a)** o **(3.3.1.7.1b)**.

Donde:

- $P_r$ , “Resistencia de tracción axial solicitada” (ANSI/AISC 360, 2016), según las combinaciones de carga sean LRFD o ASD.
- $P_c$ , “Resistencia de tracción axial disponible” (ANSI/AISC 360, 2016).

$$P_c = \phi_t P_n \text{ (LRFD)} \quad P_c = P_n / \Omega_t \text{ (ASD)}$$

- $M_r$ , “Resistencia de flexión solicitada” (ANSI/AISC 360, 2016), según las combinaciones de carga sean LRFD o ASD.
- $M_c$ , “Resistencia de flexión disponible” (ANSI/AISC 360, 2016).

$$M_c = \phi_b M_n \text{ (LRFD)} \quad M_c = M_n / \Omega_b \text{ (ASD)}$$

- $x, y$ , “Subíndice que indica en torno a que eje se desarrolla la flexión” (ANSI/AISC 360, 2016).
- Miembros con doble simetría, el factor  $C_b$  puede ser aumentado por  $\sqrt{1 + \frac{\alpha P_r}{P_{ec}}}$ , si existe tracción axial y flexión actuando simultáneamente.

- $P_{ey} = \frac{\pi^2 E I_y}{L_b^2}$  **(3.3.1.7.2)**

- $\alpha = 1.0$  (LRFD);  $\alpha = 1.6$  (ASD)

- $E$ , “Módulo de elasticidad del acero” (ANSI/AISC 360, 2016), 200000MPa.

- $I_y$ , “Momento de inercia sobre el eje  $y$ ” (ANSI/AISC 360, 2016).

- $L_b$ , “Longitud entre puntos que se encuentren arriostrados ante desplazamientos laterales del ala en compresión o contra el giro en la sección transversal” (ANSI/AISC 360, 2016).

### 2.3.1.7.1.3. Miembros laminados compactos con simetría doble sometidos a flexión simple y compresión

Elementos laminados compactos con doble simetría que posean longitud efectiva para pandeo torsional menor o igual a la longitud efectiva para pandeo en flexión en torno a su eje  $L_{cz} \leq L_{cy}$ , que se encuentren sometidos a compresión y flexión, se permite considerar dos estados límites independientes, inestabilidad en el plano y pandeo lateral-torsional, ignorando las ecuaciones ya dadas.

Donde:

- $L_{cz}$ , Longitud efectiva para pandeo en flexión sobre el eje y.
- $L_{cy}$ , Longitud efectiva para pandeo en torno al eje longitudinal.

En miembros que cumplan con  $M_r/M_x \geq 0.05$ , debe de aplicar las ecuaciones ya expresadas.

- En el análisis del estado límite de inestabilidad en el plano, deben de aplicarse las ecuaciones ya expresadas,  $P_c$  considerado como la resistencia a compresión disponible en el plano de flexión y  $M_{cx}$  como la resistencia a flexión para el estado límite de fluencia.
- En el análisis del estado límite de pandeo fuera del plano y pandeo flexo-torsional:

$$\frac{P_r}{P_{cy}} \left( 1.5 - 0.5 \frac{P_r}{P_{cy}} \right) + \left( \frac{M_{rx}}{C_b M_{cx}} \right)^2 \leq 1.0 \quad \mathbf{(3.3.1.7.3)}$$

Donde:

- $P_{cy}$ , “Resistencia a compresión axial disponible fuera del plano” (ANSI/AISC 360, 2016).

- $C_b$ , “Factor de modificación por pandeo flexo-torsional” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $M_{cx}$ , “Resistencia de flexo-torsión disponible para flexión sobre el eje fuerte” (ANSI/AISC 360, 2016).

### 2.3.1.7.2. Miembros asimétricos y otros sometidos a flexión y carga axial

Aplicable para perfiles no cubiertos por la sección anterior que tengan una interacción entre flexión y axial. Se puede utilizar estas ecuaciones para sustituir las antes mencionadas, para todo tipo de perfiles.

$$\left| \frac{f_{ra}}{F_{ca}} + \frac{f_{rbw}}{F_{cbw}} + \frac{f_{rbz}}{F_{cbz}} \right| \leq 1.0 \quad (3.3.1.7.4)$$

Donde:

- $f_{ra}$ , “Esfuerzo axial requerido” (ANSI/AISC 360, 2016), determinada según las combinaciones de carga sean LRFD o ASD.
- $F_{ca}$ , “Esfuerzo axial disponible” (ANSI/AISC 360, 2016).

$$F_{ca} = \phi_c F_{cr} \text{ (LRFD)} \quad F_{ca} = F_{cr} / \Omega_c \text{ (ASD)}$$

- $f_{rbw}, f_{rbz}$ , “Esfuerzo de flexión requerido” (ANSI/AISC 360, 2016), determinada según las combinaciones carga sean LRFD o ASD.
- $F_{cbw}, F_{cbz}$ , “Esfuerzo de flexión disponible” (ANSI/AISC 360, 2016).

$$F_{cbw}, F_{cbz} = \frac{\phi_b M_{cr}}{S} \text{ (LRFD)} \quad F_{cbw}, F_{cbz} = \frac{F_{cr}}{\Omega_b S} \text{ (ASD)}$$

- $w$ , “Subíndice que indica flexión en torno al eje principal mayor” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $z$ , “Subíndice que indica flexión en torno al eje principal menor” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $\phi_t; \phi_c; \phi_b$ , “Factores de resistencia a las diferentes solicitaciones, se especifican en el diseño de cada acción” (ANSI/AISC 360, 2016).

- $\Omega_t; \Omega_c; \Omega_b$ , “Factores de seguridad a las diferentes solicitaciones, se especifican en el diseño de cada acción” (ANSI/AISC 360, 2016).

### 2.3.1.7.3. Miembros sometidos a torsión y combinación de torsión, flexión, corte, y/o carga axial

#### 2.3.1.7.3.1. Resistencia torsional de secciones tubulares redondas y rectangulares

La resistencia torsional de diseño,  $\phi_T T_n$  (LRFD) y la resistencia torsional admisible,  $T_n / \Omega_T$  (ASD), en los casos de perfiles tubulares sean redondos o rectangulares, debe de ser el menor valor según el análisis de los estados límites de fluencia torsional y pandeo torsional.

$$T_n = F_{cr} C \quad (3.3.1.7.5)$$

$$\phi_T = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_T = 1.67 \text{ (ASD)}$$

Donde:

- $C$ , “constante torsional para secciones tubulares” (ANSI/AISC 360, 2016).
  - Para tubos redondos:  $C = \frac{\pi(D-t)^2 t}{2}$
  - Para tubos rectangulares:  $C = 2(B-t)(H-t)t - 4.5(4-\pi)t^3$
- $F_{cr}$ , “Tensión crítica” (ANSI/AISC 360, 2016), debe de ser determinada bajo los siguientes criterios:
  - a) Tubos redondos, debe de ser el mayor de los siguientes, no debe de exceder  $0.6F_y$ :

$$1) F_{cr} = \frac{1.23E}{\sqrt{\frac{L}{D} \left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{5}{4}}}} \quad (3.3.1.7.6a)$$

$$2) F_{cr} = \frac{0.60E}{\left(\frac{D}{t}\right)^{\frac{3}{2}}} \quad (3.3.1.7.6b)$$

Donde:

- $D$ , “Diámetro exterior” (ANSI/AISC 360, 2016).

- $L$ , “Longitud del miembro” (ANSI/AISC 360, 2016).
- $t$ , “Espesor del tubo” (ANSI/AISC 360, 2016).

b) Tubos rectangulares

$$\text{I. Si } h/t \leq 2.45\sqrt{E/F_y}$$

$$F_{cr} = 0.6F_y \quad \mathbf{(3.3.1.7.7)}$$

$$\text{II. Si } 2.45\sqrt{E/F_y} < h/t \leq 3.07\sqrt{E/F_y}$$

$$F_{cr} = \frac{0.6F_y(2.45\sqrt{E/F_y})}{(h/t)} \quad \mathbf{(3.3.1.7.8)}$$

$$\text{III. Si } 3.07\sqrt{E/F_y} < h/t \leq 260$$

$$F_{cr} = \frac{0.458\pi^2 E}{(h/t)^2} \quad \mathbf{(3.3.1.7.9)}$$

Donde:

- $h$ , “Ancho plano o lado de mayor longitud” (ANSI/AISC 360, 2016).

### 2.3.1.7.3.2. Secciones tubulares solicitadas a combinación de torsión, corte, flexión y carga axial

En casos donde la resistencia a torsión solicitada o  $T_r$ , sea menor o igual que el 20% de la resistencia a torsión disponible o  $T_c$ , el efecto de torsión puede ser despreciado y se puede proceder con la primera fórmula expresada. En los otros casos donde  $T_r$  exceda el 20% de  $T_c$ , la interacción entre torsión, corte, flexión y axial debe de calcularse de la siguiente forma:

$$\left(\frac{P_r}{P_c} + \frac{M_r}{M_c}\right) + \left(\frac{V_r}{V_c} + \frac{T_r}{T_c}\right)^2 \quad \mathbf{(3.3.1.7.10)}$$

Donde:

- $P_r$ , “Resistencia ante axial solicitada” (ANSI/AISC 360, 2016), según las combinaciones de carga sean LRFD o ASD.
- $P_c$ , “Resistencia ante axial disponible” (ANSI/AISC 360, 2016).

$$P_c = \phi_c P_n \text{ (LRFD)} \quad P_c = P_n / \Omega_c \text{ (ASD)}$$

- $M_r$ , “Resistencia de flexión solicitada” (ANSI/AISC 360, 2016), según las combinaciones de carga sean LRFD o ASD.
- $M_c$ , “Resistencia de flexión disponible” (ANSI/AISC 360, 2016).

$$M_c = \phi_b M_n \text{ (LRFD)} \quad M_c = M_n / \Omega_b \text{ (ASD)}$$

- $V_r$ , “Resistencia de corte solicitada” (ANSI/AISC 360, 2016), según las combinaciones de carga sean LRFD o ASD.
- $V_c$ , “Resistencia de corte disponible” (ANSI/AISC 360, 2016).

$$V_c = \phi_v V_n \text{ (LRFD)} \quad V_c = V_n / \Omega_v \text{ (ASD)}$$

- $T_r$ , “Resistencia de torsión solicitada” (ANSI/AISC 360, 2016), según las combinaciones de carga sean LRFD o ASD.
- $T_c$ , “Resistencia de torsión disponible” (ANSI/AISC 360, 2016).

$$T_c = \phi_T T_n \text{ (LRFD)} \quad T_c = T_n / \Omega_T \text{ (ASD)}$$

### 2.3.1.7.3.3. Miembros no tubulares bajo torsión y tensiones combinadas

El valor de la resistencia torsional o  $T_c$  para miembros que no sean perfiles tubulares debe de ser tomado como el menor valor del análisis de los estados límites de fluencia bajo tensión normal, fluencia en corte bajo tensión de corte, o pandeo.

- a) Estado límite de fluencia bajo tensión normal

$$F_n = F_y \text{ (3.3.1.7.11)}$$

- b) Estado límite de fluencia en corte bajo tensión de corte

$$F_n = 0.6F_y \text{ (3.3.1.7.12)}$$

- c) Estado límite de pandeo

$$F_n = F_{cr} \text{ (3.3.1.7.13)}$$

Donde:

- $F_{cr}$ , “Tensión de pandeo para la sección determinada por el análisis” (ANSI/AISC 360, 2016).

### 2.3.2. REVISIONES SÍSMICAS PARA ESTRUCTURAS DE ACERO (AISC 341-16)

La norma AISC 341-16, contiene todos los criterios para revisar los diferentes miembros que forman parte del sistema de resistencia sísmica, independiente del tipo de sistema estructural a que estos pertenezcan, cave recalcar que esta no reemplaza a la norma AISC 360-16 sino es un complemento. Cave recalcar que, para los casos de las cargas, combinaciones de cargas, límites de los sistemas y otros requerimientos son extraídos de la norma ASCE 7-16.

#### 2.3.2.1. Aplicabilidad de la norma

El factor R o factor de modificación de respuesta, este es dependiente del tipo de sistema de resistencia sísmica y de la categoría del mismo se lo puede encontrar en la Tabla 12.2-1 de ASCE 7-16, en cuyos casos en los que es menor o igual a 3, la estructura o sistema a analizar no debe de regirse a las especificaciones de esta norma.

#### 2.3.2.2. Combinaciones de carga

Las combinaciones de carga que incluyan efectos debido a cargas sísmicas son extraídas de la norma ASCE 7-16.

Las cargas tomadas en cuenta por la norma son las siguientes: Muerta ( $D$ ), Viva ( $L$ ), Nieve ( $S$ ) y Sismo ( $E$ ) sabiendo que este tiene una componente horizontal y una vertical. Las cargas por sismo no son tomadas en cuenta ya que se tomarán para la norma AISC 341-16. Cave recalcar que las cargas sísmicas pueden ser reversibles.

#### 2.3.2.3. Combinaciones de carga LRFD

- $1.2D + E_v + E_h + L + 0.2S$  (2.3.2.2.1)
- $0.9D - E_v + E_h$  (2.3.2.2.2)

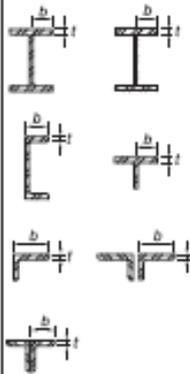
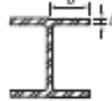
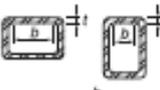
#### 2.3.2.4. Combinaciones de carga ASD

- $1.2D + 0.7E_v + 0.7E_h$  (2.3.2.2.3)
- $1.0D + 0.525E_v + 0.525E_h + 0.75L + 0.75S$  (2.3.2.2.4)
- $0.6D - 0.7E_v + 0.7E_h$  (2.3.2.2.5)

#### 2.3.2.5. Clasificación de la sección por ductilidad

Los miembros que formen parte del sistema de resistencia sísmica, deben de ser clasificado por su ductilidad. Dado la relación largo-espesor, se pueden clasificar los perfiles en alta ductilidad, moderada ductilidad y baja ductilidad, dado los límites  $\lambda_{hd}$  y  $\lambda_{md}$ . Las secciones con alta ductilidad deben de poseer la relación largo-espesor que no exceda  $\lambda_{hd}$ , las de moderada ductilidad no exceder  $\lambda_{md}$  y las de baja ductilidad poseer una relación mayor que  $\lambda_{md}$ . Los parámetros mencionados se especifica su cálculo en la tabla a continuación, al igual que los diferentes parámetros para el uso de las ecuaciones.

Ilustración 8. Clasificación de perfiles según su ductilidad

<b>TABLE D1.1</b> <b>Limiting Width-to-Thickness Ratios for</b> <b>Compression Elements for Moderately Ductile</b> <b>and Highly Ductile Members</b>				
Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio		Example
		$\lambda_{hd}$ Highly Ductile Members	$\lambda_{md}$ Moderately Ductile Members	
Unstiffened Elements  Flanges of rolled or built-up I-shaped sections, channels and tees; legs of single angles or double-angle members with separators; outstanding legs of pairs of angles in continuous contact	$b/t$	$0.32 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$0.40 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
	$b/t$	not applicable	$0.48 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
	$d/t$	$0.32 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$ (M)	$0.40 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
Stiffened Elements  Walls of rectangular HSS used as diagonal braces Flanges of boxed I-shaped sections Side plates of boxed I-shaped sections and walls of built-up box shapes used as diagonal braces Flanges of built-up box shapes used as link beams	$b/t$	$0.65 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$0.76 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
	$b/t$			
	$h/t$			
	$b/t$			

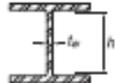
Fuente: “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 341-16”  
(ANSI/AISC 341, 2016).

Ilustración 9. Continuación, clasificación de perfiles según su ductilidad

<b>TABLE D1.1 (continued)</b> <b>Limiting Width-to-Thickness Ratios for</b> <b>Compression Elements for Moderately Ductile</b> <b>and Highly Ductile Members</b>				
Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio		Example
		$\lambda_{hd}$ Highly Ductile Members	$\lambda_{md}$ Moderately Ductile Members	
Webs of rolled or built-up I shaped sections and channels used as diagonal braces	$h/t_w$	$1.57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$1.57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
Where used in beams or columns as flanges in uniform compression due to axial, flexure, or combined axial and flexure: 1) Walls of rectangular HSS 2) Flanges and side plates of boxed I-shaped sections, webs and flanges of built-up box shapes	$b/t$	$0.65 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$1.18 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
	$h/t$			
Where used in beams, columns, or links, as webs in flexure, or combined axial and flexure: 1) Webs of rolled or built-up I-shaped sections or channels <sup>M</sup> 2) Side plates of boxed I-shaped sections 3) Webs of built-up box sections	$h/t_w$  $h/t$  $h/t$	For $C_b \leq 0.114$ $2.57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (1 - 1.04 C_b)$  For $C_b > 0.114$ $0.88 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (2.68 - C_b)$  $\geq 1.57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$  where $C_b = \frac{P_c}{\phi_c P_r}$ (LRFD) $C_b = \frac{\Omega_c P_c}{P_r}$ (ASD) $P_r = R_y F_y A_g$	For $C_b \leq 0.114$ $3.06 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (1 - 3.04 C_b)$  For $C_b > 0.114$ $1.29 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} (2.12 - C_b)$  $\geq 1.57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$  where $C_b = \frac{P_c}{\phi_c P_r}$ (LRFD) $C_b = \frac{\Omega_c P_c}{P_r}$ (ASD) $P_r = R_y F_y A_g$	

Fuente: “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 341-16” (ANSI/AISC 341, 2016).

Ilustración 10. Continuación, clasificación de perfiles según su ductilidad

TABLE D1.1 (continued) Limiting Width-to-Thickness Ratios for Compression Elements for Moderately Ductile and Highly Ductile Members				
Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio		Example
		$\lambda_{hd}$ Highly Ductile Members	$\lambda_{md}$ Moderately Ductile Members	
Stiffened Elements	Webs of built-up box sections used as EBF links	$0.67 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$1.75 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
	Webs of H-Pile sections	not applicable	$1.57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
	Walls of round HSS	$0.053 \frac{E}{R_y F_y}$	$0.062 \frac{E}{R_y F_y}$	
Composite	Walls of rectangular filled composite members	$1.48 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	$2.37 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	
	Walls of round filled composite members	$0.085 \frac{E}{R_y F_y}$	$0.17 \frac{E}{R_y F_y}$	

Fuente: “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 341-16”  
(ANSI/AISC 341, 2016).

**Ilustración 11.** *Continuación, clasificación de perfiles según su ductilidad*

<b>TABLE D1.1 (continued)</b> <b>Limiting Width-to-Thickness Ratios for</b> <b>Compression Elements for Moderately Ductile</b> <b>and Highly Ductile Members</b>	
M1	<p>For tee-shaped compression members, the limiting width-to-thickness ratio for highly ductile members for the stem of the tee shall be <math>0.40 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}</math> where either of the following conditions are satisfied:</p> <p>(1) Buckling of the compression member occurs about the plane of the stem.</p> <p>(2) The axial compression load is transferred at end connections to only the outside face of the flange of the tee resulting in an eccentric connection that reduces the compression stresses at the tip of the stem.</p>
M2	<p>For I-shaped beams in SMF systems, where <math>C_u</math> is less than or equal to 0.114, the limiting ratio <math>h/t_w</math> shall not exceed <math>2.57 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}</math>. For I-shaped beams in intermediate moment frame (IMF) systems, where <math>C_u</math> is less than or equal to 0.114, the limiting width-to-thickness ratio shall not exceed <math>3.96 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}</math>.</p>
M3	<p>The limiting diameter-to-thickness ratio of round HSS members used as beams or columns shall not exceed <math>0.077 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}</math>.</p>
<p>where</p> <p><math>E</math> = modulus of elasticity of steel = 29,000 ksi (200 000 MPa)</p> <p><math>F_y</math> = specified minimum yield stress, ksi (MPa)</p> <p><math>P_u</math> = required axial strength using ASD load combinations, kips (N)</p> <p><math>P_L</math> = required axial strength using LRFD load combinations, kips (N)</p> <p><math>R_y</math> = ratio of the expected yield stress to the specified minimum yield stress</p> <p><math>\phi_c</math> = resistance factor for compression</p> <p><math>\Omega_c</math> = safety factor for compression</p>	

**Fuente:** “Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 341-16”  
(ANSI/AISC 341, 2016).

### 2.3.2.6. Tipos de sistemas de resistencia sísmica

La norma AISC 341-16, expresa muchos diferentes tipos de sistemas por lo cual solo se tratará únicamente los más usados en la construcción, los cuales son:

- “Ordinary Moment Frame” (OMF).
- “Intermediate Moment Frame” (IMF).
- “Special Moment Frame” (SMF).
- “Special Truss Frame” (STF).
- “Ordinary Concentrically Braced Frames” (OCBF).
- “Ordinary Concentrically Braced Frames from Isolated Structures” (OCBF1).
- “Special Concentrically Braced Frames” (SCBF).
- “Eccentrically Braced Frames” (EBF).
- “Buckling Restrained Braced Frames” (BRBF).

#### **2.3.2.6.1. Ordinary Moment Frame (OMF)**

Los OMF son diseñados para tener una capacidad de deformación inelástica mínima en sus miembros y uniones. La norma no especifica mayores requerimientos para los miembros que componen este tipo de sistema, los más relevantes son los siguientes:

- Las columnas, deben de ser revisadas su resistencia a compresión y tracción axial y ser comparadas con los requerimientos de las combinaciones de diseño.

#### **2.3.2.6.2. Intermediate Moment Frames (IMF)**

Los IMF son diseñados para tener una capacidad de deformación inelástica limitada causada por flexión en casos de las vigas y limitar la fluencia de las columnas, las uniones de este tipo de sistema deben de cumplir con las normas. Los requerimientos que los miembros que componen este tipo de sistema deben de cumplir, son los siguientes:

- Las columnas, deben de ser revisadas su resistencia a compresión y tracción axial y ser comparadas con los requerimientos de las combinaciones de diseño.
- Tanto las vigas como las columnas deben de ser clasificadas como moderadamente dúctiles bajo los criterios ya expuestos.
- La longitud entre arriostres laterales de las vigas no debe de exceder la siguiente relación,  $0.17(E/F_y)r_y$ , como se expresó en las tablas anteriores.

#### **2.3.2.6.3. Special Moment Frames (SMF)**

Los SMF son diseñados para tener una capacidad de deformación inelástica limitada causada por flexión en casos de las vigas y limitar la fluencia de las columnas excepto en las bases de las mismas, las columnas deben de poseer mayor capacidad que las vigas a las cuales se encuentra conectada, las uniones de este tipo de sistema deben de cumplir con las normas. Los requerimientos que

los miembros que componen este tipo de sistema deben de cumplir, son los siguientes:

- Las columnas, deben de ser revisadas su resistencia a compresión y tracción axial y ser comparadas con los requerimientos de las combinaciones de diseño.
- Tanto las vigas como las columnas deben de ser clasificadas como altamente dúctiles bajo los criterios ya expuestos.
- La relación de largo-espesor de las columnas o  $L/r$ , no debe de exceder el valor de 60.
- La longitud entre arriostres laterales de las vigas no debe de exceder la siguiente relación,  $0.086(E/F_y)r_y$ , como se expresó en las tablas anteriores.

#### **2.3.2.6.4. Special Truss Moment Frames (STMF)**

Los STMF son diseñados para tener una capacidad de deformación inelástica limitada en ciertas zonas especiales de la cercha y que todos sus elementos puedan soportar las cargas que a este se aplican. No es necesario de realizar algún tipo de análisis para este tipo de sistema, únicamente el análisis sísmico.

#### **2.3.2.6.5. Ordinary Concentrically Braced Frames (OCBF)**

Los OCBF son sistemas cuyas diagonales se encuentran concentradas en un mismo punto, los elementos se encuentran diseñados para tener una capacidad de deformación inelástica tanto en sus uniones como en los miembros. Los requerimientos que los miembros que componen este tipo de sistema deben de cumplir, son los siguientes:

- Las columnas, deben de ser revisadas su resistencia a compresión y tracción axial y ser comparadas con los requerimientos de las combinaciones de diseño.
- Todas las diagonales deben de ser clasificadas como moderadamente dúctiles, bajo los criterios ya expuestos.

- La relación de esbeltez,  $Kl/r$ , de las diagonales unidas en forma de V o V invertida no debe de exceder  $4.0\sqrt{E/F_y}$ .

#### 2.3.2.6.6. Ordinary Concentrically Braced Frames from Isolated Structures (OCBFI)

Los OCBF son sistemas muy parecidos a los OCBF, con la excepción de que este se encuentra aislado del resto de la estructura. Los requerimientos que los miembros que componen este tipo de sistema deben de cumplir, son los siguientes:

- Las columnas, deben de ser revisadas su resistencia a compresión y tracción axial y ser comparadas con los requerimientos de las combinaciones de diseño.
- Todas las diagonales deben de ser clasificadas como moderadamente dúctiles, bajo los criterios ya expuestos.
- La relación de esbeltez,  $Kl/r$ , de las diagonales unidas en forma de V o V invertida no debe de exceder  $4.0\sqrt{E/F_y}$ .

#### 2.3.2.6.7. Special Concentrically Braced Frames (SCBF)

Los SCBF son sistemas cuyas diagonales se encuentran concentradas en un mismo punto, las vigas en las que convergen las diagonales deben de formar parte del sistema, los elementos se encuentran diseñados para tener una capacidad de deformación inelástica causada por pandeo o fluencia de las diagonales. Los requerimientos que los miembros que componen este tipo de sistema deben de cumplir, son los siguientes:

- Las columnas, deben de ser revisadas su resistencia a compresión y tracción axial y ser comparadas con los requerimientos de las combinaciones de diseño.
- Todas las columnas y diagonales deben de ser clasificadas como altamente dúctiles, bajo los criterios ya expuestos. Mientras que las vigas pueden ser clasificadas como moderadamente dúctiles,

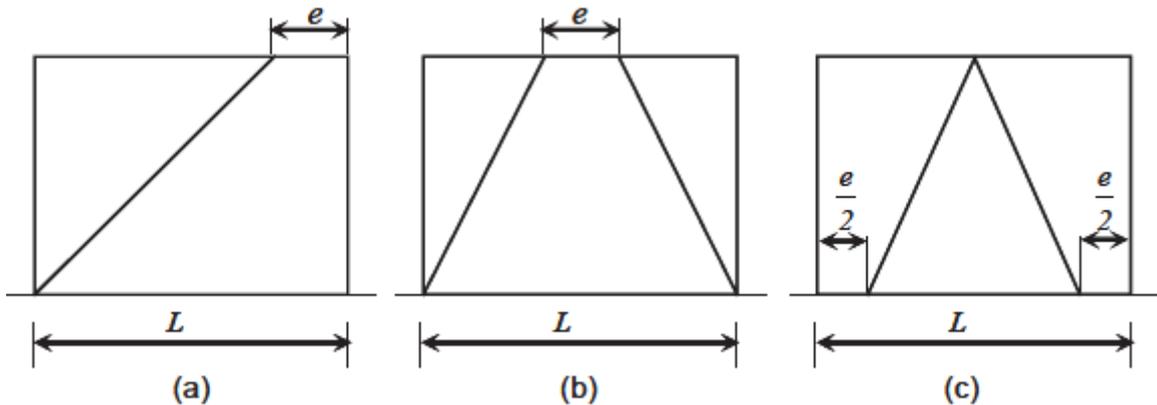
- La relación de esbeltez,  $Kl/r$ , de las diagonales no debe de exceder el valor de 200.
- La longitud entre arriostres laterales de las vigas no debe de exceder la siguiente relación,  $0.17(E/F_y)r_y$ , como se expresó en las tablas anteriores.

#### **2.3.2.6.8. Eccentrically Braced Frames (EBF)**

Los EBF son sistemas cuyas diagonales no se concentran en un mismo punto de unión, los elementos se encuentran diseñados para tener una capacidad de deformación inelástica causada por corte o pandeo flexura de las uniones. Los requerimientos que los miembros que componen este tipo de sistema deben de cumplir, son los siguientes:

- Las columnas, deben de ser revisadas su resistencia a compresión y tracción axial y ser comparadas con los requerimientos de las combinaciones de diseño.
- Las vigas deben de ser clasificadas como altamente dúctil, bajo los criterios expuestos.
- Existen diferentes tipos de diagonales excéntricas, a continuación, se muestran ejemplos:

**Ilustración 12. Diferentes tipos de diagonales excéntricas**



**Fuente: ETABS**

- La fuerza de corte que llega al punto de unión con la viga debe de tomarse como lo siguiente:

$$V_u \leq \phi_v V_n \text{ (LRFD)} \quad V_u \leq V_n / \Omega_v \text{ (ASD)} \quad \mathbf{(2.3.2.4.1)}$$

Donde:

- $V_n$ , debe de ser tomado como el menor entre:  $V_p$  o  $2M_p/e$
- $V_p, M_p$ , se determina para dos casos.

- Si  $P_r/P_c \leq 0.15$

$$V_p = 0.6F_y A_{tw} \quad \mathbf{(2.3.2.4.2)}$$

$$M_p = F_{yz} \quad \mathbf{(2.3.2.4.3)}$$

- Si  $P_r/P_c > 0.15$

$$V_p = 0.6F_y A_{tw} \sqrt{1 - (P_r/P_c)^2} \quad \mathbf{(2.3.2.4.4)}$$

$$M_p = F_{yz} \left( \frac{1 - P_r/P_c}{0.85} \right) \quad \mathbf{(2.3.2.4.5)}$$

- $A_{tw}$ , se determina para dos casos.

- Para Perfiles I

$$A_{tw} = (d - 2t_f)t_w \quad \mathbf{(2.3.2.4.6)}$$

- Para Perfiles tubulares

$$A_{tw} = 2(d - 2t_f)t_w \quad (2.3.2.4.7)$$

- $P_y = A_g F_y$  (2.3.2.4.8)
- $P_c = P_y$  (LRFD),  $P_c = P_y/1.5$  (ASD) (2.3.2.4.9)
- En los casos que,  $P_r/P_c > 0.15$ , la excentricidad de las diagonales o  $e$ , referenciada en la figura, debe de revisarse los siguientes parámetros:
- Si  $\rho' \leq 0.5$ .

$$e \leq \left[ 1.6 \frac{M_p}{V_p} \right] \quad (2.3.2.4.10)$$

- Si  $\rho' > 0.5$ .

$$e \leq [1.15 - 0.3\rho'] \left[ 1.6 \frac{M_p}{V_p} \right] \quad (2.3.2.4.11)$$

Donde:

- $\rho' = \frac{P_r/P_c}{V_r/V_c}$  (2.3.2.4.12)
- $V_y = 0.6F_y A_{tw}$  (2.3.2.4.13)
- $V_c = V_y$  (LRFD),  $V_c = V_y/1.5$  (ASD) (2.3.2.4.14)
- El ángulo de rotación del punto de unión de la viga o  $\theta$ , se calcula de la siguiente forma:  $\theta = \frac{\Delta L}{e}$ , es decir, la deriva de piso multiplicado por la longitud del elemento dividido para la excentricidad. Este ángulo no puede exceder los siguientes valores:
  - $\theta \leq 0.08$  radianes, cuando la longitud libre de la unión es  $e \leq 1.6 M_p/V_p$ .
  - $\theta \leq 0.02$  radianes, cuando la longitud libre de la unión es  $e \geq 2.6 M_p/V_p$ .
  - En casos que  $e$  se encuentre entre los límites expuestos, el valor tiene que ser interpolado.

- La resistencia de la viga fuera del punto de unión y de la diagonal debe de ser al menos uno de los siguientes valores:  $1.25R_yV_n$  para perfiles I,  $1.4R_yV_n$  para perfiles cajón. Esta misma revisión debe de realizarse cuando la columna posea un punto de unión en ella, comparando su resistencia a corte.
- Las diagonales deben de ser clasificadas como moderadamente dúctiles, bajo los criterios ya expuestos. Mientras que las columnas deben de ser clasificadas como altamente dúctiles.

#### 2.3.2.6.9. Buckling Restrained Braced Frames (BRBF)

Los BRBF son sistemas cuyas diagonales se encuentran concentradas en la unión viga columna, los elementos se encuentran diseñados para tener una capacidad de deformación inelástica causada por fluencia de las diagonales sea en tensión o compresión. Los requerimientos que los miembros que componen este tipo de sistema deben de cumplir, son los siguientes:

- Las columnas, deben de ser revisadas su resistencia a compresión y tracción axial y ser comparadas con los requerimientos de las combinaciones de diseño.
- Las columnas deben de ser clasificadas como altamente dúctiles, bajo los criterios ya expuestos. Mientras que las vigas deben de ser clasificadas como moderadamente dúctiles.
- La longitud entre arriostres laterales de las vigas no debe de exceder la siguiente relación,  $0.17(E/F_y)r_y$ , como se expresó en las tablas anteriores.
- La conexión viga-columna debe de resistir, un momento que se determina como el menor de los siguientes:

- I.  $M_b = 1.1R_yM_p$  (LRFD),  $M_b = 1.1R_yM_p/1.5$  (ASD) **(2.3.2.4.15)**

- II.  $M_b = 1.1R_yF_yZ$  (LRFD),  $M_b = 1.1R_yF_yZ/1.5$  (ASD) **(2.3.2.4.16)**

### 2.3.2.6.10. Special Plate Shear Walls (SPSW)

Los SPSW son sistemas que usa muros o paredes de corte, estos se encuentran diseñados para tener una capacidad de deformación inelástica causada fluencia de la pared o la formación de rótulas plásticas en los extremos de elementos horizontales que forman el contorno de los muros. No es necesario de realizar algún tipo de análisis para este tipo de sistema, únicamente el análisis sísmico.

### 2.3.3. CONEXIONES PRECALIFICADAS PARA SMF E IMF PARA ZONAS SÍSMICAS (AISC 358-16)

La norma AISC 358-16, da especificaciones de diseño, detallamiento y otros factores importantes para las uniones de estructuras de acero, estos deben de ser aplicados tanto para los SMF e IMF, es decir, que las uniones bajo esta normativa son capaces de soportar los requerimientos sísmicos especificados en la norma ASIC 341-16. Pese a la norma poseer muchos tipos de diferentes de uniones solo se analizarán los siguientes puntos:

- Revisión viga débil-columna fuerte.
- Cálculo del corte en la unión.

#### 2.3.3.1.Revisión columna fuerte-viga débil

Criterio revisado únicamente en los SMF, la norma exige que la suma de la resistencia a flexión de las columnas que se juntan en un mismo punto debe de ser mayor que la suma de la resistencia a flexión de las vigas que se encuentran ahí. La resistencia de la columna debe de tomar en cuenta la presencia de fuerzas axiales, mientras que la de las vigas debe de reflejar una capacidad mayor a causa de la aplicación de esfuerzo.

La relación de resistencia a flexión de las vigas y las columnas que convergen en un mismo nodo, se determina de la siguiente forma:

$$R = \frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1.0 \quad (2.3.3.1.1)$$

Donde:

- $M_{pc}^*$ , “Momento plástico de las columnas reducido debido a cargas axiales” (ANSI/AISC 358, 2016),  $Z_c \left( F_{yc} - \left| \frac{\alpha_s P_r}{A_g} \right| \right)$  **(2.3.3.1.2)**.
- $Z_c$ , “Módulo plástico de la sección transversal de la columna” (ANSI/AISC 358, 2016).
- $P_r$ , “Compresión axial requerida por la columna” (ANSI/AISC 358, 2016),  $0.06 R_y F_y \frac{Z_c}{\alpha_s h_o}$  **(2.3.3.1.3)**.
- $M_{pb}^*$ , “Momento plástico de las vigas amplificada por posible aumento de la resistencia” (ANSI/AISC 358, 2016),  $M_{pr} + \alpha_s M_v$  **(2.3.3.1.4)**.
- $M_{pr}$ , “Máximo momento probable determinado para la unión”(ANSI/AISC 358, 2016),  $C_{pr} R_y F_y Z_b$  **(2.3.3.1.5)**.
- $C_{pr} = \frac{F_y + F_u}{2F_y}$
- $Z_b$ , “Módulo plástico de la sección transversal de la viga” (ANSI/AISC 358, 2016).
- $M_v$ , “Momento adicional debido a la amplificación del corte” (ANSI/AISC 358, 2016),.

### 2.3.3.2. Análisis del corte en la conexión de la viga

Siguiendo la importancia del análisis del corte, es necesario revisar el corte en cada uno de los extremos de las vigas que componen las estructuras, siendo sujeto de análisis la mayor producida por las combinaciones de cargas. Debido al análisis especial dado el diseño sísmico, para cada tipo diferente de sistema de resistencia sísmico se debe de realizar una revisión diferente, siendo estas las siguientes:

- Para las SMF, debe de ser tomado como el máximo valor de las combinaciones de carga y aquel que desarrolle el momento plástico de la viga, el corte para la conexión de la viga se toma como:

$$V_u = \frac{C M_{pb}}{L_h} + V_D + V_L \text{ (LRFD)} \quad V_a = 0.7 \frac{C M_{pb}}{L_h} + V_D + V_L \text{ (ASD)} \quad \mathbf{(2.3.3.2.1)}$$

- Para las IMF y OMF, debe de ser tomado como el máximo valor sea el corte debido a las combinaciones de carga o el corte asociado a la capacidad a flexión de la viga, el corte para la conexión de la viga se determina de la misma forma que para los SMF.

Donde:

- $C$ , tiene un valor de 0 si los extremos se encuentran simplemente apoyado o es voladizo, 1 si uno de los extremos se encuentra simplemente apoyado, 2 si ninguno de los extremos se encuentra simplemente apoyados.
- $M_{pb}$ , "Momento plástico de la viga" (ANSI/AISC 358, 2016),  $1.1R_yM_p$ .
- $L_h$ , "Longitud libre de la viga" (ANSI/AISC 358, 2016).

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGÍA

#### 3.1. PLANTEAMIENTO DEL ALGORITMO

El algoritmo presente en el trabajo coge las normas AISC 360-16, AISC 341-16 y AISC 358-16, este a su vez se encuentra dividido en varios algoritmos cada uno abarcando una parte del diseño, a continuación, se nombra dichas partes:

- Cálculo de combinaciones de carga expresados en las normas AISC y ASCE-7.
- Determinación de las capacidades y el factor demanda-capacidad, de diferentes tipos de perfiles (I, T, canal, ángulo, tubo circular y tubo rectangular), este algoritmo incluye la clasificación para pandeo local y ductilidad.
- Requerimientos sísmicos de los diferentes sistemas de resistencia a sismo.
- Revisión columna fuerte y viga débil, cálculo de corte en la unión viga columna.

Cabe recalcar que este algoritmo está diseñado con la finalidad de ser usado únicamente para el diseño de estructuras de acero, es decir, no realiza ningún cálculo o análisis estructural, el algoritmo tiene la finalidad de ser anexado o incorporado a un programa que realice lo antes mencionado.

Los algoritmos realizados fueron programados en el lenguaje de programación Python, con la finalidad de que estos puedan ser usados por la mayor cantidad de personas sin finalidad de lucro.

### 3.1.1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

El acero posee ciertas propiedades mecánicas que servirán para el cálculo de las capacidades de los diferentes perfiles, estas deben de ser proporcionadas por el usuario, las que se necesitan son:

- Módulo de elasticidad,  $E$ .
- Esfuerzo de fluencia,  $F_y$ .
- Esfuerzo último,  $F_u$ .
- Módulo de Poisson,  $\mu$ .

Otra propiedad como el Módulo de corte ( $G$ ) es determinada con las antes mencionadas.

### 3.1.2. PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LOS PERFILES

Las diferentes capacidades o resistencia de los perfiles dependen aparte del tipo de material, de las dimensiones, cave recalcar que el usuario del algoritmo debe de ingresar las dimensiones de los mismos, estas son:

- Altura del alma,  $h$ .
- Espesor del alma,  $t_w$ .
- Ancho de las alas,  $b_f$ .
- Espesor de las alas,  $t_f$ .
- Diámetro nominal,  $D$ .
- Espesor de pared,  $t$ .

En función de setas dimensiones el algoritmo será capaz de determinar las diferentes propiedades geométricas de la sección a analizar, como lo son: área ( $A_g$ ), momentos de inercias en sus ejes principales ( $I_x, I_y$ ), módulo de torsión ( $J$ ), constante de alabeo ( $C_w$ ), módulo elástico de sección en sus ejes principales

$(S_x, S_y)$ , módulo plástico de sección en sus ejes principales  $(Z_x, Z_y)$ , radios de giro  $(r_x, r_y)$ , etc.

### **3.1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS POR PANDEO LOCAL Y DUCTILIDAD**

El algoritmo en función de las propiedades ingresadas podrá clasificar los elementos que componen los perfiles, estos normalmente siendo alas y alma, cada una de estas partes posee diferentes estándares de clasificación mencionados en el capítulo anterior. El usuario debe de especificar el método de diseño a utilizar sea este LRFD o ASD.

#### **3.1.3.1. Clasificación por pandeo local, miembros sometidos a compresión**

Los miembros sometidos a compresión se clasifican como:

- Esbeltos, si  $\lambda$  es mayor que  $\lambda_r$ .
- No esbeltos, si  $\lambda$  es menor o igual que  $\lambda_r$ .

En caso de ser clasificado como esbelto la capacidad a compresión deberá de ser castigada.

#### **3.1.3.2. Clasificación por pandeo local, miembros sometidos a flexión**

Los miembros sometidos a flexión se clasifican como:

- Esbeltos, si  $\lambda$  es mayor que  $\lambda_r$ .
- No compactos, si  $\lambda$  es menor o igual que  $\lambda_r$  y mayor que  $\lambda_p$ .
- Compactos, si  $\lambda$  es mayor que  $\lambda_p$ .

En caso de ser clasificado como compacto, estos no deberán de analizar el LTB u otros efectos que reduzcan la capacidad a flexión del perfil.

### 3.1.3.3. Clasificación por ductilidad

Los miembros que forman parte de un sistema de resistencia ante sismo se clasifican como:

- LDM, si  $\lambda$  es mayor que  $\lambda_{md}$ .
- MDM, si  $\lambda$  es menor o igual que  $\lambda_{md}$  y mayor que  $\lambda_{hd}$ .
- HDM, si  $\lambda$  es mayor que  $\lambda_{hd}$ .

Esta clasificación únicamente sirve como parámetro que se debe de cumplir en función del tipo SRFS que se analice.

### 3.1.4. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD A TRACCIÓN AXIAL

El algoritmo para calcular la capacidad a tracción axial usa los criterios expresados en el capítulo anterior, asume el factor de corte diferido ( $U$ ) con un valor de 1.0, el usuario puede cambiar este factor bajo su propio criterio, pero puede seguir los criterios expresados en la tabla D3.1 del AISC 360-16.

### 3.1.5. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD A COMPRESIÓN AXIAL

El usuario debe de realizar el ingreso de los valores de las longitudes del elemento en las diferentes direcciones (se recomienda asumir directamente todas como la longitud entre apoyos para todos los valores sea  $L_x, L_y, L_z$ ), el algoritmo asume los valores de los factores de longitud efectiva ( $K_x, K_y, K_z$ ) como 1.0 pero el usuario puede cambiar el valor de estos bajo sus criterios, usando las ecuaciones del capítulo anterior el programa determina la capacidad a compresión axial del elemento, considerando la reducción del área de la sección para elementos esbeltos.

### 3.1.6. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD A FLEXIÓN

El algoritmo para este análisis, asume las siguientes cosas: El factor de modificación del pandeo lateral torsional a causa de momento no uniforme ( $C_b$ ) se asume como 1.0 a falta de resultados de momentos a lo largo del elemento pero el usuario podrá cambiar este valor y la longitud no arriostrada se tomará ( $L_b$ ) como

la longitud entre apoyos ya que no se considera el análisis con arriostres laterales. Siguiendo las ecuaciones descritas anteriormente se puede determinar la resistencia a flexión del perfil, el algoritmo es capaz de analizar cada uno de los estados límites a analizar y considerando su clasificación para pandeo local.

### **3.1.7. CÁLCULO DE LA CAPACIDAD A CORTE**

El algoritmo no necesita de ningún tipo de ingreso de datos por parte del usuario, ya que este puede realizar este análisis con todos los datos ya ingresados de los materiales y la sección transversal.

### **3.1.8. CAPACIDAD A TORSIÓN**

Únicamente se aplicará para perfiles tubulares circulares y rectangulares, el usuario no necesita de ingresar ningún dato nuevo, el algoritmo calcula con datos ya ingresados este dato.

### **3.1.9. CÁLCULO DEL FACTOR DEMANDA-CAPACIDAD**

El factor demanda capacidad necesita dos análisis previos: combinaciones de carga y determinación de la capacidad a torsión. El algoritmo tiene la capacidad de en función de las acciones analizadas en las combinaciones de carga este sea capaz de analizar si el perfil posee la capacidad necesaria para soportar las cargas a las que es solicitado, previamente se consideraron los siguientes intervalos de aceptación:

- Si el factor demanda-capacidad es menor que 0.5, se considera que la sección cubre de sobremanera la solicitud y el elemento se encuentra sobredimensionado.
- Si el factor demanda-capacidad se encuentra entre 0.5 y 0.7, se considera que la sección puede soportar de buena manera la solicitud de carga.
- Si el factor demanda-capacidad se encuentra entre 0.7 y 0.95, se considera que la solicitud puede o no soportar la solicitud de carga.
- Si el factor demanda-capacidad es mayor que 0.95, se considera que el perfil no es capaz de soportar la carga.

### **3.1.10. COMBINACIONES DE CARGA**

Se le pedirá ingresar al usuario las acciones para cada tipo de carga (muerta, viva, etc.), el algoritmo arrojará los resultados de cada combinación de carga.

### **3.1.11. REVISIONES SÍSMICAS**

El usuario debe de ingresar el tipo de SFRS, en función de esto el algoritmo realizará el análisis correspondiente mencionado en el capítulo anterior, al finalizar el análisis solo emitirá un mensaje cuando exista una inconsistencia con dichas revisiones.

### **3.1.12. DISEÑO DE UNIONES**

#### **3.1.12.1. Revisión viga débil, columna fuerte**

Para esto el usuario debe de ingresar los datos de las columnas y las vigas que va a revisar, el programa indicará si se cumple, estos criterios son únicamente analizados para SMF.

#### **3.1.12.2. Cálculo de la unión de viga**

Debido a que el diseño de uniones viga-columnas es complejo y existen muchos tipos diferentes, solo se calculará el cortante que se transmite a través de la unión para que el usuario diseñe la unión por otros medios.

## **3.2. MODELO DE COMPARACIÓN**

Los resultados obtenidos en los algoritmos correspondientes a este trabajo serán comparados con resultados obtenidos en algunos programas comerciales de diseño en acero. Los demás algoritmos únicamente se pondrán a prueba que estos funcionan mediante el ingreso de datos predeterminados.

### **3.2.1. DATOS PARA EL MODELO**

Los perfiles que se analizarán serán considerados como acero A36, teniendo las siguientes características:

- $E = 2.0389 * 10^6$  (Kg/cm<sup>2</sup>).
- $F_y = 2531$  (Kg/cm<sup>2</sup>).
- $F_u = 4078$  (Kg/cm<sup>2</sup>).
- $\mu = 0.3$

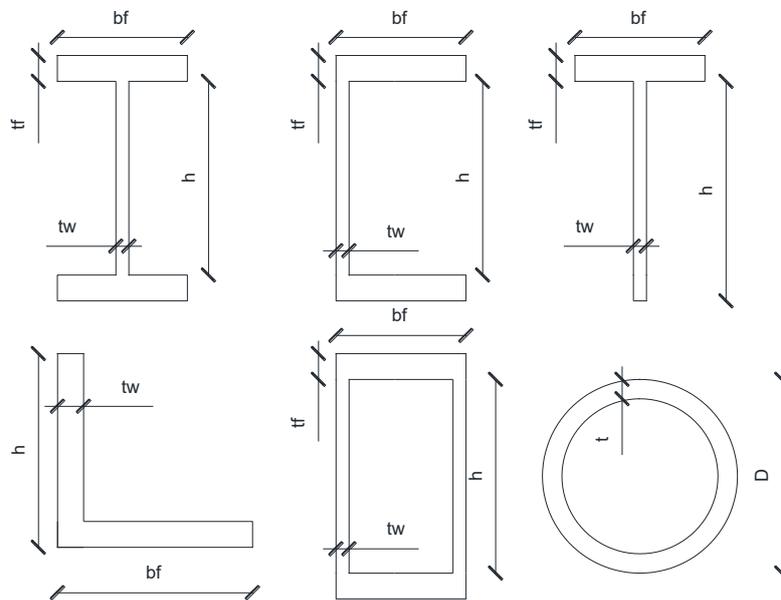
Para cada tipo de perfil se consideraron se analizarán tres casos, a continuación, se presentarán los perfiles analizados:

**Tabla 2. Dimensiones perfiles a analizar**

Perfil	Caso	Dimensiones (mm)					
		h	bf	tw	tf	D	t
<b>I</b>	1	400	250	13	25		
	2	500	250	4	11		
	3	500	300	3	5		
<b>T</b>	1	275	300	13	25		
	2	275	300	11	13		
	3	275	300	6	5		
<b>C (Canal)</b>	1	400	250	13	25		
	2	500	250	4	11		
	3	500	300	3	5		
<b>L (Ángulo)</b>	1	200	200	25			
	2	200	100	12			
	3	100	200	7			
<b>Tubo rectangular</b>	1	300	300	13	13		
	2	300	150	9	9		
	3	150	300	7	7		
<b>Tubo circular</b>	1					300	13
	2					300	5
	3					300	2

**FUENTE:** Los autores

**Ilustración 13.** Representación gráfica de las dimensiones de los diferentes perfiles



**FUENTE:** Los autores

La longitud de los elementos se tomará como 8 metros para todos los análisis.

Dado los primeros casos de cada tipo de perfil ya mencionado, estos se determinarán los factores demanda-capacidad, la demanda que se le impondrá es extraída de un software únicamente considerando el peso propio de los elementos, la solicitud es la siguiente:

**Tabla 3. Solicitación de carga para los perfiles**

Perfil	Caso	Axial (T)	Corte Eje Mayor (T)	Corte Eje menor (T)	Torsión (T.m)	Flexión Eje Mayor (T.m)	Flexión Eje menor (T.m)
I	1	-0,2995	-0,0005	-0,0378	$-3,74 \times 10^{-5}$	0,8474	0,0003
T	1	-0,3017	0,0006	0,4819	$-8,82 \times 10^{-6}$	-0,5861	-0,0023
C(Canal)	1	-0,2936	-0,0009	-0,0351	-0,0001	0,8431	0,0004
L(Ángulo)	1	-0,276	0,0003	0,4007	0,0002	-0,3408	-0,3422
Tubo Rectangular	1	-0,362	-0,0003	-0,6586	-0,0094	-0,7487	-0,0008
Tubo Circular	1	-0,3072	-0,0001	-0,5105	-0,0028	-0,5903	$-4,62 \times 10^{-6}$

**FUENTE:** Los autores

Los resultados obtenidos serán comparados y analizado, con respecto a los obtenidos de otro programa.

El algoritmo donde se calculan las combinaciones de carga únicamente se comprobará que este funcione, dándole los siguientes valores a los diferentes tipos de carga:

**Tabla 4.** *Valores de cargas para combinaciones de carga*

Tipo de carga	de	Abreviación	Valor
<b>Muerta</b>		D	1
<b>Viva</b>		L	2
<b>Lluvia</b>		R	3
<b>Nieve</b>		S	4
<b>Viento</b>		W	5
<b>Sismo</b>		E	6

**FUENTE:** Los autores

### 3.2.2. DATOS PARA PRUEBA DE ALGORITMOS

El primer algoritmo que se probará, será el de requerimientos sísmicos, para esto se crearon dos casos de análisis, ambos son un pórtico espacial sencillo (es decir cuatro columnas conectadas por cuatro vigas) y poseerán las propiedades de acero A36 (radio de giro sobre el eje y se le asignó un valor de 6cm), en el primer caso el marco cumplirá con todos los requerimientos que necesita un SMF y en el segundo caso se impondrán condiciones para que no cumpla los requerimientos para este tipo de marco, esto con la finalidad que el algoritmo pueda señalar donde existen inconsistencias con lo descrito en la norma.

**Tabla 5.** Datos para comprobación de requerimientos sísmicos

Datos	Número de caso	
	1er	2do
Número de columnas	4	
Número de vigas	4	
Factor columnas	0,5-0,5-0,5-0,5	1-0,5-1,5-0,5
Clas. Sísmica Columnas	HDM-HDM-HDM-HDM	HDM-MDM-HDM-MDM
Clas. Sísmica Vigas	HDM-HDM-HDM-HDM	MDM-MDM-MDM-HDM
Longitud libre entre arriostres (cm)	400-400-400-400	800-400-800-400
Esbeltez Columnas	50-50-50-50	70-40-100-40

**FUENTE:** Los autores

La prueba del algoritmo de revisión de viga débil y columna fuerte, se realizará bajo las siguientes suposiciones:

- El marco de resistencia a sismo se toma como SMF.
- Método de diseño LRFD.
- El modelo revisa la unión de dos vigas a una columna.
- Las columnas son continuas entre un nivel y el otro, estas teniendo las características de la primera sección tubular rectangular ya mencionada ( $Z_x = 1607.29 \text{ cm}^4$ ,  $A_g = 201.24 \text{ cm}^2$ ) y las vigas poseen las características de la primer sección I ya mencionada ( $Z_x = 3176.25 \text{ cm}^4$ ).
- Las propiedades del acero corresponden al acero A36.

El ultimo algoritmo para analizar es el de cálculo del corte en la unión, para este se tomó los siguientes datos:

- El marco de resistencia a sismo se toma como SMF.
- Método de diseño LRFD.

- La viga posee las características de la primera sección I ( $Z_x = 3176.25 \text{ cm}^4, L = 8\text{m}$ ).
- Las propiedades del acero corresponden al acero A36.
- El factor C se considera como 1, ya que se considera que la viga únicamente posee un extremo simplemente apoyado.
- El corte por carga muerta es de  $10T$  y por carga viva de  $4T$ .

## **CAPÍTULO 4**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

#### **4.1. RESULTADOS**

Dada cada una de las partes en la que el algoritmo se encuentra dividido, se realizó un tipo diferente de análisis como se explicó en el capítulo anterior, por lo cual se consiguieron diferentes resultados.

##### **4.1.1. COMPROBACIÓN DE CAPACIDADES DE LOS PERFILES**

El primer análisis realizado fue ingresar diferentes dimensiones, con la finalidad de analizar y comparar la capacidad ante axial, flexión, corte y torsión. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

**Tabla 6. Resultados de perfiles I por el método LRFD**

Sección I: LRFD				
Acción		Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tracción Axial (T)	Algoritmo	403,19	170,84	102,51
	Software	403,20	170,85	102,51
Compresión Axial (T)	Algoritmo	165,85	65,74	38,09
	Software	161,11	70,72	52,25
Flexión Eje mayor (T.m)	Algoritmo	57,63	23,87	5,76
	Software	57,05	23,72	5,59
Flexión Eje menor (T.m)	Algoritmo	18,18	7,78	2,17
	Software	18,18	7,59	2,11
Corte Eje mayor (T)	Algoritmo	170,84	75,17	41,00
	Software	170,85	75,17	41,00
Corte Eje menor (T)	Algoritmo	88,83	16,72	9,19
	Software	79,96	16,47	9,05

**Fuente:** Los autores

**Tabla 7. Resultados de perfiles I por el método ASD**

Sección I:ASD		Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tracción Axial (T)	Algoritmo	268,26	113,67	68,20
	Software	268,26	113,67	68,20
Compresión Axial (T)	Algoritmo	110,34	43,72	25,34
	Software	114,93	44,67	19,95
Flexión Eje mayor (T.m)	Algoritmo	38,34	15,88	3,83
	Software	38,57	16,52	3,71
Flexión Eje menor (T.m)	Algoritmo	12,10	5,17	1,45
	Software	12,10	5,05	1,40
Corte Eje mayor (T)	Algoritmo	113,67	50,01	27,28
	Software	113,67	50,02	27,28
Corte Eje menor (T)	Algoritmo	59,23	11,12	6,11
	Software	53,20	10,96	6,02

**Fuente:** Los autores

**Tabla 8. Resultados de perfiles T por el método LRFD**

Sección T: LRFD				
Acción		Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tracción Axial (T)	Algoritmo	252,28	157,75	71,75
	Software	252,28	157,75	717,55
Compresión Axial (T)	Algoritmo	129,59	62,01	5,50
	Software	133,24	63,50	10,10
Flexión Eje mayor (T.m)	Algoritmo	7,37	5,46	0,84
	Software	7,37	5,42	0,82
Flexión Eje menor (T.m)	Algoritmo	13,08	6,73	1,09
	Software	12,42	6,08	1,06
Corte Eje mayor (T)	Algoritmo	102,51	53,30	20,50
	Software	102,51	53,30	20,50
Corte Eje menor (T)	Algoritmo	53,30	43,30	22,96
	Software	53,30	43,30	15,39

**Fuente:** Los autores

**Tabla 9.** Resultados de perfiles T por el método ASD

Sección T:ASD				
Acción		Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tracción Axial (T)	Algoritmo	167,85	104,95	47,74
	Software	167,85	104,96	47,74
Compresión Axial (T)	Algoritmo	86,22	41,26	3,66
	Software	88,65	42,25	6,72
Flexión Eje mayor (T.m)	Algoritmo	4,91	3,63	0,56
	Software	4,91	3,78	0,54
Flexión Eje menor (T.m)	Algoritmo	8,70	4,48	0,72
	Software	8,26	4,05	0,70
Corte Eje mayor (T)	Algoritmo	68,20	35,46	13,64
	Software	68,20	35,47	13,64
Corte Eje menor (T)	Algoritmo	35,46	28,81	15,28
	Software	35,47	28,81	10,24

**Fuente:** Los autores

**Tabla 10.** Resultados de perfiles C por el método LRFD

Sección C: LRFD				
Acción		Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tracción Axial (T)	Algoritmo	403,19	178,43	102,51
	Software	403,20	170,85	102,51
Compresión Axial (T)	Algoritmo	243,18	54,30	25,32
	Software	241,92	71,52	44,59
Flexión Eje mayor (T.m)	Algoritmo	63,15	17,70	1,44
	Software	6,28	17,57	1,40
Flexión Eje menor (T.m)	Algoritmo	28,75	8,13	0,81
	Software	2,66	7,90	0,786
Corte Eje mayor (T)	Algoritmo	170,84	75,17	17,12
	Software	170,85	75,17	16,63
Corte Eje menor (T)	Algoritmo	79,95	16,72	9,19
	Software	79,96	16,47	9,05

**Fuente:** Los autores

**Tabla 11. Resultados de perfiles C por el método ASD**

Sección C:ASD				
Acción		Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tracción Axial (T)	Algoritmo	268,26	113,67	68,20
	Software	268,26	113,67	68,20
Compresión Axial (T)	Algoritmo	161,79	36,12	16,84
	Software	167,12	37,92	12,19
Flexión Eje mayor (T.m)	Algoritmo	42,02	11,78	0,96
	Software	42,24	11,69	0,99
Flexión Eje menor (T.m)	Algoritmo	17,71	54,12	0,54
	Software	17,72	5,25	0,52
Corte Eje mayor (T)	Algoritmo	113,67	50,01	11,39
	Software	113,67	50,02	11,06
Corte Eje menor (T)	Algoritmo	53,20	11,12	61,12
	Software	53,20	10,96	60,12

**Fuente:** Los autores

**Tabla 12.** Resultados de perfiles ángulo por el método LRFD

Sección Ángulo: LRFD				
Acción		Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tracción Axial (T)	Algoritmo	213,55	787,24	46,72
	Software	213,56	787,26	46,72
Compresión Axial (T)	Algoritmo	36,66	4,14	2,55
	Software	38,42	4,34	2,67
Flexión Eje mayor (T.m)	Algoritmo	10,79	1,68	0,59
	Software	7,82	1,63	0,56
Flexión Eje menor (T.m)	Algoritmo	5,86	0,96	0,57
	Software	5,86	0,96	0,57
Corte Eje mayor (T)	Algoritmo	5,86	16,40	19,13
	Software	68,34	16,40	19,14
Corte Eje menor (T)	Algoritmo	68,34	32,80	9,57
	Software	68,34	32,80	9,57

**Fuente:** Los autores

**Tabla 13. Resultados de perfiles ángulo por el método ASD**

Sección Ángulo:ASD				
Acción		Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tracción Axial (T)	Algoritmo	142,08	52,38	31,84
	Software	142,09	52,38	31,09
Compresión Axial (T)	Algoritmo	58,80	4,33	1,70
	Software	25,56	2,89	1,78
Flexión Eje mayor (T.m)	Algoritmo	5,08	0,46	0,39
	Software	5,12	1,09	0,37
Flexión Eje menor (T.m)	Algoritmo	3,90	0,64	0,38
	Software	3,90	0,64	0,38
Corte Eje mayor (T)	Algoritmo	45,47	10,91	6,37
	Software	45,47	10,91	6,37
Corte Eje menor (T)	Algoritmo	45,47	21,82	12,73
	Software	45,47	21,83	12,73

**Fuente:** Los autores

**Tabla 14.** Resultados de perfiles tubular rectangular por el método LRFD

Sección Tubo Rectangular: LRFD				
Acción		Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tracción Axial (T)	Algoritmo	339,95	177,13	139,04
	Software	339,96	177,13	139,05
Compresión Axial (T)	Algoritmo	268,01	76,56	61,39
	Software	270,95	79,56	63,73
Flexión Eje mayor (T.m)	Algoritmo	36,61	17,10	8,32
	Software	36,61	17,10	8,32
Flexión Eje menor (T.m)	Algoritmo	36,61	10,46	13,53
	Software	36,61	10,46	13,53
Corte Eje mayor (T)	Algoritmo	97,37	32,47	54,72
	Software	97,37	32,47	54,28
Corte Eje menor (T)	Algoritmo	97,37	69,38	26,02
	Software	97,37	69,38	26,02
Torsión (T.m)	Algoritmo	29,15	10,06	8,00
	Software	29,16	10,06	8,00

**Fuente:** Los autores

**Tabla 15. Resultados de perfiles tubular rectangular por el método ASD**

Sección Tubo Rectangular: ASD				
Acción		Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tracción Axial (T)	Algoritmo	226,18	117,85	92,51
	Software	226,19	117,85	92,51
Compresión Axial (T)	Algoritmo	178,32	50,94	40,85
	Software	180,27	52,94	42,40
Flexión Eje mayor (T.m)	Algoritmo	24,36	11,38	5,53
	Software	24,36	11,38	5,54
Flexión Eje menor (T.m)	Algoritmo	24,36	6,96	9,00
	Software	24,36	6,96	9,00
Corte Eje mayor (T)	Algoritmo	64,18	21,61	36,41
	Software	64,78	21,61	36,41
Corte Eje menor (T)	Algoritmo	64,78	46,16	17,31
	Software	64,78	46,16	17,31
Torsión (T.m)	Algoritmo	19,40	6,69	5,32
	Software	19,40	6,69	5,32

**Fuente:** Los autores

**Tabla 16.** *Resultados de perfiles tubular circular por el método LRFD*

Sección Tubo: LRFD				
Acción		Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tracción Axial (T)	Algoritmo	267,00	105,55	42,65
	Software	267,00	105,56	42,65
Compresión Axial (T)	Algoritmo	194,45	78,15	27,85
	Software	197,30	79,23	28,04
Flexión Eje mayor (T.m)	Algoritmo	24,41	9,91	4,05
	Software	24,41	9,82	4,05
Corte Eje mayor (T)	Algoritmo	80,10	31,67	7,51
	Software	80,10	31,67	7,29
Torsión (T.m)	Algoritmo	22,99	9,34	2,39
	Software	22,99	93,42	2,37

**Fuente:** Los autores

**Tabla 17. Resultados de perfiles tubular circular por el método ASD**

Sección Tubo: ASD				
Acción		Caso 1	Caso 2	Caso 3
Tracción Axial (T)	Algoritmo	177,64	70,23	28,38
	Software	177,65	702,31	28,38
Compresión Axial (T)	Algoritmo	129,38	52,00	18,53
	Software	13,13	52,72	18,65
Flexión Eje mayor (T.m)	Algoritmo	16,24	6,60	2,69
	Software	16,24	6,53	2,34
Corte Eje mayor (T)	Algoritmo	53,29	24,07	5,00
	Software	53,29	21,07	4,85
Torsión (T.m)	Algoritmo	15,30	6,22	1,59
	Software	15,30	6,22	1,58

**Fuente:** Los autores

Analizando los resultados de las tablas anteriores, se puede apreciar lo siguiente:

- Los resultados obtenidos en el algoritmo y en el programa comercial, son muy similares, variando muy poco en los resultados numéricos, esto debido a ciertos valores asumidos como factores que el programa comercial realiza el cálculo de los mismos.
- En los casos donde las secciones se clasifican como “esbeltas” ante pandeo local debido a compresión axial, el programa comercial no realiza la reducción necesaria al área efectiva, esto se puede apreciar viendo que la compresión en el algoritmo sea de menor valor.
- Los ángulos difieren su resultado en el eje principal mayor, ya que el software comercial toma como este eje al eje geométrico x, es por esto que se puede apreciar una capacidad a flexión menor.

#### 4.1.2. FACTOR DEMANDA-CAPACIDAD

Bajo las cargas introducidas a los diferentes elementos propuestos, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 18.** Factores demanda-capacidad obtenido del algoritmo comparados con el software comercial

Perfil	Análisis	Factor Demanda/Capacidad	
		Algoritmo	Programa
I	1	0,0156	0,013
T	1	0,0808	0,082
C(Canal)	1	0,019	0,012
L(Ángulo)	1	0,0525	0,109
Tubo Rectangular	1	0,021	0,021
Tubo Circular	1	0,025	0,025

**Fuentes:** Los autores

De lo expuesto se puede analizar lo siguiente:

- El algoritmo da el mismo factor demanda-capacidad que el software de comparación, dado que las capacidades son muy similares y se expusieron a las mismas cargas.
- El ángulo es el único que difiere, ya que como se expresó con anterioridad, la capacidad a flexión en el eje principal mayor del algoritmo es mayor ya que este si considera el verdadero eje principal y no el eje geométrico.

#### 4.1.3. COMBINACIONES DE CARGA

Dadas las cargas expresadas en el capítulo anterior, estas se introdujeron al algoritmo que determina las diferentes combinaciones de carga, obteniendo de esta forma, los siguientes resultados:

**Tabla 19.** Resultados obtenidos en el algoritmo de combinaciones de carga

Combinación	Metodología	
	LRFD	ASD
1	1,4	1
2	5,9	3
3	8	4
4	6,4	4,75
5	9,6	5
6	5,9	5,5
7	-4,1	4
8	8,5	-2
9	3,5	7
10	9,7	2,5
11	-0,3	7,75
12	10,1	3,25
13	5,1	3,6
14	6,9	-2,4
15	-5,1	5,2
16	10	-3,2
17	-2	8,65
18		2,35
19		4,8
20		-3,6

**Fuente:** Los autores

Se puede apreciar que los resultados concuerdan con las combinaciones expresadas en la norma.

#### 4.1.4. REVISIONES SÍSMICAS

Los casos anteriormente mencionados fueron ingresados al algoritmo para el análisis de requerimientos sísmicos, a continuación, se mostrarán los resultados mostrados por el programa:

**Ilustración 14.** Resultados de la consola para el primer caso de análisis

```
In [39]: runfile('C:/Users/Kevin Catota/OneDrive/10mo/tesis/PROGRAMA_1/untitled1.py',
wdir='C:/Users/Kevin Catota/OneDrive/10mo/tesis/PROGRAMA_1')

In [40]:
```

**Fuente:** Los autores

**Ilustración 15.** Resultados de la consola para el segundo caso de análisis

```
In [38]: runfile('C:/Users/Kevin Catota/OneDrive/10mo/tesis/PROGRAMA_1/untitled1.py',
wdir='C:/Users/Kevin Catota/OneDrive/10mo/tesis/PROGRAMA_1')
'La columna 0 no soporta las cargas'
'La columna 2 no soporta las cargas'
'La columna 1 no cumple con requerimientos mínimos'
'La columna 3 no cumple con requerimientos mínimos'
'La viga 0 no cumple con requerimientos mínimos'
'La viga 1 no cumple con requerimientos mínimos'
'La viga 2 no cumple con requerimientos mínimos'
'La viga 0 posee mucha longitud no arriostrada'
'La viga 2 posee mucha longitud no arriostrada'
'La columna 0 es muy esbelta para el sistema'
'La columna 2 es muy esbelta para el sistema'

In [39]:
```

**Fuente:** Los autores

Se puede apreciar que el algoritmo puede identificar cuales elementos y que tipo de requerimientos para este caso una SMF no son cumplidos, también en caso de cumplir los requerimientos el algoritmo no imprime ninguna observación.

#### 4.1.5. REVISIÓN VIGA DÉBIL-COLUMNA FUERTE

El caso de análisis introducido en el algoritmo arrojó los siguientes resultados:

**Ilustración 16.** Resultados de la consola ante el caso de análisis

```
Python 3.8.8 (default, Apr 13 2021, 15:08:03) [MSC v.1916 64 bit
(AMD64)]
Type "copyright", "credits" or "license" for more information.

IPython 7.22.0 -- An enhanced Interactive Python.

In [1]: runfile('C:/Users/Luis Andres/OneDrive/10mo/tesis/PROGRAMA_1/
R_viga_columna_prueb.py', wdir='C:/Users/Luis Andres/OneDrive/10mo/
tesis/PROGRAMA_1')
'Las vigas tienen mayor resistencia que las columnas'

In [2]:
```

**Fuente:** Los autores

El algoritmo pudo determinar que las vigas con respecto a las columnas poseen mayor capacidad, lo cual es el análisis correcto, dado que se introdujeron estos datos para obtener esta respuesta.

#### 4.1.6. DETERMINACIÓN DEL CORTE EN UNIONES

El corte arrojado por el algoritmo con los datos antes mencionados es el siguiente:

**Ilustración 17.** Resultado de la consola para el cálculo del corte en la unión

```
Python 3.8.8 (default, Apr 13 2021, 15:08:03) [MSC v.1916 64 bit
(AMD64)]
Type "copyright", "credits" or "license" for more information.

IPython 7.22.0 -- An enhanced Interactive Python.

In [1]: runfile('C:/Users/Luis Andres/OneDrive/10mo/tesis/PROGRAMA_1/
R_viga_columna_prueb.py', wdir='C:/Users/Luis Andres/OneDrive/10mo/
tesis/PROGRAMA_1')

In [2]: Vn
Out[2]: 30580.620546875

In [3]:
```

**Fuente:** Los autores

El resultado del cálculo del algoritmo es de 30.58 T, lo cual demuestra que el algoritmo es capaz de determinar este valor.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- El algoritmo “Calculo de Capacidades” tiene la capacidad de determinar las diferentes combinaciones de cargas establecidas en la norma, siendo capaz de calcular valores de todas las acciones a la que se someten los elementos sean estos axial, corte, flexión y torsión.
- Las propiedades mecánicas del acero al igual que las propiedades geométricas de los diferentes perfiles, inciden directamente en la capacidad del miembro, el algoritmo puede determinar las diferentes propiedades geométricas, pero necesita del ingreso de la sección transversal y de las propiedades del material.
- En secciones clasificadas como “esbeltas” (AISC 360) sometido a compresión axial bajo condición de pandeo local, se observó que el software comercial de comparación no realiza la disminución del área efectiva establecida en el AISC 360 obteniendo variaciones grandes con respecto a los resultados obtenidos en el algoritmo del presente trabajo, pese a que en el manual de usuario del software antes mencionado si se encuentra mencionada dicha reducción.
- La clasificación de los elementos ante pandeo local (AISC 360) y por ductilidad (AISC 341), es importante debido a que en caso de que la sección se considere esbelta la norma establece considerar una menor capacidad de este elemento, el algoritmo posee la capacidad de realizar una clasificación acertada.
- El último paso del diseño de acero es el análisis del factor demanda-capacidad, es decir, cuanto del esfuerzo sometido el elemento es capaz de soportar, el algoritmo puede determinar dichos factores para todas las

combinaciones de carga indiferentemente del método, al igual indicar al usuario si el elemento posee la capacidad necesaria.

- El algoritmo puede diferenciar los tipos de sistema de resistencia sísmica y en función de este, determinar cuáles son los requisitos que necesita cumplir dicho sistema y a su vez comprobar su cumplimiento.
- El código es capaz de determinar el corte que se acumula en las uniones viga-columna, obteniendo así la acción a la que se encuentra sometida, permitiéndole al diseñador tener un parámetro para el diseño de la misma, ya que el programa de por sí no es capaz de diseñarla por la complejidad de esta, debido a estas complejidades se han creado softwares comerciales especializados en uniones.
- La transferencia de esfuerzos de las vigas hacia las columnas es muy importante, para esto se debe garantizar que las vigas posean menor capacidad que las columnas, en el caso de las SMF el algoritmo puede realizar esta revisión, determinando de esta forma su cumplimiento o no.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Previo al uso de los algoritmos expuestos, se recomienda al usuario familiarizarse con los criterios expresados en las normas AISC 360, 358 y 341, ya que estos únicamente arrojan resultados, por lo cual el criterio del usuario para el análisis de dichos resultados es de suma importancia.
- Los algoritmos deben de ser probados mayor cantidad de veces, ya que estos pueden presentar fallas en ciertas operaciones las cuales no hayan sido identificadas hasta la presentación de este trabajo.
- Las diferentes abreviaturas o nomenclatura usada para los algoritmos están basadas en sus nombres en inglés, y establecidas en el glosario de la normativa por lo cual el usuario debe de tener entendimiento del tema.

### 5.3. LIMITACIONES DE LOS ALGORITMOS

- Los algoritmos se limitan únicamente al diseño y revisión de criterios expresados en las normas AISC 360, 358 y 341, por lo cual, no posee la capacidad de determinar las diferentes acciones a las cuales los elementos estructurales se someten (axial, flexión, cortante y torsión), ya que la visión es que estos puedan ser adaptados a un software con la capacidad de realizar análisis estructural.
- El usuario debe de realizar el ingreso del tipo de elemento estructural y la cantidad de elementos, debido a que el algoritmo no posee la capacidad de diferenciar entre tipos de elementos, con lo que se podrá analizar y obtener resultados de las revisiones sísmicas mínimas, acorde al tipo de elemento y tipo de sistema de resistencia sísmica.
- Los algoritmos no son capaces de determinar ciertos factores como lo son: longitud efectiva ( $K$ ) debido a que se debe conocer las condiciones de apoyo, variación de momentos ( $C_b$ ) ya que no se conoce los valores de momento a lo largo del eje del elemento, esto sucede debido a que estos realizan diseño y no cálculo estructural. Por lo cual se asumió un valor de 1 para el presente trabajo, quedando a criterio y análisis el cambio de estos valores por el usuario.
- No se permite el ingreso de datos tales como, atezadores laterales o rigidizadores, pese a estos influenciar en la capacidad del elemento, por lo cual el algoritmo siempre tomará la longitud total del elemento.

## FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

- Aghayere, A. O., & Vigil, J. (2020). *Structural Steel Design* (D. Pallay (ed.); Third Edition). Mercury Learning and Information. <https://www.amazon.com/-/es/Abi-Aghayere/dp/1683923677?asin=B084MLGS9N&revisionId=&format=2&depth=1>
- ALACERO. (2019). América Latina en cifras 2019. In *Asociación Latinoamericana del Acero*. <https://www.alacero.org/es/page/publicaciones/america-latina-en-cifras>
- ANSI/AISC 341. (2016). Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 341-16. In *Structural Analysis and Design of Tall Buildings*. <https://doi.org/10.1201/b11248-8>
- ANSI/AISC 358. (2016). Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications. *American Institute of Steel Construction*, March, 90. <https://law.resource.org/pub/us/code/bsc.ca.gov/sibr/org.aisc.358-05.pdf>
- ANSI/AISC 360. (2016). *Specification for Structural Steel Buildings, an American National Standard*.
- Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2017). Statics and Mechanics of Materials. In *Connect, learn, succeed* (Second Ed). Mx Graw Hill Education.
- Bolt, B. A. (2021). Earthquake. In *Encyclopedia Britannica*. Encyclopedia Britannica, Inc. <https://www.britannica.com/science/earthquake-geology/Major-historical-earthquakes>
- Jarrah, R., Chen, C., & Kassem, M. (2021). Ranking structural analysis software applications using AHP and Shannon ' s entropy. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 1–8. <https://doi.org/10.1080/13467581.2021.1900858>

- Liu, Z., Liu, X., & Ji, J. (2012). Structural comparison and project cost analysis on two kinds of frame structures. *Applied Mechanics and Materials*, 193–194, 1197–1200. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.193-194.1197>
- McCorman, J. C., & Csernak, S. F. (2012). Diseño de estructuras de acero. In M. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C. V. (Ed.), *Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C. V., México* (5ta.).
- Microgeo. (2016). *Migeo*. <https://migeo.cl/522-csi>
- NEC, N. E. de C. (2015). Peligro Sísmico Diseño sísmoresistente. In *Norma Ecuatoriana de la Construcción*.
- Odesskii, P. D. (2018). Functional and Economic Aspects of Steels for Metal Structures. *Steel in Translation*, 48(12), 820–824. <https://doi.org/10.3103/S0967091218120094>
- Pinarbasi, S., Genc, T., Akpinar, E., & Okay, F. (2020). Comparison of Design Guidelines for Hot-Rolled I-Shaped Steel Compression Members according to AISC 360-16 and EC3. *Advances in Civil Engineering*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6853176>
- Pytel, A., & Kiusalaas, J. (2012). Mechanics of materials. In C. Learning (Ed.), *Mechanics Of Materials* (Second Edi). Global Engineering.
- Ramirez Palomino, M., & Carrasco Gutiérrez, J. L. (2019). *Comparación de metodologías de diseño por esfuerzo admisible (ASD) y factores de diseño de carga y resistencia (LRFD) en muros de suelo reforzado y aplicación práctica a un proyecto* [Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas]. [https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/625495/RamirezP\\_M.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/625495/RamirezP_M.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Salih, A. G., & Ahmed, H. A. (2014). The Effective Contribution of Software Applications in Various Disciplines of Civil Engineering. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 5(12), 316–333.
- UNDRR., & CRED. (2018). *Pérdidas económicas, pobreza y desastres 1998-2017*.

Wu, Y., & Haimei, Z. (2010). *Building materials in civil engineering* (H. Zhang (ed.)). Woodhead Publishing Limited.

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

**Algoritmo cálculo de capacidades perfil tipo “I”.**

```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
''''''
```

```
Created on Oct 2021
```

```
@author: Burgos Luis y Catota Kevin
```

```
Titulo:PERFIL I
```

```
''''''
```

```
''''''
```

```
Datos Ingresados por el Usuario
```

```
''''''
```

```
''''''
```

```
tf=Espesor de los patines[cm]
```

```
tw=Espesor del alma[cm]
```

```
bf=Ancho de los patines[cm]
```

```
h=Altura del alma[cm]
```

```
metodo=Método de diseño LRFD o ASD
```

```
E=Modulo de Elasticidad del acero [Kg/cm2]
```

```
Fy=Esfuerzo de fluencia del Acero [kg/cm2]
```

```
Fu=Esfuerzo ultimo del acero [kg/cm2]
```

```
v=Coefficiente de Poisson
```

```
Lx=Longitud del elemento eje x
```

```
Ly=Longitud del elemento eje y
```

```
Lz=Longitud del elemento en su eje longitudinal
```

```
''''''
```

```
#LIBRERIAS
```

```
import math
```

```
#INGRESO DE DATOS
```

```
metodo=
```

```
tf=
```

```
tw=
```

```
bf=
```

```
h=
```

```
E=
```

```
Fy=
```

```
Fu=
```

```
v=
```

```
Lx=
```

```
Ly=
```

```
Lz=
```

```
#Conservadoramente se lo toma como 1.0 pero el usuario puede cambiar los valores
```

```
Kx=1.0
```

```
Ky=1.0 #Conservadoramente se lo toma como 1.0 pero el usuario puede cambiar los valores
```

```
Kz=1.0 #Factor de Longitud de pandeo efectiva sobre el eje longitudinal del elemento
```

```
G=E/2/(1+v)
```

```
''''''
```

```
Propiedades Geometricas Perfil Tipo I
```

```
''''''
```

```
Ag=(2*tf*bf)+(tw*h)
```

```
Ix=(h+2*tf)**3*bf/12-(bf-tw)*h**3/12
```

```
Iy=bf**3*tf/6+h*tw**3/12
```

```
J=1/3*(2*bf*tf**3+(h+tf)*tw**3)
```

```

Cw=(tf*bf**3*(h+tf)**2)/24

#Modulo Elasticos
Sx=Ix/(h/2+tf)
Sy=Iy/(bf/2)
#Modulos plasticos
a=((bf*tf)*((h/2)+tf/2)+tw*(h/2)*(h/2)/2)/(bf*tf+tw*(h/2))
Zx=Ag/2*(2*a)
b=(bf**2*tf/4+h*tw**2/8)/(bf*tf+h*tw/2)
Zy=Ag/2*(2*b)

rx=(Ix/Ag)**0.5
ry=(Iy/Ag)**0.5

Fy=2531
Fu=4078
E=2.1e6
v=0.3 #Coeficiente de Poisson
G=E/2/(1+v)

"""
#Sección I Pandeo Local C.A.
"""
#definiciones
b=bf/2
#alas
lamdacf=b/tf
lamdacrf=0.56*(E/Fy)**0.5
if lamdacf<lamdacrf:
    ala='no esbelta'
else:
    ala='esbelta'
#alma
lamdacw=h/tw
lamdacrw=1.49*(E/Fy)**0.5
if lamdacw<lamdacrw:
    alma='no esbelta'
else:
    alma='esbelta'
if ((ala=='esbelta')+(alma=='esbelta'))>=1:
    seccion='esbelta'
else:
    seccion='no esbelta'
ClasComp=[ala,alma,seccion]

"""
Pandeo Local Flex.
"""
#alas
lamdabf=b/tf
lamdabpf=0.38*(E/Fy)**0.5
lamdabrf=1.0*(E/Fy)**0.5
if lamdabf<lamdabpf:
    ala='compacta'
elif lamdabpf<=lamdabf and lamdabf<lamdabrf:

```

```

    ala='no compacta'
else :
    ala='esbelta'
#alma
lamdabw=h/tw
lamdabpw=3.76*(E/Fy)**0.5
lamdabrw=5.70*(E/Fy)**0.5
if lamdabw<lamdabpw:
    alma='compacta'
elif lamdabpw<=lamdabw and lamdabw<lamdabrw:
    alma='no compacta'
else :
    alma='esbelta'
if ala=='esbelta' or alma=='esbelta':
    seccion='esbelta'
elif ala=='no compacta' and alma!='esbelta':
    seccion='no compacta'
elif ala!='esbelta' and alma=='no compacta':
    seccion='no compacta'
elif ala=='compacta' and alma=='compacta':
    seccion='compacta'
ClasFlex=[ala,alma,seccion]

"""
Calculo de la capacidad a traccion axial (Kg/cm2)
"""
#Datos necesarios
phit=0.90
omegat=1.67
U=1.0 #Valor default
Ae=Ag*U #Área efectiva
#Fluencia en tracción en la sección bruta
Pn1=Fy*Ag
#Ruptura en tracción en la sección neta
Pn2=Fu*Ae
Pn=min(Pn1,Pn2)
if metodo=='ASD':
    Trd=Pn/omegat
elif metodo=='LRFD':
    Trd=Pn*phit

"""
Calculo de la capacidad a compresión axial (Kg/cm2)
"""
esbeltez=max(Kx*Lx/rx,Kx*Ly/ry)
if esbeltez<=2000:
    display('Ok')
else:
    display('Se recomienda utilizar una sección menos esbelta')
Kz=1.0 #Puede ser sobrescrito
Fe1=math.pi**2*E/(esbeltez)**2 #Pandeo flexural de miembros sin elementos esbeltos
Fe2=(math.pi**2*E*Cw/(Kz*Lz)**2+G*J)*(1/(Ix+Iy)) #Pandeo flexo-torsional
Fe=min(Fe1,Fe2)
if esbeltez<=4.71*(E/Fy)**0.5:
    Fcr=(0.658**((Fy/Fe))*Fy

```

```

else:
    Fcr=0.877*Fe
if ClasComp[2]=='esbelta':
#Miembros con elementos esbeltos
    c1=0.22 #Revisar en la tabla E7.1
    c2=(1-(1-4*c1)**0.5)/2/c1
    # c1=0.18
    # c2=1.31
    if lamdacf<=lamdacrf*(Fy/Fcr)**0.5:
        be=bf
    else:
        Fel=(c2*lamdacrf/lamdacf)**2*Fy
        be=bf*(1-c1*(Fel/Fcr)**0.5)*(Fel/Fcr)**0.5
    A1=(bf-be)*tf*2 #Debido a las dos alas
    if lamdacw<=lamdacrw*(Fy/Fcr)**0.5:
        be=h
    else:
        Fel=(c2*lamdacrw/lamdacw)**2*Fy
        be=h*(1-c1*(Fel/Fcr)**0.5)*(Fel/Fcr)**0.5
    A2=(h-be)*tw
    Ae=Ag-A1-A2
else:
    Ae=Ag
Pn=Fcr*Ae
phic=0.9
omegac=1.67
if metodo=='ASD':
    Cod=Pn/omegac
elif metodo=='LRFD':
    Cod=Pn*phic

"""
Calculo de la capacidad a flexión (Kg/cm2)
"""
import math
#Factor de modificacion por LTB
Cb=1
#Cb=12.5*Mmax/(2.5*Mmax+3*MA+4*MB+3*MC)
ho=h+tf
Lb=Lz #longitud entre puntos que están reforzados contra el desplazamiento lateral de
#la ala encompresión o arriostrada contra la torsión de la sección transversal,
#Cb=12.5*Mmax/(2.5*Mmax+3*MA+4*MB+3*MC) #En casos de voladizos 1.0
if ClasFlex[2]=='compacta':
    #Fluencia del acero
    Mp=Fy*Zx
    Mn1=Mp
    #LTB
    c=1
    rts=((Iy*Cw)**0.5/Sx)**0.5
    Fcr=Cb*math.pi**2*E/(Lb/rts)**2*(1+0.078*J*c/Sx/ho*(Lb/rts)**2)**0.5
    Lp=1.76*ry*(E/Fy)**0.5
    Lr=1.95*rts*E/0.7/Fy*(J*c/Sx/ho+(J*c/Sx/ho)**2+6.76*(0.7*Fy/E)**2)**0.5
    if Lb<=Lp:
        Mn2=math.inf
    elif Lp<Lb<=Lr:

```

```

Mn2=Cb*(Mp-(Mp-0.7*Fy*Sx)*((Lb-Lp)/(Lr-Lp)))
if Mn2>Mp:
    Mn2=Mp
else:
    Mn2=Fcr*Sx
    if Mn2>Mp:
        Mn2=Mp
Mn=min(Mn1,Mn2)

elif ClasFlex[1]=='compacta' and ClasFlex[0]!='compacta':
#LTB
Mp=Fy*Zx
c=1
rts=((Iy*Cw)**0.5/Sx)**0.5
Fcr=Cb*math.pi**2*E/(Lb/rts)**2*(1+0.078*J*c/Sx/ho*(Lb/rts)**2)**0.5
Lp=1.76*ry*(E/Fy)**0.5
Lr=1.95*rts*E/0.7/Fy*(J*c/Sx/ho+(J*c/Sx/ho)**2+6.76*(0.7*Fy/E)**2)**0.5**0.5
if Lb<=Lp:
    Mn1=math.inf
elif Lp<Lb<=Lr:
    Mn1=Cb*(Mp-(Mp-0.7*Fy*Sx)*((Lb-Lp)/(Lr-Lp)))
    if Mn1>Mp:
        Mn1=Mp
else:
    Mn1=Fcr*Sx
    if Mn>Mp:
        Mn1=Mp
#Pandeo local del ala en compresión
lamda=bf/2/tf
kc=4/(h/tw)**0.5
if kc<=0.35:
    kc=0.35
elif 0.35<kc<0.76:
    kc=kc
else:
    kc=0.76
if ClasFlex[0]=='esbelta':
    Mn2=0.9*E*kc*Sx/lamda**2 #con alas esbeltas
elif ClasFlex[0]=='no compacta':
    Mn2=Mp-(Mp-0.7*Fy*Sx)*((lamda-lamdabpf)/(lamdabrf-lamdabpf))
else:
    Mn2=math.inf
Mn=min(Mn1,Mn2)

elif ClasFlex[1]=='no compacta':
#Fluencia del ala en compresión
Mp=Fy*Zx
My=Fy*Sx
lyc=bf**3*tf/12
if Mp>1.6*Fy*Sx:
    Mp=1.6*Fy*Sx
lamda=h/tw
if lyc/ly>0.23:
    if lamda<=lamdabpw:
        Rpc=Mp/My

```

```

else:
    Rpc=Mp/My-(Mp/My-1)*((lamda-lamdabpw)/(lamdabrwlamdabpw))
    if Rpc>(Mp/My):
        Rpc=Mp/My
else:
    Rpc=1.0
Mn1=Rpc*My
#LTB
aw=h*tw/bf/tf
if aw>10:
    aw=10
rt=bf/(12*(1+aw/6))**0.5
Fcr=Cb*math.pi**2*E/(Lb/rt)**2*(1+0.078*J/Sx/ho*(Lb/rt)**2)**0.5
FL=0.7*Fy
Lp=1.1*rt*(E/Fy)**0.5
Lr=1.95*rt*E/FL*(J/Sx/ho+((J/Sx/ho)**2+6.76*(FL/E)**2)**0.5)**0.5
if Lb<=Lp:
    Mn2=math.inf
elif Lp<Lb<=Lr:
    Mn2=Cb*(Rpc*My-(Rpc*My-FL*Sx)*((Lb-Lp)/(Lr-Lp)))
    if Mn2>Rpc*My:
        Mn2=Rpc*My
else:
    Mn2=Fcr*Sx
    if Mn2>Rpc*My:
        Mn2=Rpc*My
#Pandeo local del ala en compresion
kc=4/(h/tw)**0.5
if kc<0.35:
    kc=0.35
elif kc>0.76:
    kc=0.76
lamda=bf/2/tf
if ClasFlex[0]=='compacta':
    Mn3=math.inf
elif ClasFlex[0]=='no compacta':
    Mn3=Rpc*My-(Rpc*My-FL*Sx)*((lamda-lamdabpf)/(lamdabrf-lamdabpf))
else:
    Mn3=0.9*E*kc*Sx/lamda**2
Mn=min(Mn1,Mn2,Mn3)

elif ClasFlex[1]=='esbelta':
    aw=h*tw/bf/tf
    if aw>10:
        aw=10
    Rpg=1-aw/(1200+300*aw)*(h/tw-5.7*(E/Fy)**0.5)
    if Rpg>1.0:
        Rpg=1.0
#Fluencia del ala en compresion
Mn1=Rpg*Fy*Sx
#LTB
rt=bf/(12*(1+1/6*aw))**0.5
Lr=math.pi*rt*(E/0.7/Fy)**0.5
Lp=1.1*rt*(E/Fy)**0.5
if Lb<=Lp:

```

```

Fcr=math.inf
elif Lp<Lb<=Lr:
    Fcr=Cb*(Fy-(0.3*Fy))*((Lb-Lp)/(Lr-Lp)))
    if Fcr>=Fy:
        Fcr=Fy
    else:
        Fcr=Cb*math.pi**2*E/(Lb/rt)**2
        if Fcr>=Fy:
            Fcr=Fy
Mn2=Rpg*Fcr*Sx
#Pandeo Local del ala en compresión
lamda=bf/2/tf
kc=4/(h/tw)**0.5
if kc<=0.35:
    kc=0.35
elif 0.35<kc<0.76:
    kc=kc
else:
    kc=0.76
if ClasFlex[0]=='compacta':
    Fcr=math.inf
elif ClasFlex[0]=='no compacta':
    Fcr=Fy-0.3*Fy*((lamda-lamdabpf)/(lamdabrf-lamdabpf))
elif ClasFlex[0]=='esbelta':
    Fcr=0.9*E*kc/(bf/2/tf)**2
    if Fcr>Fy:
        Fcr=Fy
Mn3=Rpg*Fcr*Sx
Mn=min(Mn1,Mn2,Mn3)

#Factores de corrección
phib=0.90
omegab=1.67
if metodo=='ASD':
    Mdx=Mn/omegab
elif metodo=='LRFD':
    Mdx=Mn*phib

"""
Calculo de la capacidad a flexión por el eje menor (Kg/cm2)
"""

#Fluencia
Mp=Fy*Zy
if Mp>1.6*Fy*Sy:
    Mp=1.6*Fy*Sy
Mn1=Mp
#Pandeo local del ala
lamda=bf/tf/2
Fcr=0.69*E/(lamda)**2
if ClasFlex[0]=='compacta':
    Mn2=math.inf
elif ClasFlex[0]=='no compacta':
    Mn2=Mp-(Mp-0.7*Fy*Sy)*((lamda-lamdabpf)/(lamdabrf-lamdabpf))
elif ClasFlex[0]=='esbelta':
    Mn2=Fcr*Sy

```

```

Mn=min(Mn1,Mn2)
phib=0.90
omegab=1.67
if metodo=='ASD':
    Mdy=Mn/omegab
elif metodo=='LRFD':
    Mdy=Mn*phib

"""

Calculo de la capacidad a corte (Kg/cm2)
"""

Aw=(h+tf*2)*tw
phiv=0.90
omegav=1.67
#Resistencia del alma sin accion del campo de tracciones
#Seccion I enroladas
if (h/tw)<=2.24*(E/Fy)**0.5:
    phiv=1.00
    omegav=1.50
    Cv1=1.0
    kv=5.34
else:
    kv=5.34 #Se considera la ausencia de atiesadores transversales
    if h/tw<=1.10*(kv*E/Fy)**0.5:
        Cv1=1.0
    else:
        Cv1=1.10*(kv*E/Fy)**0.5/(h/tw)
Vn=0.6*Fy*Aw*Cv1
if metodo=='ASD':
    Vdy=Vn/omegav
elif metodo=='LRFD':
    Vdy=Vn*phiv

"""

Calculo de la capacidad a corte sobre el eje menor (Kg/cm2)
"""

phiv=0.90
omegav=1.67
Aw=2*bf*tf
#h/tw=bf/2/tf
kv=1.2
if bf/2/tf<=1.10*(kv*E/Fy)**0.5:
    Cv2=1.0
elif bf/2/tf>1.37*(kv*E/Fy)**0.5:
    Cv2=1.51*kv*E/(bf/2/tf)**2/Fy
else:
    Cv2=1.10*(kv*E/Fy)**0.5/(bf/2/tf)
Vn=0.6*Fy*Aw*Cv2
if metodo=='ASD':
    Vdx=Vn/omegav
elif metodo=='LRFD':
    Vdx=Vn*phiv

"""

Clasificacion de las secciones por ductilidad

```

```

HDM, High Ductile Members
MDM, Moderetely Ductile Members
LDM, Low Ductile Members
''''''

Pu=Pn

Ry=1.5 #Normalmente para Acero A36
#Alas
lamdahdf=0.32*(E/Ry/Fy)**0.5
lamdamdf=0.40*(E/Ry/Fy)**0.5
lamdaf=bf/2/tf
if lamdaf<lamdahdf:
    ala='HDM'
elif lamdaf>=lamdamdf:
    ala='LDM'
else:
    ala='MDM'
#Alma, si se usa como diagonal
lamdahdw=1.57*(E/Ry/Fy)**0.5
lamdamdw=1.57*(E/Ry/Fy)**0.5
lamdaw=h/tw
if lamdaw<lamdahdw:
    alma='HDM'
elif lamdaw>=lamdamdw:
    alma='LDM'
else:
    alma='MDM'
#Alma
Py=Ry*Fy*Ag
Ca=Pu/phic/Py #LRFD
Ca=omegac*Pu/Py #ASD
if Ca<=0.114:
    lamdahdw=2.57*(E/Ry/Fy)**0.5*(1-1.04*Ca)
    lamdamdw=3.96*(E/Ry/Fy)**0.5*(1-3.04*Ca)
else:
    lamdahdw=0.88*(E/Ry/Fy)**0.5*(2.68-Ca)
    lamdamdw=1.29*(E/Ry/Fy)**0.5*(2.12-Ca)
if lamdahdw<1.57*(E/Ry/Fy)**0.5:
    lamdahdw=1.57*(E/Ry/Fy)**0.5
if lamdamdw<1.57*(E/Ry/Fy)**0.5:
    lamdamdw=1.57*(E/Ry/Fy)**0.5
if ala=='LDM' or alma=='LDM':
    seccion='LDM'
elif ala=='MDM' and alma!='LDM':
    seccion='MDM'
elif ala!='LDM' and alma=='MDM':
    seccion='MDM'
elif ala=='HDM' and alma=='HDM':
    seccion='HDM'
ClasDuct=[ala,alma,seccion]

display(Trd/1000)
display(Cod/1000)
display(Mdx/100000)
display(Mdy/100000)

```

```
display(Vdx/1000)
display(Vdy/1000)
```

```
"""
```

```
Factor Demanda-Capacidad
```

```
"""
```

```
INGRESAR AXIAL, MOMENTO(EJES X y Y )
```

```
#r=requerido
```

```
#d=de diseño
```

```
Pr= Axial Requerido
```

```
Pc= Axial Dado
```

```
Miembros sometidos a compresion y flexion
```

```
co=len(Comb)
```

```
for co in range(0,co,1):
```

```
    Pr=Comb(0,co)
```

```
    Mrx=Comb(4,co)
```

```
    Mry=Comb(5,co)
```

```
    if Pr<0:
```

```
        Pc=Cod
```

```
        #Estabilidad en el plano
```

```
        if abs(Pr/Pc)>=0.2:
```

```
            Factor1=abs(Pr/Pc)+8/9*(abs(Mrx/Mdx*Cb)+abs(Mry/Mdy))
```

```
        else:
```

```
            Factor1=abs(Pr/2/Pc)+(abs(Mrx/Mdx*Cb)+abs(Mry/Mdy))
```

```
        #Estabilidad fuera de el plano
```

```
        Factor2=abs(Pr/Pc)*(1.5-0.5*abs(Pr/Pc))+abs((Mrx/Mdx)**2
```

```
        Factor=max(Factor1,Factor2)
```

```
    #Miembros sometidos a tesion y flexion
```

```
    elif Pr>0:
```

```
        Pc=Trd
```

```
        #Estabilidad del plano
```

```
        if Pr/Pc>=0.2:
```

```
            Factor1=abs(Pr/Pc)+8/9*(abs(Mrx/Mdx)+abs(Mry/Mdy))
```

```
        else:
```

```
            Factor1=abs(Pr/2/Pc)+(abs(Mrx/Mdx)+abs(Mry/Mdy))
```

```
        #Estabilidad fera del plano
```

```
        Factor2=abs(Mrx/Mdx)**2
```

```
        Factor=max(Factor1,Factor2)
```

## **ANEXO 2**

**Algoritmo cálculo de capacidades perfil tipo “C”.**

```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
''''
```

```
Created on Oct 2021
```

```
@author: Burgos Luis y Catota Kevin
```

```
Titulo:PERFIL Canal C
```

```
''''
```

```
''''
```

```
Datos Ingresados por el Usuario
```

```
''''
```

```
''''
```

```
tf=Espesor de los patines[cm]
```

```
tw=Espesor del alma[cm]
```

```
bf=Ancho de los patines[cm]
```

```
h=Altura del alma[cm]
```

```
metodo=Método de diseño LRFD o ASD
```

```
E=Modulo de Elasticidad del acero [Kg/cm2]
```

```
Fy=Esfuerzo de fluencia del Acero [kg/cm2]
```

```
Fu=Esfuerzo ultimo del acero [kg/cm2]
```

```
v=Coefficiente de Poisson
```

```
Lx=Longitud del elemento eje x
```

```
Ly=Longitud del elemento eje y
```

```
Lz=Longitud del elemento en su eje longitudinal
```

```
''''
```

```
#LIBRERIAS
```

```
import math
```

```
#INGRESO DE DATOS
```

```
metodo=
```

```
tf=
```

```
tw=
```

```
bf=
```

```
h=
```

```
E=
```

```
Fy=
```

```
Fu=
```

```
v=
```

```
Lx=
```

```
Ly=
```

```
Lz=
```

```
#Factores de reduccion de la inercia efectiva EI
```

```
#Conservadoramente se lo toma como 1.0 pero el usuario puede cambiar los valores
```

```
Kx=1.0
```

```
Ky=1.0
```

```
Kz=1.0
```

```
G=E/2/(1+v)
```

```
''''
```

```
Propiedades Geometricas Perfil Canal C
```

```
''''
```

```
Ag=2*bf*tf+h*tw
```

```
xcg=(tf*bf**2+h*tw**2/2)/Ag
```

```
lx=2*(bf*tf**3/12+tf*bf*(h/2+tf/2)**2)+(tw*h**3/12)
```

```

ly=2*(bf**3*tf/12+bf*tf*abs(bf/2-xcg)**2)+(h*tw**3/12+h*tw*abs(tw/2-xcg)**2)
rx=(lx/Ag)**0.5
ry=(ly/Ag)**0.5

```

```

J=1/3*(2*(bf-tw/2)*tf**3+(h-tf)*tw**3)
Cw=tf*(bf)**3*(h-tf)**2/12*(3*(bf)*tf+2*(h-tf)*tw)/(6*(bf)*tf+(h-tf)*tw)

```

```

yo=0
xo=abs(3*bf**2*tf/(6*bf*tf+h*tw)-tw/2+xcg)
#Modulos elasticos
Sx=lx/(h/2+tf)
Sy=min(abs(ly/(xcg)),abs(ly/(xcg-bf))) #Negativa
#Modulos plásticos
a=(bf*tf*(h/2+tf/2)+h/2*tw*h/4)/(bf*tf+h/2*tw)
Zx=Ag/2*(2*a)
w=(2*bf*tf-tw*h)/4/tf
if w>0:
    xc1=(h*tw*(w-tw/2)+tf*w**2)/(h*tw+tf*w**2)
    xc2=(bf-w)/2
else:
    w=(2*bf*tf+h*tw)/(4*tf+2*h)
    xc1=(tf*w**2+h*w**2/2)/(2*tf*w+w*h)
    xc2=((bf-w)**2*tf+h*(tw-w)**2/2)/(2*(bf-w)*tf+h*(tw-w))
Zy=Ag/2*(xc1+xc2)

```

```

"""

```

```

Pandeo Local C.A.

```

```

"""

```

```

#alas

```

```

lamdacf=bf/tw

```

```

lamdacrf=0.56*(E/Fy)**0.5

```

```

if lamdacf<lamdacrf:

```

```

    ala='no esbelta'

```

```

else:

```

```

    ala='esbelta'

```

```

#alma

```

```

lamdacw=h/tw

```

```

lamdacrw=1.49*(E/Fy)**0.5

```

```

if lamdacw<lamdacrw:

```

```

    alma='no esbelta'

```

```

else:

```

```

    alma='esbelta'

```

```

if ((alma=='esbelta')+(ala=='esbelta'))>=1:

```

```

    seccion='esbelta'

```

```

else:

```

```

    seccion='no esbelta'

```

```

ClasComp=[ala,alma,seccion]

```

```

"""

```

```

Pandeo Local Flex.

```

```

"""

```

```

#alas

```

```

lamdabf=bf/tw

```

```

lamdabpf=0.38*(E/Fy)**0.5

```

```

lamdabrf=1.0*(E/Fy)**0.5

```

```

if lamdabf<lamdabpf:
    ala='compacta'
elif lamdabpf<=lamdabf and lamdabf<lamdabrf:
    ala='no compacta'
else:
    ala='esbelta'
#alma
lamdabw=h/tw
lamdabpw=3.76*(E/Fy)**0.5
lamdabrw=5.70*(E/Fy)**0.5
if lamdabw<lamdabpw:
    alma='compacta'
elif lamdabpw<=lamdabw and lamdabw<lamdabrw:
    alma='no compacta'
else:
    alma='esbelta'
if ala=='esbelta' or alma=='esbelta':
    seccion='esbelta'
elif ala=='no compacta' and alma!='esbelta':
    seccion='no compacta'
elif ala!='esbelta' and alma=='no compacta':
    seccion='no compacta'
elif ala=='compacta' and alma=='compacta':
    seccion='compacta'
ClasFlex=[ala,alma,seccion]

"""
Calculo de la capacidad a traccion axial (Kg/cm2)
"""
#Datos necesarios
phit=0.90
omegat=1.67
U=1.0 #Valor default
Ae=Ag*U #Área efectiva
#Fluencia en tracción en la sección bruta
Pn1=Fy*Ag
#Ruptura en tracción en la sección neta
Pn2=Fu*Ae
Pn=min(Pn1,Pn2)
if metodo=='ASD':
    Trd=Pn/omegat
elif metodo=='LRFD':
    Trd=Pn*phit

"""
Calculo de la capacidad a compresión axial (Kg/cm2)
"""
import math
#Datos
phic=0.9
omegac=1.67
esbeltez=max(Kx*Lx/rx,Kx*Ly/ry)
if esbeltez<=2000:
    display('Ok')
else:

```

```

display('Se recomienda utilizar una sección menos esbelta')
Fe1=math.pi**2*E/(esbeltez)**2 #Pandeo flexural de miembros sin elementos esbeltos
ro=(xo**2+yo**2+(lx+ly)/Ag)**0.5
H=1-(xo**2+yo**2)/ro**2
Fex=math.pi**2*E/(Kx*Lx/rx)**2
Fez=(math.pi**2*E*Cw/(Kz*Lz)**2+G*J)*1/Ag/ro**2
Fe2=((Fex+Fez)/(2*H))*(1-(1-(4*Fex*Fez*H)/(Fex+Fez)**2)**0.5) #Pandeo torsional de miembros sin
elementos esbeltos
Fe=min(Fe1,Fe2)
if esbeltez<=4.71*(E/Fy)**0.5:
    Fcr=(0.658**(Fy/Fe))*Fy
else:
    Fcr=0.877*Fe
if ClasComp[2]=='esbelta':
#Miembros con elementos esbeltos
c1=0.22 #Revisar en la tabla E7.1
c2=(1-(1-4*c1)**0.5)/2/c1
if lamdacf<=lamdacrf*(Fy/Fcr)**0.5:
    be=bf
else:
    Fel=(c2*lamdacrf/lamdacf)**2*Fy
    be=bf*(1-c1*(Fel/Fcr)**0.5)*(Fel/Fcr)**0.5
A1=(bf-be)*tw*2 #Debido a las dos Alas
if lamdacw<=lamdacrw*(Fy/Fcr)**0.5:
    be=h
else:
    Fel=(c2*lamdacrw/lamdacw)**2*Fy
    be=h*(1-c1*(Fel/Fcr)**0.5)*(Fel/Fcr)**0.5
A2=(h-be)*tw
Ae=Ag-A1-A2
else:
    Ae=Ag
Pn=Fcr*Ae
phic=0.9
omegac=1.67
if metodo=='ASD':
    Cod=Pn/omegac
elif metodo=='LRFD':
    Cod=Pn*phic

"""
Calculo de la capacidad a flexión (Kg/cm2)
"""

import math
#Factor de modificacion por LTB
#Cb=12.5*Mmax/(2.5*Mmax+3*MA+4*MB+3*MC) #En casos de voladizos 1.0
Cb=1.0
Lb=Lz
#Fluencia del acero
Mp=Fy*Zx
Mn1=Mp
#LTB
ho=h+tw
c=ho/2*(Iy/Cw)**0.5
rts=((Iy*Cw)**0.5/Sx)**0.5

```

```

Fcr=Cb*math.pi**2*E/(Lb/rts)**2*(1+0.078*J*c/Sx/ho*(Lb/rts)**2)**0.5
Lp=1.76*ry*(E/Fy)**0.5
Lr=1.95*rts*E/0.7/Fy*(J*c/Sx/ho+((J*c/Sx/ho)**2+6.76*(0.7*Fy/E)**2)**0.5)**0.5
if Lb<=Lp:
    Mn2=math.inf
elif Lp<Lb<=Lr:
    Mn2=Cb*(Mp-(Mp-0.7*Fy*Sx)*((Lb-Lp)/(Lr-Lp)))
    if Mn2>Mp:
        Mn2=Mp
else:
    Mn2=Fcr*Sx
    if Mn2>Mp:
        Mn2=Mp
#Pandeo de las alas por compresion
lamda=bf/tf
kc=4/(h/tw)**0.8
if kc<0.35:
    kc=0.35
elif kc>0.76:
    kc=0.76
if ClasFlex[1]=='compacta':
    if ClasFlex[0]=='compacta':
        Mn3=math.inf
    elif ClasFlex[0]=='no compacta':
        Mn3=Mp-(Mp-0.7*Fy*Sx)*(lamda-lamdabpf)/(lamdabrf-lamdabpf)
    elif ClasFlex[0]=='esbelta':
        Mn3=0.9*E*kc*Sx/lamda**2
elif ClasFlex[1]=='no compacta':
    FL=0.7*Fy
    lyc=bf**3*tf/12
    My=Fy*Sx
    if lyc/ly<=0.23:
        Rpc=1
    elif lamdabw<=lamdabpw and lyc/ly>0.23:
        Rpc=Mp/My
    elif lamdabpw<lamdabw<lamdabrw and lyc/ly>0.23:
        Rpc=(Mp/My-(Mp/My-1)*(lamdabw-lamdabpw)/(lamdabrw-lamdabpw))
        if Rpc>Mp/My:
            Rpc=Mp/My
    if ClasFlex[0]=='compacta':
        Mn3=Rpc*My
    elif ClasFlex[0]=='no compacta':
        Mn3=Rpc*My-(Rpc*My-FL*Sx)*(lamda-lamdabpf)/(lamdabrf-lamdabpf)
    elif ClasFlex[0]=='esbelta':
        Mn3=0.9*E*kc*Sx/lamda**2
elif ClasFlex[1]=='esbelta':
    if ClasFlex[0]=='compacta':
        Fcr=Fy
    elif ClasFlex[0]=='no compacta':
        Fcr=Fy-(0.3*Fy)*(lamda-lamdabpf)/(lamdabrf-lamdabpf)
    elif ClasFlex[0]=='esbelta':
        Fcr=0.9*E*kc/lamda**2
        if Fcr>Fy:
            Fcr=Fy
aw=h*tw/bf/tf

```

```

if aw>10:
    aw=10
Rpg=1-aw/(1200+300*aw)*(h/tw-5.7*(E/Fy)**0.5)
if Rpg>1:
    Rpg=1
Mn3=Rpg*Fcr*Sx
Mn=min(Mn1,Mn2,Mn3)
phib=0.90
omegab=1.67
if metodo=='ASD':
    Mdx=Mn/omegab
elif metodo=='LRFD':
    Mdx=Mn*phib

"""
Calculo de la capacidad a flexión: eje menor (Kg/cm2)
"""
#Fluencia
Mp=Fy*Zy
if Mp>1.6*Fy*Sy:
    Mp=1.6*Fy*Sy
Mn1=Mp
#Pandeo local del ala
lamda=bf/tf
Fcr=0.69*E/(lamda)**2
if ClasFlex[0]=='compacta':
    Mn2=math.inf
elif ClasFlex[0]=='no compacta':
    Mn2=Mp-(Mp-0.7*Fy*Sy)*((lamda-lamdabpf)/(lamdabrf-lamdabpf))
elif ClasFlex[0]=='esbelta':
    Mn2=Fcr*Sy
Mn=min(Mn1,Mn2)
phib=0.90
omegab=1.67
if metodo=='ASD':
    Mdy=Mn/omegab
elif metodo=='LRFD':
    Mdy=Mn*phib

"""
Calculo de la capacidad a corte (Kg/cm2)
"""
Aw=(h+tf*2)*tw
phiv=0.90
omegav=1.67
#Resistencia del alma sin accion del campo de tracciones
kv=5.34 #Se considera la ausencia de atiesadores transversales
if h/tw<=1.10*(kv*E/Fy)**0.5:
    Cv1=1.0
else:
    Cv1=1.10*(kv*E/Fy)**0.5/(h/tw)
Vn=0.6*Fy*Aw*Cv1
if metodo=='ASD':
    Vdy=Vn/omegav
elif metodo=='LRFD':

```

```

Vdy=Vn*phiv

''''''
Calculo de la capacidad a corte sobre el eje menor (Kg/cm2)
''''''

Aw=2*bf*tf
kv=1.2
if bf/tf<=1.10*(kv*E/Fy)**0.5:
    Cv2=1.0
elif bf/tf>1.37*(kv*E/Fy)**0.5:
    Cv2=1.51*kv*E/(bf/tf)**2/Fy
else:
    Cv2=1.10*(kv*E/Fy)**0.5/(bf/tf)
Vn=0.6*Fy*Aw*Cv2 #bt por bf
if metodo=='ASD':
    Vdx=Vn/omegav
elif metodo=='LRFD':
    Vdx=Vn*phiv
''''''

Clasificacion de las secciones por ductilidad
HDM, High Ductile Members
MDM, Moderetely Ductile Members
LDM, Low Ductile Members
''''''

Pu=Pn
Ry=1.5 #The ratio of the expected yield strength to the
#minimum specified yield strength. This ratio is used
#in capacity-based design for special seismic cases.
#Alas
lamdahdf=0.32*(E/Ry/Fy)**0.5
lamdamdf=0.40*(E/Ry/Fy)**0.5
lamdaf=bf/tf
if lamdaf<lamdahdf:
    ala='HDM'
elif lamdaf>=lamdamdf:
    ala='LDM'
else:
    ala='MDM'
#Alma, si se usa como diagonal
lamdahdw=1.57*(E/Ry/Fy)**0.5
lamdamdw=1.57*(E/Ry/Fy)**0.5
lamdaw=h/tw
if lamdaw<lamdahdw:
    alma='HDM'
elif lamdaw>=lamdamdw:
    amla='LDM'
else:
    alma='MDM'
#Alma
Py=Ry*Fy*Ag
Ca=Pu/phic/Py #LRFD
Ca=omegac*Pu/Py #ASD
if Ca<=0.114:
    lamdahdw=2.57*(E/Ry/Fy)**0.5*(1-1.04*Ca)
    lamdamdw=3.96*(E/Ry/Fy)**0.5*(1-3.04*Ca)

```

```

else:
    lamdahdw=0.88*(E/Ry/Fy)**0.5*(2.68-Ca)
    lamdamdw=1.29*(E/Ry/Fy)**0.5*(2.12-Ca)
    if lamdahdw<1.57*(E/Ry/Fy)**0.5:
        lamdahdw=1.57*(E/Ry/Fy)**0.5
    if lamdamdw<1.57*(E/Ry/Fy)**0.5:
        lamdahdw=1.57*(E/Ry/Fy)**0.5
if lamdaw<lamdahdw:
    alma='HDM'
elif lamdaw>=lamdamdw:
    alma='LDM'
else:
    alma='MDM'
if ala=='LDM' or alma=='LDM':
    seccion='LDL'
elif ala=='MDM' and alma!='LDM':
    seccion='MDM'
elif ala!='LDM' and alma=='MDM':
    seccion='MDM'
elif ala=='HDM' and alma=='HDM':
    seccion='HDM'
ClasDuct=[ala,alma,seccion]

display(Trd/1000)
display(Cod/1000)
display(Mdx/100000)
display(Mdy/100000)
display(Vdx/1000)
display(Vdy/1000)

"""
Factor Demanda-Capacidad
"""
co=len(Comb)
for co in range(0,co,1):
    Pr=Comb(0,co)
    Mrx=Comb(4,co)
    Mry=Comb(5,co)

#Miembros sometidos a compresion y flexion
if Pr<0:
    Pc=Cod
    #Estabilidad en el plano
    if abs(Pr/Pc)>=0.2:
        Factor=abs(Pr/Pc)+8/9*(abs(Mrx/Mdx)+abs(Mry/Mdy))
    else:
        Factor=abs(Pr/2/Pc)+(abs(Mrx/Mdx)+abs(Mry/Mdy))
#Miembros sometidos a tension y flexion
elif Pr>0:
    Pc=Trd
    #Estabilidad del plano
    if Pr/Pc>=0.2:
        Factor=abs(Pr/Pc)+8/9*(abs(Mrx/Mdx)+abs(Mry/Mdy))
    else:
        Factor=abs(Pr/2/Pc)+(abs(Mrx/Mdx)+abs(Mry/Mdy))

```



### **ANEXO 3**

**Algoritmo cálculo de capacidades perfil tipo “Angulo”.**

```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
''''
```

```
Created on Oct 2021
```

```
@author: Burgos Luis y Catota Kevin
```

```
Titulo:PERFIL Angulo
```

```
''''
```

```
''''
```

```
Datos Ingresados por el Usuario
```

```
''''
```

```
''''
```

```
tw=Espesor de las secciones[cm]
```

```
bf=Ancho del patin (eje x)[cm]
```

```
h=Altura del alma (eje y)[cm]
```

```
metodo=Método de diseño LRFD o ASD
```

```
E=Modulo de Elasticidad del acero [Kg/cm2]
```

```
Fy=Esfuerzo de fluencia del Acero [kg/cm2]
```

```
Fu=Esfuerzo ultimo del acero [kg/cm2]
```

```
v=Coefficiente de Poisson
```

```
Lx=Longitud del elemento eje x
```

```
Ly=Longitud del elemento eje y
```

```
Lz=Longitud del elemento en su eje longitudinal
```

```
''''
```

```
#LIBRERIAS
```

```
import math
```

```
#INGRESO DE DATOS
```

```
metodo=
```

```
tf=
```

```
bf=
```

```
h=
```

```
E=
```

```
Fy=
```

```
Fu=
```

```
v=
```

```
Lx=
```

```
Ly=
```

```
Lz=
```

```
#Factores de reduccion de la inercia efectiva EI
```

```
#Conservadoramente se lo toma como 1.0 pero el usuario puede cambiar los valores
```

```
Kx=1.0
```

```
Ky=1.0
```

```
Kz=1.0
```

```
G=E/2/(1+v)
```

```
''''
```

```
Propiedades Geometricas Perfil Angulo
```

```
''''
```

```
Ag=tw*(bf+(h-tw))
```

```
xcg=(tw*bf**2/2+(h-tw)*tw**2/2)/Ag
```

```
ycg=(bf*tw**2/2+(h-tw)*tw*(h+tw)/2)/Ag
```

```
# xo=abs(tw/2-xcg)
```

```

# yo=abs(tw/2-ycg)
xo=(xcg*(2**0.5))-tw/2
yo=(ycg*(2**0.5))-tw/2

lx=1/3*(tw*(h-ycg)**3+bf*ycg**3-(bf-tw)*(ycg-tw)**3)
ly=1/3*(tw*(bf-xcg)**3+h*xcg**3-(h-tw)*(xcg-tw)**3)
#Calculo de propiedades sobre sus ejes principales
if (xcg>0 and ycg>0) or ((xcg<0 and ycg<0)):
    K=-((bf-tw)*bf*(h-tw)*h*tw)/(4*(bf+(h-tw)))
else:
    K=((bf-tw)*bf*(h-tw)*h*tw)/(4*(bf+(h-tw)))
if bf==h:
    teta=math.radians(45)
else:
    teta=math.atan(2*K/(ly-lx))/2

lz=lx*math.sin(teta)**2+ly*math.cos(teta)**2+K*math.sin(2*teta)
lw=lx*math.cos(teta)**2+ly*math.sin(teta)**2-K*math.sin(2*teta)
d=bf-tw/2
b=h-tw/2
wo=yo*math.sin(teta)+xo*math.cos(teta)
zo=yo*math.cos(teta)-xo*math.sin(teta)
C1=xo**2/2*(yo**2-(yo-b)**2)+(yo**4-(yo-b)**4)/4+yo/3*(xo**3-(xo-d)**3)+yo**3*d
C2=xo/3*(yo**3-(yo-b)**3)+xo**3*b+(xo**4-(xo-d)**4)/4+yo**2/2*(xo**2-(xo-d)**2)
if bf==h:
    betaw=0
else:
    betaz=tw*(C1*math.sin(teta)+C2*math.cos(teta))/lz-2*wo
    betaw=tw*(C1*math.cos(teta)-C2*math.sin(teta))/lw-2*zo
wcg=math.cos(teta)*xcg+math.sin(teta)*ycg
zcg=ycg*math.cos(teta)-xcg*math.sin(teta)
rx=(lx/Ag)**0.5
ry=(ly/Ag)**0.5
rz=(lz/Ag)**0.5
rw=(lw/Ag)**0.5

J=(tw**3*(bf-tw/2)+tw**3*(h-tw/2))/3
Cw=1/36*tw**3*((bf-tw/2)**3+(h-tw/2)**3)

#Modulo elastico
Sx=lx/(h-(ycg))
Sy=ly/(bf-(xcg))
Sw=lw/max(abs(zcg-math.sin(teta)*bf),abs(zcg-math.cos(teta)*h),zcg)
Sz=lz/max(abs(wcg-math.sin(teta)*h),abs(wcg-math.cos(teta)*bf),wcg)

#Modulo plastico
t=(bf*tw+tw*h-tw**2)/2/bf
if t<tw:
    yc1=t/2
    yc2=(bf*(tw-t)**2/2+tw*(h-tw)*((h-tw)/2+(tw-t)))/(bf*(tw-t)+tw*(h-tw))
else:
    t=(h+tw-bf)/2
    yc1=(bf*tw*(t-tw/2)+tw*(t-tw)**2/2)/(bf*tw+tw*(t-tw))
    yc2=(h-t)/2
Zx=Ag/2*(yc1+yc2)

```

```

w=(h*tw+tw*bf-tw**2)/2/h
if w<tw:
    xc1=w/2
    xc2=(h*(tw-w)**2/2+tw*(bf-tw)*((bf-tw)/2+(tw-w)))/(h*(tw-w)+tw*(bf-tw))
else:
    w=(bf+tw-h)/2
    xc1=(h*tw*(w-tw/2)+tw*(w-tw)**2/2)/(bf*tw+tw*(w-tw))
    xc2=(bf-w)/2
Zy=Ag/2*(xc1+xc2)

"""
Pande Local C.A.
"""
#Ala 1
lamdac1=bf/tw
lamdacr=0.45*(E/Fy)**0.5
if lamdac1<lamdacr:
    ala1='no esbelta'
else:
    ala1='esbelta'
#Ala 2
lamdac2=h/tw
if lamdac2<lamdacr:
    ala2='no esbelta'
else:
    ala2='esbelta'
if ((ala1=='esbelta')+(ala2=='esbelta'))>=1:
    seccion='esbelta'
else:
    seccion='no esbelta'
ClasComp=[ala1,ala2,seccion]
"""
Pandeo Local Flex.
"""
#Ala 1
lamdab1=bf/tw
lamdabp=0.54*(E/Fy)**0.5
lamdabr=0.91*(E/Fy)**0.5
if lamdab1<lamdabp:
    ala1='compacta'
elif lamdabp<=lamdab1 and lamdab1<lamdabr:
    ala1='no compacta'
else :
    ala1='esbelta'
#Ala 2
lamdab2=h/tw
if lamdab2<lamdabp:
    ala2='compacta'
elif lamdabp<=lamdab2 and lamdab2<lamdabr:
    ala2='no compacta'
else:
    ala2='esbelta'
if ala1=='esbelta' or ala2=='esbelta':
    seccion='esbelta'
elif ala1=='no compacta' and ala2!='esbelta':

```

```

    seccion='no compacta'
elif ala1!='esbelta' and ala2=='no compacta':
    seccion='no compacta'
elif ala1=='compacta' and ala2=='compacta':
    seccion='compacta'
ClasFlex=[ala1,ala2,seccion]

''''

Calculo de la capacidad a traccion axial (Kg/cm2)
''''

#Datos necesarios
phit=0.90
omegat=1.67
U=1.0 #Valor default
Ae=Ag*U #Área efectiva
#Fluencia en tracción en la sección bruta
Pn1=Fy*Ag
#Ruptura en tracción en la sección neta
Pn2=Fu*Ae
Pn=min(Pn1,Pn2)
if metodo=='ASD':
    Trd=Pn/omegat
elif metodo=='LRFD':
    Trd=Pn*phit

''''

Calculo de la capacidad a compresión axial (Kg/cm2)
''''

esbeltez=max(Kx*Lz/rz,Ky*Lz/rw)
if esbeltez<=2000: #quito f al final
    display('Ok')
else:
    display('Se recomienda utilizar una sección menos esbelta')
#FB sin elementos esbeltos
Fe1=math.pi**2*E/(esbeltez)**2 #Pandeo flexural de miembros sin elementos esbeltos
if lamdac1<=0.71*(E/Fy) and lamdac2<=0.71*(E/Fy):
    Fe2=math.inf
else:
    ro=(xo**2+yo**2+(ly+lx)/Ag)**0.5
    H=1-(xo**2+yo**2)/ro**2
    Fex=math.pi**2*E/(Kx*Lx/rx)**2
    Fey=math.pi**2*E/(Ky*Ly/ry)**2
    Fez=((math.pi**2*E*Cw/(Kz*Lz)**2)+G*J)*1/Ag/ro**2
#Pandeo torsional de miembros sin elementos esbeltos
if ClasComp[2]=='no esbelta':
    error=100
    Feo=0
    tolerancia=0.00000001
    n=0
    while error>tolerancia:
        n=n+1
        f=(Feo-Fex)*(Feo-Fey)*(Feo-Fez)-Feo**2*(Feo-Fey)*(xo/ro)**2-Feo**2*(Feo-Fex)*(yo/ro)**2
        fp=(Feo-Fex)*(Feo-Fey)+((Feo-Fex)+(Feo-Fey))*(Feo-Fez)-(Feo**2+2*Feo*(Feo-Fey))*(xo/ro)**2-
        (Feo**2+2*Feo*(Feo-Fex))*(yo/ro)**2
        Fe2=Feo-f/fp

```

```

        error=abs((Fe2-Feo)/Fe2)
        Feo=Fe2
Fe=min(Fe1,Fe2)
if esbeltez<=4.71*(E/Fy)**0.5:
    Fcr=(0.658**((Fy/Fe))*Fy
else:
    Fcr=0.877*Fe
#Miembros con elementos esbeltos
if ClasComp[2]=='esbelta':
    Ae=Ag
    c1=0.22 #Revisar en la tabla E7.1
    c2=(1-(1-4*c1)**0.5)/2/c1
    if lamdac1<=lamdacr*(Fy/Fcr)**0.5:
        be=bf
    else:
        Fel=(c2*lamdacr/lamdac1)**2*Fy
        be=bf*(1-c1*(Fel/Fcr)**0.5)*(Fel/Fcr)**0.5
    A1=(bf-be)*tw
    if lamdac2<=lamdacr*(Fy/Fcr)**0.5:
        be=h
    else:
        Fel=(c2*lamdacr/lamdac2)**2*Fy
        be=h*(1-c1*(Fel/Fcr)**0.5)*(Fel/Fcr)**0.5
    A2=(h-be)*tw
    Ae=Ag-A1-A2
else:
    Ae=Ag
    Pn=Fcr*Ae
    phic=0.9
    omegac=1.67
    if metodo=='ASD':
        Cod=Pn/omegac
    elif metodo=='LRFD':
        Cod=Pn*phic

"""
Calculo de la capacidad a flexión: Eje mayor (Kg/cm2)
"""

#Fluencia
My=Fy*Sw#REVISAR
Cb=1 #REVISAR
Lb=Lz #REVISAR
Mn1=1.5*My
#LTB
Mcr=9*E*Ag*rz*tw*Cb/8/Lb*((1+(4.4*betaw*rz/Lb/tw)**2)**0.5+4.4*betaw*rz/Lb/tw)
#t pot tw
if My/Mcr<=1:
    Mn2=(1.92-1.17*(My/Mcr)**0.5)*My
    if Mn2>1.5*My:
        Mn2=1.5*My
else:
    Mn2=(0.92-0.17*Mcr/My)*Mcr
#Pandeo Local del ala
if ClasFlex[2]=='compacta':
    Mn3=math.inf

```

```

elif ClasFlex[2]=='no compacta':
    Mna=Fy*(lw/abs(zcg-math.sin(teta)*bf))*(2.43-1.72*(bf/tw)*(Fy/E)**0.5)
    Mnb=Fy*(lw/abs(zcg-math.cos(teta)*h))*(2.43-1.72*(h/tw)*(Fy/E)**0.5)
    Mn3=min(Mna,Mnb)
elif ClasFlex[2]=='esbelta':
    Mna=0.71*E/(bf/tw)**2*(lw/abs(zcg-math.sin(teta)*bf))
    Mnb=0.71*E/(h/tw)**2*(lw/abs(zcg-math.cos(teta)*h))
    Mn3=min(Mna,Mnb)
Mn=min(Mn1,Mn2,Mn3)
phib=0.90
omegab=1.67
if metodo=='ASD':
    Mdw=Mn/omegab
elif metodo=='LRFD':
    Mdw=Mn*phib

"""

Calculo de la capacidad a flexión: Eje menor(Kg/cm2)
"""

#Fluencia
My=Fy*Sz#REVISAR
Cb=1 #REVISAR
Lb=Lz #REVISAR
Mn1=1.5*My
#Pandeo Local del ala
if ClasFlex[2]=='compacta':
    Mn2=math.inf #estaba inferior
elif ClasFlex[2]=='no compacta':
    Mna=Fy*(lz/abs(wcg-math.sin(teta)*h))*(2.43-1.72*(h/tw)*(Fy/E)**0.5)
    Mnb=Fy*(lz/abs(wcg-math.cos(teta)*bf))*(2.43-1.72*(bf/tw)*(Fy/E)**0.5)
    Mn2=min(Mna,Mnb)
elif ClasFlex[2]=='esbelta':
    Mna=0.71*E/(h/tw)**2*(lz/abs(wcg-math.sin(teta)*h))
    Mnb=0.71*E/(bf/tw)**2*(lz/abs(zcg-math.cos(teta)*bf))
    Mn2=min(Mna,Mnb)
Mn=min(Mn1,Mn2)
phib=0.90
omegab=1.67
if metodo=='ASD':
    Mdz=Mn/omegab
elif metodo=='LRFD':
    Mdz=Mn*phib

"""

Calculo de la capacidad a corte: lado 1 (Kg/cm2)
"""

Aw=bf*tw
kv=1.2
if h/tw<=1.10*(kv*E/Fy)**0.5:
    Cv2=1.0
elif h/tw>1.37*(kv*E/Fy)**0.5:
    Cv2=1.51*kv*E/(bf/tw)**2/Fy
else:
    Cv2=1.10*(kv*E/Fy)**0.5/(bf/tw)
Vn=0.6*Fy*Aw*Cv2
phiv=0.90

```

```

omegav=1.67
if metodo=='ASD':
    Vd1=Vn/omegav
elif metodo=='LRFD':
    Vd1=Vn*phiv

"""
Calculo de la capacidad a corte: lado 2 (Kg/cm2)
"""

Aw=h*tw
kv=1.2
if h/tw<=1.10*(kv*E/Fy)**0.5:
    Cv2=1.0
elif h/tw>1.37*(kv*E/Fy)**0.5:
    Cv2=1.51*kv*E/(h/tw)**2/Fy
else:
    Cv2=1.10*(kv*E/Fy)**0.5/(h/tw)
Vn=0.6*Fy*Aw*Cv2
phiv=0.90
omegav=1.67
if metodo=='ASD':
    Vd2=Vn/omegav
elif metodo=='LRFD':
    Vd2=Vn*phiv

display(Trd/1000)
display(Cod/1000)
display(Mdw/100000)
display(Mdz/100000)
display(Vd1/1000)
display(Vd2/1000)
"""

Clasificacion de las secciones por ductilidad
HDM, High Ductile Members
MDM, Moderetely Ductile Members
LDM, Low Ductile Members
"""

Pu=Pn
Ry=1.5 #The ratio of the expected yield strength to the
#minimum specified yield strength. This ratio is used
#in capacity-based design for special seismic cases.
lamdahd=0.32*(E/Ry/Fy)**0.5
lamdamd=0.40*(E/Ry/Fy)**0.5
#Ala 1
lamda=h/t
if lamda<lamdahd:
    ala1='HDM'
elif lamda>=lamdamd:
    ala1='LDM'
else:
    ala1='MDM'
#Ala 2
lamda=bf/t
if lamda<lamdahd:
    ala2='HDM'

```

```

elif lamda>=lamdamd:
    ala2='LDM'
else:
    ala2='MDM'
if ala1=='LDM' or ala2=='LDM':
    seccion='LDL'
elif ala1=='MDM' and ala2!='LDM':
    seccion='MDM'
elif ala1!='LDM' and ala2=='MDM':
    seccion='MDM'
elif ala1=='HDM' and ala2=='HDM':
    seccion='HDM'
ClasDuct=[ala1,ala2,seccion]

"""
Factor Demanda-Capacidad
"""
co=len(Comb)
for co in range(0,co,1):
    Pr=Comb(0,co)
    Mrx=Comb(4,co)
    Mry=Comb(5,co)
    Tr=Comb(3,co)
    Mrbw=Mrx*math.cos(teta)+Mry*math.sin(teta)
    Mrbz=-Mrx*math.sin(teta)+Mry*math.cos(teta)
    if Pr<0:
        fra=Pr/Ae
        frbw=Mrbw/Sw
        frbz=Mrbz/Sz
        Fca=Cod/Ae
        Fcbw=Mdw/Sw
        Fcbz=Mdz/Sz
        Factor=abs(fra/Fca)+abs(frbw/Fcbw)+abs(frbz/Fcbz)
    elif Pr>0:
        fra=Pr/Ag
        frbw=Mrbw/Sw
        frbz=Mrbz/Sz
        Fca=Tr/Ag
        Fcbw=Mdw/Sw
        Fcbz=Mdz/Sz
        Factor=abs(fra/Fca)+abs(frbw/Fcbw)+abs(frbz/Fcbz)

```



## **ANEXO 4**

**Algoritmo cálculo de capacidades perfil tipo “T”.**

```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
''''
```

```
Created on Oct 2021
```

```
@author: Burgos Luis y Catota Kevin
```

```
Titulo:PERFIL T
```

```
''''
```

```
''''
```

```
Datos Ingresados por el Usuario
```

```
''''
```

```
''''
```

```
tf=Espesor de los patines[cm]
```

```
tw=Espesor del alma[cm]
```

```
bf=Ancho de los patines[cm]
```

```
h=Altura del alma[cm]
```

```
metodo=Método de diseño LRFD o ASD
```

```
E=Modulo de Elasticidad del acero [Kg/cm2]
```

```
Fy=Esfuerzo de fluencia del Acero [kg/cm2]
```

```
Fu=Esfuerzo ultimo del acero [kg/cm2]
```

```
v=Coefficiente de Poisson
```

```
Lx=Longitud del elemento eje x
```

```
Ly=Longitud del elemento eje y
```

```
Lz=Longitud del elemento en su eje longitudinal
```

```
''''
```

```
''''
```

```
Datos Ingresados por el Usuario
```

```
''''
```

```
#LIBRERIAS
```

```
import math
```

```
#INGRESO DE DATOS
```

```
metodo=
```

```
tf=
```

```
tw=
```

```
bf=
```

```
h=
```

```
E=
```

```
Fy=
```

```
Fu=
```

```
v=
```

```
Lx=
```

```
Ly=
```

```
Lz=
```

```
#Factores de reduccion de la inercia efectiva EI
```

```
#Conservadoramente se lo toma como 1.0 pero el usuario puede cambiar los valores
```

```
Kx=1.0
```

```
Ky=1.0
```

```
Kz=1.0
```

```
G=E/2/(1+v)
```

```
''''
```

```
Propiedades Geometricas Perfil Tipo T
```

```
''''
```

```

Ag=bf*tf+h*tw
yc=((bf*tf)*(h+tf/2)+tw*h*h/2)/(bf*tf+tw*h)
Ixx=bf*tf**3/12+(bf*tf)*(h+tf/2)**2+tw*h**3/12+(tw*h)*(h/2)**2
Ix=Ixx-(bf*tf+tw*h)*yc**2
Iy=bf**3*tf/12+tw**3*h/12
rx=(Ix/Ag)**0.5
ry=(Iy/Ag)**0.5
J=1/3*(bf*tf**3+h*tw**3)
Cw=1/36*((tf**3*bf**3)/4+(h+tf/2)**3*tw**3)

```

```

#modulos elasticos
Sx=Ix/yc
Sy=Iy/(bf/2)
#Modulos plasticos
t=(bf*tf+h*tw)/(2*tw)
if t<h:
    yc1=t/2
    yc2=(bf*tf*(tf/2+h-t)+tw*(h-t)**2/2)/(bf*tf+tw*(h-t))
else:
    t=(bf*tf+2*h*bf-tw*h)/2/bf
    yc1=(tw*h*(t-h/2)+bf*(t-h)**2/2)/(tw*h+bf*(t-h))
    yc2=(tf+h-t)/2
Zx=Ag/2*(yc1+yc2)
b=(tf*bf**2/8+h*tw**2/8)/(tf*bf/2+h*tw/2)
Zy=Ag/2*(2*b)
#Coordenadas del centro de corte
#Cordenadas con respecto al CG
xo=0
yo=abs(h+tf/2-yc)

```

```

"""

```

```

Pandeo Local C.A.

```

```

"""

```

```

#Sección T
#Ala
b=bf/2
lamdacf=b/tf
lamdacrf=0.56*(E/Fy)**0.5
if lamdacf<lamdacrf:
    ala='no esbelta'
else:
    ala='esbelta'
#Alma
d=h+tf
lamdacw=d/tw
lamdacrw=0.75*(E/Fy)**0.5
if lamdacw<lamdacrw:
    alma='no esbelta'
else:
    alma='esbelta'
if ((alma=='esbelta')+(ala=='esbelta'))>=1:
    seccion='esbelta'
else:
    seccion='no esbelta'

```

```

ClasComp=[ala,alma,seccion]

""""
Pandeo Local Flexion.
""""

#Sección T
#Ala
lamdabf=b/tf
lamdabpf=0.38*(E/Fy)**0.5
lamdabrf=1.0*(E/Fy)**0.5
if lamdabf<lamdabpf:
    ala='compacta'
elif lamdabpf<=lamdabf and lamdabf<lamdabrf:
    ala='no compacta'
else :
    ala='esbelta'
#Alma
lamdabw=d/tw
lamdabpw=0.84*(E/Fy)**0.5
lamdabrw=1.52*(E/Fy)**0.5
if lamdabw<lamdabpw:
    alma='compacta'
elif lamdabpw<=lamdabw and lamdabw<lamdabrw:
    alma='no compacta'
else :
    alma='esbelta'
if ala=='esbelta' or alma=='esbelta':
    seccion='esbelta'
elif ala=='no compacta' and alma!='esbelta':
    seccion='no compacta'
elif ala!='esbelta' and alma=='no compacta':
    seccion='no compacta'
elif ala=='compacta' and alma=='compacta':
    seccion='compacta'
ClasFlex=[ala,alma,seccion]

""""

Calculo de la capacidad a traccion axial (Kg/cm2)
""""

#Datos necesarios
phit=0.90
omegat=1.67
U=1.0 #Valor default
Ae=Ag*U #Área efectiva
#Fluencia en tracción en la sección bruta
Pn1=Fy*Ag
#Ruptura en tracción en la sección neta
Pn2=Fu*Ae
Pn=min(Pn1,Pn2)
if metodo=='ASD':
    Trd=Pn/omegat
elif metodo=='LRFD':
    Trd=Pn*phit

""""

```

```

Calculo de la capacidad a compresión axial (Kg/cm2)
''''''
Kx=1.0
Ky=1.0
ro=(xo**2+yo**2+(ly+lx)/Ag)**0.5
#Conservadoramente se lo toma como 1.0 pero el usuario puede cambiar los valores
esbeltez=max(Kx*Lx/rx,Ky*Ly/ry) #le quito "f"(al final ) al esbeltez del if
if esbeltez<=2000:
    display('Ok')
else:
    display('Se recomienda utilizar una sección menos esbelta')
Kz=1.0 #Puede ser sobreescrito
Fe1=math.pi**2*E/(esbeltez)**2 #Pandeo flexural de miembros sin elementos esbeltos
H=1-(xo**2+yo**2)/ro**2
Fey=math.pi**2*E/(Ky*Ly/ry)**2
Fez=((math.pi**2*E*Cw/(Kz*Lz)**2)+G*J)*1/Ag/ro**2
Fe2=((Fey+Fez)/(2*H))*(1-(1-(4*Fey*Fez*H)/(Fey+Fez)**2)**0.5) #Pandeo flexo-torsional
Fe=min(Fe1,Fe2)
if esbeltez<=4.71*(E/Fy)**0.5:
    Fcr=(0.658**((Fy/Fe)))*Fy
else:
    Fcr=0.877*Fe
if ClasComp[2]=='esbelta':
#Miembros con elementos esbeltos
    c1=0.22 #Revisar en la tabla E7.1
    c2=(1-(1-4*c1)**0.5)/2/c1
    if lamdacf<lamdacrf*(Fy/Fcr)**0.5:
        be=bf
    else:
        Fel=(c2*lamdacrf/lamdacf)**2*Fy
        be=bf*(1-c1*(Fel/Fcr)**0.5)*(Fel/Fcr)**0.5
    A1=(bf-be)*tf
    if lamdacw<lamdacrw*(Fy/Fcr)**0.5:
        be=d
    else:
        Fel=(c2*lamdacrw/lamdacw)**2*Fy
        be=d*(1-c1*(Fel/Fcr)**0.5)*(Fel/Fcr)**0.5
    A2=(d-be)*tw
    Ae=Ag-A1-A2
else:
    Ae=Ag
Pn=Fcr*Ae
phic=0.9
omegac=1.67
if metodo=='ASD':
    Cod=Pn/omegac
elif metodo=='LRFD':
    Cod=Pn*phic

''''''
Calculo de la capacidad a flexión (Kg/cm2)
''''''
Mu=-50 #
My=Fy*Sx
#Fluencia

```

```

if Mu>=.0:
    Mp=Fy*Zx
    if Mp>1.6*My:
        Mp=1.6*My
elif Mu<0:
    Mp=Fy*Zx
    if Mp>My:
        Mp=My
Mn1=Mp
#LTB
Lb=Lz
if Mu>=0:
    Lp=1.76*ry*(E/Fy)**0.5
    Lr=1.95*(E/Fy)*(Iy*J)**0.5/Sx*(2.36*(Fy/E)*d*Sx/J+1)**0.5
    B=2.3*(d/Lb)*(Iy/J)**0.5
    Mcr=1.95*E/Lb*(Iy*J)**0.5*(B+(1+B**2)**0.5)
    if Lb<=Lp:
        Mn2=math.inf
    elif Lp<Lb<=Lr:
        Mn2=Mp-(Mp-My)*((Lb-Lp)/(Lr-Lp))
        if Mn2>Mp:
            Mn2=Mp
    else:
        Mn2=Mcr
        if Mn2>Mp:
            Mn2=Mp
elif Mu<0:
    B=-2.3*(d/Lb)*(Iy/J)**0.5
    Mcr=1.95*E/Lb*(Iy*J)**0.5*(B+(1+B**2)**0.5)
    Mn2=Mcr
    if Mn2>My:
        Mn2=My
#Pandeo local de ala
lamda=bf/2*tf
if Mu>=0:
    if ClasFlex[0]=='compacta':
        Mn3=math.inf
    elif ClasFlex[0]=='no compacta':
        Mn3=Mp-(Mp-0.7*Fy*Sxc)*((lamda-lamdabpf)/(lambdabrf-lamdabpf)) #<=1.6*My, alas no compactas
    elif ClasFlex[0]=='esbelta':
        Mn3=0.7*E*Sxc/(bf/2*tf)**2 #alas esbeltas Mn=Mcr
elif Mu<0:
    Mn3=math.inf
#Pandeo Local en el alma
if Mu<0:
    if d/tw<=0.84*(E/Fy)**0.5:
        Fcr=Fy
    elif d/tw>1.52*(E/Fy)**0.5:
        Fcr=1.52*E/(d/tw)**2
    else:
        Fcr=(1.43-0.515*d/tw*(Fy/E)**0.5)*Fy
    Mn4=Fcr*Sx
elif Mu>=0:
    Mn4=math.inf
Mn=min(Mn1,Mn2,Mn3,Mn4)

```

```

phib=0.90
omegab=1.67
if metodo=='ASD':
    Mdx=Mn/omegab
elif metodo=='LRFD':
    Mdx=Mn*phib

"""

Calculo de la capacidad a flexión: eje menor (Kg/cm2)
"""

#Fluencia
Mp=Fy*Zy
if Mp>1.6*Fy*Sy:
    Mp=1.6*Fy*Sy
Mn1=Mp
Lltb=Lz #cm
#LTB
Mcr=math.pi/(Lltb)*(E*Ix*G*J)
if My/Mcr<=1:
    Mn2=(1.92-1.17*(My/Mcr)**0.5)*My
    if Mn>1.5*My:
        Mn2=1.5*My
elif My/Mcr>1:
    Mn2=(0.92-0.17*Mcr/My)*Mcr
#Pandel local de las Alas
lamda=bf/2/tf
if ClasFlex[0]=='compacta':
    Mn3=math.inf
elif ClasFlex[0]=='no compacta':
    Mn3=Mp-(Mp-0.7*Fy*Sy)*((lamda-lamdabpf)/(lamdabrf-lamdabpf))
elif ClasFlex[0]=='esbelta':
    Fcr=0.69*E/(bf/2/tf)**2
    Mn3=Fcr*Sy
Mn=min(Mn1,Mn2,Mn3)
phib=0.90
omegab=1.67
if metodo=='ASD':
    Mdy=Mn/omegab
elif metodo=='LRFD':
    Mdy=Mn*phib

"""

Calculo de la capacidad a corte (Kg/cm2)
"""

Aw=(h+tf)*tw
kv=1.2
if h/tw<=1.10*(kv*E/Fy):
    Cv2=1.0
elif h/tw>1.37*(kv*E/Fy):
    Cv2=1.51*kv*E/(h/tw)**2/Fy
else:
    Cv2=1.10*(kv*E/Fy)**0.5/(h/tw)
Vn=0.6*Fy*Aw*Cv2
phiv=0.90
omegav=1.67

```

```

if metodo=='ASD':
    Vdy=Vn/omegav
elif metodo=='LRFD':
    Vdy=Vn*phiv

""""
Calculo de la capacidad a corte sobre el eje menor (Kg/cm2)
""""

Aw=bf*tf
kv=1.2
if bf/2/tf<=1.10*(kv*E/Fy)**0.5:
    Cv2=1.0
elif bf/2/tf>1.37*(kv*E/Fy)**0.5:
    Cv2=1.51*kv*E/(bf/2/tf)**2/Fy
else:
    Cv2=1.10*(kv*E/Fy)**0.5/(bf/2/tf)
Vn=0.6*Fy*Aw*Cv2
if metodo=='ASD':
    Vdx=Vn/omegav
elif metodo=='LRFD':
    Vdx=Vn*phiv

""""
Clasificacion de las secciones por ductilidad
HDM, High Ductile Members
MDM, Moderetely Ductile Members
LDM, Low Ductile Members
""""

Pu=Pn
Ry=1.5 #The ratio of the expected yield strength to the
#minimum specified yield strength. This ratio is used
#in capacity-based design for special seismic cases.
lamdahd=0.32*(E/Ry/Fy)**0.5#32
lamdamd=0.40*(E/Ry/Fy)**0.5#40
#Ala
bw=bf/2
lamda=bw/2/tw
if lamda<lamdahd:
    ala='HDM'
elif lamda>=lamdamd:
    ala='LDM'
else:
    ala='MDM'
#Alma
lamda=d/t
if lamda<lamdahd:
    alma='HDM'
elif lamda>=lamdamd:
    alma='LDM'
else:
    alma='MDM'
if ala=='LDM' or alma=='LDM':
    seccion='LDL'
elif ala=='MDM' and alma!='LDM':
    seccion='MDM'

```

```

elif ala!='LDM' and alma=='MDM':
    seccion='MDM'
elif ala=='HDM' and alma=='HDM':
    seccion='HDM'
ClasDuct=[ala,alma,seccion]

display(Trd/1000)
display(Cod/1000)
display(Mdx/100000)
display(Mdy/100000)
display(Vdx/1000)
display(Vdy/1000)

""""
Factor Demanda-Capacidad
""""

co=len(Comb)
for co in range(0,co,1):
    Pr=Comb(0,co)
    Mrx=Comb(4,co)
    Mry=Comb(5,co)

#Miembros sometidos a compresion y flexion
if Pr<0:
    Pc=Cod
    #Estabilidad en el plano
    if abs(Pr/Pc)>=0.2:
        Factor=abs(Pr/Pc)+8/9*(abs(Mrx/Mdx)+abs(Mry/Mdy))
    else:
        Factor=abs(Pr/2/Pc)+(abs(Mrx/Mdx)+abs(Mry/Mdy))
#Miembros sometidos a tesion y flexion
elif Pr>0:
    Pc=Trd
    #Estabilidad del plano
    if Pr/Pc>=0.2:
        Factor=abs(Pr/Pc)+8/9*(abs(Mrx/Mdx)+abs(Mry/Mdy))
    else:
        Factor=abs(Pr/2/Pc)+(abs(Mrx/Mdx)+abs(Mry/Mdy))

```



## **ANEXO 5**

**Algoritmo cálculo de capacidades perfil tipo “Rectangular”.**

```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
''''
```

```
Created on Oct 2021
```

```
@author: Burgos Luis y Catota Kevin
```

```
Titulo:PERFIL Rectangular
```

```
''''
```

```
''''
```

```
Datos Ingresados por el Usuario
```

```
''''
```

```
''''
```

```
tf=Espesor de las secciones horizontales[cm]
```

```
tw=Espesor de las secciones verticales[cm]
```

```
bf=Ancho de las secciones horizontales[cm]
```

```
h=Altura de las secciones verticales[cm]
```

```
metodo=Método de diseño LRFD o ASD
```

```
E=Modulo de Elasticidad del acero [Kg/cm2]
```

```
Fy=Esfuerzo de fluencia del Acero [kg/cm2]
```

```
Fu=Esfuerzo ultimo del acero [kg/cm2]
```

```
v=Coefficiente de Poisson
```

```
Lx=Longitud del elemento eje x
```

```
Ly=Longitud del elemento eje y
```

```
Lz=Longitud del elemento en su eje longitudinal
```

```
''''
```

```
#LIBRERIAS
```

```
import math
```

```
#INGRESO DE DATOS
```

```
metodo=
```

```
tf=
```

```
tw=
```

```
bf=
```

```
h=
```

```
E=
```

```
Fy=
```

```
Fu=
```

```
v=
```

```
Lx=
```

```
Ly=
```

```
Lz=
```

```
#Factores de reduccion de la inercia efectiva EI
```

```
#Conservadoramente se lo toma como 1.0 pero el usuario puede cambiar los valores
```

```
Kx=1.0
```

```
Ky=1.0
```

```
Kz=1.0
```

```
G=E/2/(1+v)
```

```
''''
```

```
Propiedades Geometricas Perfil Tubular Rectangular.
```

```
''''
```

```
he=h-2*tf
```

```
bfe=bf-2*tw
```

```
Ag=bf*h-((bf-2*tw)*(h-2*tf))
```

```

Ix=h**3*bf/12-(h-2*tw)**3*(bf-2*tf)/12
Iy=(h*bf**3)/12-(h-2*tw)*(bf-2*tf)**3/12
J=2*((bf-tw)*(h-tf)**2/(((bf-tw)/tf)+((h-tf)/tw))
rx=(Ix/Ag)**0.5
ry=(Iy/Ag)**0.5

#Modulo elasticidad
Sx=Ix/(h/2)
Sy=Iy/(bf/2)
#Modulo plastico
a=(tw*h**2/4+(bf-2*tw)*tf*(h/2-tf/2))/(tw*h+(bf-2*tw)*tf)
Zx=Ag/2*(2*a)
b=(tf*bf**2/4+tw*(h-2*tw)*(bf/2-tw/2))/(tf*bf+tw*(h-2*tf))
Zy=Ag/2*(2*b)

""""
Pandeo Local C.A.
""""

#Ala
lamdacr=1.40*(E/Fy)**0.5
lamdacf=bfe/tf
if lamdacf<lamdacr:
    ala='no esbelta'
else:
    ala='esbelta'
#Alma
lamdacw=he/tw
if lamdacw<lamdacr:
    alma='no esbelta'
else:
    alma='esbelta'
if ((alma=='esbelta')+(ala=='esbelta'))>=1:
    seccion='esbelta'
else:
    seccion='no esbelta'
ClasComp=[ala,alma,seccion]

""""
Pandeo Local Flex.

""""

#Alas
lamdabf=bfe/tf
lamdabpf=1.12*(E/Fy)**0.5
lamdabrf=1.40*(E/Fy)**0.5
if lamdabf<lamdabpf:
    ala='compacta'
elif lamdabpf<=lamdabf and lamdabf<lamdabrf:
    ala='no compacta'
else :
    ala='esbelta'
#Almas
lamdabw=he/tw
lamdabpw=2.42*(E/Fy)**0.5
lamdabrw=5.70*(E/Fy)**0.5

```

```

if lamdabw<lamdabpw:
    alma='compacta'
elif lamdabpw<=lamdabw and lamdabw<lamdabrw:
    alma='no compacta'
else :
    alma='esbelta'
if ala=='esbelta' or alma=='esbelta':
    seccion='esbelta'
elif ala=='no compacta' and alma!='esbelta':
    seccion='no compacta'
elif ala!='esbelta' and alma=='no compacta':
    seccion='no compacta'
elif ala=='compacta' and alma=='compacta':
    seccion='compacta'
ClasFlexx=[ala,alma,seccion]
#Alas
if lamdabw<lamdabpf:
    ala='compacta'
elif lamdabpf<=lamdabw and lamdabw<lamdabrf:
    ala='no compacta'
else :
    ala='esbelta'
#Almas
if lamdabf<lamdabpw:
    alma='compacta'
elif lamdabpw<=lamdabf and lamdabf<lamdabrw:
    alma='no compacta'
else :
    alma='esbelta'
if ala=='esbelta' or alma=='esbelta':
    seccion='esbelta'
elif ala=='no compacta' and alma!='esbelta':
    seccion='no compacta'
elif ala!='esbelta' and alma=='no compacta':
    seccion='no compacta'
elif ala=='compacta' and alma=='compacta':
    seccion='compacta'
ClasFlexy=[ala,alma,seccion]

"""
Calculo de la capacidad a traccion axial (Kg/cm2)
"""
#Datos necesarios
phit=0.90
omegat=1.67
U=1.0 #Valor default
Ae=Ag*U #Área efectiva
#Fluencia en tracción en la sección bruta
Pn1=Fy*Ag
#Ruptura en tracción en la sección neta
Pn2=Fu*Ae
Pn=min(Pn1,Pn2)
if metodo=='ASD':
    Trd=Pn/omegat
elif metodo=='LRFD':

```

```

Trd=Pn*phit

"""
Calculo de la capacidad a compresión axial (Kg/cm2)
"""
esbeltez=max(Kx*Lx/rx,Kx*Ly/ry)
if esbeltez<=2000:
    display('Ok')
else:
    display('Se recomienda utilizar una sección menos esbelta')
Fe=math.pi**2*E/(esbeltez)**2 #Pandeo flexural de miembros sin elementos esbeltos
if esbeltez<=4.71*(E/Fy)**0.5:
    Fcr=(0.658**((Fy/Fe))*Fy
else:
    Fcr=0.877*Fe
if ClasComp[2]=='esbelta':
#Miembros con elementos esbeltos
c1=0.20 #Revisar en la tabla E7.1
c2=(1-(1-4*c1)**0.5)/2/c1
if lamdacf<=lamdacr*(Fy/Fcr)**0.5:
    be=bfe
else:
    Fel=(c2*lamdacr/lamdacf)**2*Fy
    be=bfe(1-c1*(Fel/Fcr)**0.5)*(Fel/Fcr)**0.5
A1=(bfe-be)*tf
if lamdacw<=lamdacr*(Fy/Fcr)**0.5:
    be=he
else:
    Fel=(c2*lamdacr/lamdacw)**2*Fy
    be=he(1-c1*(Fel/Fcr)**0.5)*(Fel/Fcr)**0.5
A2=(he-be)*tw
Ae=Ag-A1-A2
else:
    Ae=Ag
Pn=Fcr*Ae
phic=0.9
omegac=1.67
if metodo=='ASD':
    Cod=Pn/omegac
elif metodo=='LRFD':
    Cod=Pn*phic

"""
Calculo de la capacidad a flexión: EJE X (Kg/cm2)
"""
#Factor de modificacion por LTB
#Cb=12.5*Mmax/(2.5*Mmax+3*MA+4*MB+3*MC) #En casos de voladizos 1.0
Cb=1
#Factores de corrección
phib=0.90
omegab=1.67
#Fluencia
Mp=Fy*Zx
Mn1=Mp
#Pandeo local del ala

```

```

if ClasFlexx[0]=='compacta':
    Mn2=math.inf
elif ClasFlexx[0]=='no compacta':
    Mn2=Mp-(Mp-Fy*Sx)*(3.57*bfe/tf*(Fy/E)**0.5-4.0)
elif ClasFlexx[0]=='esbelta':
    be=1.92*tf*(E/Fy)**0.5*(1-0.38/(bfe/tf)*(E/Fy)**0.5)
    if be>b:
        be=bfe
    Se=h**3*be/12-(h-2*tw)**3*(be-2*tf)/12
    Mn2=Fy*Se
#Pandeo local del alma
if ClasFlexx[1]=='compacta':
    Mn3=math.inf
elif ClasFlexx[1]=='no compacta':
    Mn3=Mp-(Mp-Fy*Sx)*(0.305*he/tw*(Fy/E)**0.5-0.738)
    if Mn3>Mp:
        Mn3=Mp
elif ClasFlexx[1]=='esbelta':
    aw=2*he*tw/bfe/tf
    Rpg=1-aw/(1200+300*aw)*(he/tw-5.7*(E/Fy)**0.5)
    if Rpg>1.0:
        Rpg=1.0
    kc=4.0
    Mnf=Rpg*Fy*Sx #Fluencia del ala en compresión
    Fcr=0.9*E*kc/(bfe/tf)**2
    Mnpr=Rpg*Fcr*Sxc #Pandeo del ala en compresión
    Mn3=min(Mnf,Mnpr)
#LTB
Lb=1
Lp=0.13*E*ry*(J*Ag)**0.5/Mp
Lr=2*E*ry*(J*Ag)**0.5/(0.7*Fy*Sx)
if Lb<=Lp:
    Mn4=math.inf
elif Lp<Lb<=Lr:
    Mn4=Cb*(Mp-(Mp-0.7*Fy*Sx)*((Lb-Lp)/(Lr-Lp)))
    if Mn4>Mp:
        Mn4=Mp
    else:
        Mn4=2*E*Cb*(J*Ag)**0.5/(Lb/ry)
if Mn4>Mp:
    Mn4=Mp

Mn=min(Mn1,Mn2,Mn3,Mn4)
phib=0.90
omegab=1.67
if metodo=='ASD':
    Mdx=Mn/omegab
elif metodo=='LRFD':
    Mdx=Mn*phib

"""
Calculo de la capacidad a flexión: EJE Y(Kg/cm2)
"""

#Fluencia
Mp=Fy*Zy

```

```

Mn1=Mp
#Pandeo local del ala
if ClasFlexy[0]=='compacta':
    Mn2=math.inf
elif ClasFlexy[0]=='no compacta':
    Mn2=Mp-(Mp-Fy*Sy)*(3.57*he/tw*(Fy/E)**0.5-4.0)
elif ClasFlexy[0]=='esbelta':
    be=1.92*tw*(E/Fy)**0.5*(1-0.38/(he/tw)*(E/Fy)**0.5)
    if be>b:
        be=he
    Se=bf**3*be/12-(bf-2*tf)**3*(be-2*tw)/12
    Mn2=Fy*Se
#Pandeo local del alma
if ClasFlexy[1]=='compacta':
    Mn3=math.inf
elif ClasFlexy[1]=='no compacta':
    Mn3=Mp-(Mp-Fy*Sy)*(0.305*bfe/tf*(Fy/E)**0.5-0.738)
    if Mn3>Mp:
        Mn3=Mp
elif ClasFlexy[1]=='esbelta':
    aw=2*bfe*tf/he/tw
    Rpg=1-aw/(1200+300*aw)*(bfe/tf-5.7*(E/Fy)**0.5)
    if Rpg>1.0:
        Rpg=1.0
    kc=4.0
    Mnf=Rpg*Fy*Sy #Fluencia del ala en compresión
    Fcr=0.9*E*kc/(he/tw)**2
    Mnp=Rpg*Fcr*Sy #Pandeo del ala en compresión
    Mn3=min(Mnf,Mnp)
#LTB
Lp=0.13*E*rx*(J*Ag)**0.5/Mp
Lr=2*E*rx*(J*Ag)**0.5/(0.7*Fy*Sy)
if Lb<=Lp:
    Mn4=math.inf
elif Lp<Lb<=Lr:
    Mn4=Cb*(Mp-(Mp-0.7*Fy*Sy)*((Lb-Lp)/(Lr-Lp)))
    if Mn4>Mp:
        Mn4=Mp
else:
    Mn4=2*E*Cb*(J*Ag)**0.5/(Lb/rx)
    if Mn4>Mp:
        Mn4=Mp
Mn=min(Mn1,Mn2,Mn3,Mn4)
phib=0.90
omegab=1.67
if metodo=='ASD':
    Mdy=Mn/omegab
elif metodo=='LRFD':
    Mdy=Mn*phib

"""
Calculo de la capacidad a corte eje mayor(Kg/cm2)
"""
phiv=0.90
omegav=1.67

```

```

Aw=2*he*tw
kv=5
if he/tw<=1.10*(kv*E/Fy)**0.5:
    Cv2=1.0
elif he/tw>1.37*(kv*E/Fy)**0.5:
    Cv2=1.51*kv*E/(he/tw)**2/Fy
else:
    Cv2=1.10*(kv*E/Fy)**0.5/(he/tw)
Vn=0.6*Fy*Aw*Cv2
if metodo=='ASD':
    Vdy=Vn/omegav
elif metodo=='LRFD':
    Vdy=Vn*phiv

"""
Calculo de la capacidad a corte eje menor(Kg/cm2)
"""

phiv=0.90
omegav=1.67
Aw=2*bfe*tf
kv=5
if bfe/tf<=1.10*(kv*E/Fy)**0.5:
    Cv2=1.0
elif bfe/tf>1.37*(kv*E/Fy)**0.5:
    Cv2=1.51*kv*E/(bfe/tf)**2/Fy
else:
    Cv2=1.10*(kv*E/Fy)**0.5/(bfe/tf)
Vn=0.6*Fy*Aw*Cv2
if metodo=='ASD':
    Vdx=Vn/omegav
elif metodo=='LRFD':
    Vdx=Vn*phiv

"""
Calculo de la capacidad a torsión (Kg/cm2)
"""

phiT=0.90
omegaT=1.67
#Tubos rectangulares
if he/tw<=2.45*(E/Fy)**0.5:
    Fcr=0.6*Fy
elif 2.45*(E/Fy)**0.5<he/t<=3.07*(E/Fy)**0.5:
    Fcr=0.6*Fy*(2.45*(E/Fy)**0.5)/(he/tw)
elif 3.07*(E/Fy)**0.5<he/tw<=260:
    Fcr=0.458*math.pi**2*E/(h/t)**2
C=2*(bf-tw)*(h-tf)*min(tf,tw)-4.5*(4-math.pi)*min(tf,tw)**3
Tn=Fcr*C
if metodo=='ASD':
    Td=Tn/omegav
elif metodo=='LRFD':
    Td=Tn*phiv

display(Trd/1000)
display(Cod/1000)
display(Mdx/100000)

```

```

display(Mdy/100000)
display(Vdx/1000)
display(Vdy/1000)
display(Td/100000)

```

```

"""

```

Clasificación de las secciones por ductilidad

HDM, High Ductile Members

MDM, Moderately Ductile Members

LDM, Low Ductile Members

Ry=1.5 #Normalmente para Acero A36

```

"""

```

"""Tubos rectangulares

Se tomara como lado mayor al lado el cual se somete a flexion

```

"""

```

Pu=Pn

Ry=1.5 #The ratio of the expected yield strength to the

#minimum specified yield strength. This ratio is used

#in capacity-based design for special seismic cases.

#Lado menor y lado mayor

lamdaf=bf/tf

lamdahd=0.65\*(E/Ry/Fy)\*\*0.5 #Todos los casos

lamdahd=0.67\*(E/Ry/Fy)\*\*0.5 #Columnas de SMF

lamdamd=0.76\*(E/Ry/Fy)\*\*0.5 #Diagonales

lamdamd=1.18\*(E/Ry/Fy)\*0.5 #Columnas y vigas

if lamdaf<lamdahd:

    ala='HDM'

elif lamdaf>=lamdamd:

    ala='LDM'

else:

    lado='MDM'

lamdaw=h/tw

if lamdaw<lamdahd:

    alma='HDM'

elif lamdaw>=lamdamd:

    alma='LDM'

else:

    alma='MDM'

#Lado mayor si existe compresion y flexión

lamdaw=h/tw

Py=Ry\*Fy\*Ag

Ca=Pu/phic/Py #LRFD

Ca=omegac\*Pu/Py #ASD

if Ca<=0.114:

    lamdahdw=2.57\*(E/Ry/Fy)\*\*0.5\*(1-1.04\*Ca)

    lamdamdw=3.96\*(E/Ry/Fy)\*\*0.5\*(1-3.04\*Ca)

else:

    lamdahdw=0.88\*(E/Ry/Fy)\*\*0.5\*(2.68-Ca)

    lamdamdw=1.29\*(E/Ry/Fy)\*\*0.5\*(2.12-Ca)

    if lamdahdw<1.57\*(E/Ry/Fy)\*\*0.5:

        lamdahdw=1.57\*(E/Ry/Fy)\*\*0.5

    if lamdamdw>=1.57\*(E/Ry/Fy)\*\*0.5:

        lamdamdw=1.57\*(E/Ry/Fy)\*\*0.5

if lamdaw<lamdahd:

    alma='HDM'

```

elif lamdaw>=lamdamd:
    alma='LDM'
else:
    alma='MDM'
if ala=='LDM' or alma=='LDM':
    seccion='LDL'
elif ala=='MDM' and alma!='LDM':
    seccion='MDM'
elif ala!='LDM' and alma=='MDM':
    seccion='MDM'
elif ala=='HDM' and alma=='HDM':
    seccion='HDM'
ClasDuct=[ala,alma,seccion]

"""
Factor Demanda-Capacidad
"""
co=len(Comb)
for co in range(0,co,1):
    Pr=Comb(0,co)
    Mrx=Comb(4,co)
    Mry=Comb(5,co)
    Tr=Comb(3,co)
    #Miembros sometidos a compresion y flexion
    if Pr<0:
        Pc=Cod
        #Estabilidad en el plano
        if Pr/Pc>=0.2:
            Factor1=abs(Pr/Cod)+8/9*(abs(Mrx/Mdx*Cb)+abs(Mry/Mdy))
        else:
            Factor1=abs(Pr/2/Cod)+(abs(Mrx/Mdx*Cb)+abs(Mry/Mdy))
        #Estabilidad fuera de el plano
        Factor2=abs(Pr/Cod)*(1.5-0.5*abs(Pr/Cod))+abs((Mrx/Mdx)**2)
        Factor=max(Factor1,Factor2)
    #Miembros sometidos a tesion y flexion
    elif Pr>0:
        Pc=Trd
        #Estabilidad del plano
        if Pr/Pc>=0.2:
            Factor1=abs(Pr/Trd)+8/9*(abs(Mrx/Mdx)+abs(Mry/Mdy))
        else:
            Factor1=abs(Pr/2/Trd)+(abs(Mrx/Mdx)+abs(Mry/Mdy))
        #Estabilidad fera del plano
        Factor2=abs(Mrx/Mdx)**2
    #Miembros sometidos a torsion
    if Tr<=0.2*Td:
        Factor3=math.inf
    else:
        if Pr<0:
            Factor3=abs(Pr/Cod)+abs(Mrx/Mdx)+abs(Mry/Mdy)+(abs(Vrx/Vdx)+abs(Vry/Vdy)+abs(Tr/Td))**2
        elif Pr>0:
            Factor3=abs(Pr/Trd)+abs(Mrx/Mdx)+abs(Mry/Mdy)+(abs(Vrx/Vdx)+abs(Vry/Vdy)+abs(Tr/Td))**2
    Factor=max(Factor1,Factor2,Factor3)

```



## **ANEXO 6**

**Algoritmo cálculo de capacidades perfil tipo “Tubular Circular”.**

```
# -*- coding: utf-8 -*-
```

```
''''
```

```
Created on Oct 2021
```

```
@author: Burgos Luis y Catota Kevin
```

```
Titulo:PERFIL Tubular Circular
```

```
''''
```

```
''''
```

```
Datos Ingresados por el Usuario
```

```
''''
```

```
''''
```

```
D=Diametro externo del perfil [cm]
```

```
t=Espesor del perfil[cm]
```

```
metodo=Método de diseño LRFD o ASD
```

```
E=Modulo de Elasticidad del acero [Kg/cm2]
```

```
Fy=Esfuerzo de fluencia del Acero [kg/cm2]
```

```
Fu=Esfuerzo ultimo del acero [kg/cm2]
```

```
v=Coefficiente de Poisson
```

```
Lx=Longitud del elemento eje x
```

```
Ly=Longitud del elemento eje y
```

```
L=Longitud del elemento en su eje longitudinal
```

```
''''
```

```
#LIBRERIAS
```

```
import math
```

```
#INGRESO DE DATOS
```

```
metodo=
```

```
t=
```

```
D=
```

```
E=
```

```
Fy=
```

```
Fu=
```

```
v=
```

```
Lx=
```

```
Ly=
```

```
L=
```

```
#Factores de reduccion de la inercia efectiva EI
```

```
#Conservadoramente se lo toma como 1.0 pero el usuario puede cambiar los valores
```

```
Kx=1.0
```

```
Ky=1.0
```

```
Kz=1.0
```

```
G=E/2/(1+v)
```

```
''''
```

```
Propiedades Geometricas Perfil Tubular Circular
```

```
''''
```

```
Ag=math.pi/4*(D**2-(D-2*t)**2)
```

```
Ix=math.pi/4*((D/2)**4-((D-2*t)/2)**4)
```

```
Iy=math.pi/4*((D/2)**4-((D-2*t)/2)**4)
```

```
rx=(Ix/Ag)**0.5
```

```
ry=(Iy/Ag)**0.5
```

```
Sx=Ix/(D/2)
```

```

Sy=ly/(D/2)
J=math.pi/2*((D/2)**4-((D-2*t)/2)**4)
Cw=0
Z=4/3*((D/2)**3-((D-2*t)/2)**3)

"""
Pandeo Local C.A.

"""

lamda=D/t
lamdacr=0.11*E/Fy
if lamda<lamdacr:
    ClasComp='no esbelta'
else:
    ClasComp='esbelta'

"""

Pandeo Local Flexion
"""

lamdap=0.07*(E/Fy)**0.5
lamdar=0.31*(E/Fy)**0.5
if lamda<lamdap:
    ClasFlex='compacta'
elif lamdap<=lamda and lamda<lamdar:
    ClasFlex='no compacta'
else :
    ClasFlex='esbelta'

"""

Calculo de la capacidad a traccion axial (Kg/cm2)
"""

#Datos necesarios
phit=0.90
omegat=1.67
U=1.0 #Valor default
Ae=Ag*U #Área efectiva
#Fluencia en tracción en la sección bruta
Pn1=Fy*Ag
#Ruptura en tracción en la sección neta
Pn2=Fu*Ae
Pn=min(Pn1,Pn2)
if metodo=='ASD':
    Trd=Pn/omegat
elif metodo=='LRFD':
    Trd=Pn*phit

"""

Calculo de la capacidad a compresión axial (Kg/cm2)
"""

Kx=1.0
Ky=1.0
#Conservadoramente se lo toma como 1.0 pero el usuario puede cambiar los valores
esbeltez=max(Kx*Lx/rx,Kx*Ly/ry)
if esbeltez<=2000:
    display('OK')

```

```

else:
    display('Se recomienda utilizar una sección menos esbelta')
Fe=math.pi**2*E/(esbeltez)**2 #Pandeo flexural de miembros sin elementos esbeltos
if esbeltez<=4.71*(E/Fy)**0.5:
    Fcr=(0.658**((Fy/Fe))*Fy
else:
    Fcr=0.877*Fe
if ClasComp=='esbelta':
    if D/t<=0.11*E/Fy:
        Ae=Ag
    elif 0.11*E/Fy<D/t<0.45*E/Fy:
        Ae=((0.038*E/Fy/(D/t))+2/3)*Ag
    else:
        Ae=Ag
Pn=Fcr*Ae
phic=0.9
omegac=1.67
if metodo=='ASD':
    Cod=Pn/omegac
elif metodo=='LRFD':
    Cod=Pn*phic

"""
Calculo de la capacidad a flexión (Kg/cm2)
"""
#Factor de modificacion por LTB
#Mmax=1#revisar
#MA=1
#MB=1
#MC=1

#Cb=12.5*Mmax/(2.5*Mmax+3*MA+4*MB+3*MC) #En casos de voladizos 1.0
Cb=1.0
#Factores de corrección
phib=0.90
omegab=1.67
if D/t<0.45*E/Fy:
    display('OK')
else:
    display('ERROR')
#Fluencia
Mp=Fy*Z
Mn1=Mp
#Pandeo Local
Fcr=0.33*E/(D/t)
if ClasFlex=='compacta':
    Mn2=mat.inf
elif ClasFlex=='no compacta':
    Mn2=(0.021*E/(D/t)+Fy)*Sx
elif ClasFlex=='esbelta':
    Mn2=Fcr*Sx
Mn=min(Mn1,Mn2)
phib=0.90
omegab=1.67
if metodo=='ASD':

```

```

Md=Mn/omegab
elif metodo=='LRFD':
    Md=Mn*phib

"""
Calculo de la capacidad a corte (Kg/cm2)
"""
phiv=0.90
omegav=1.67
Fcr=0.78*E/(D/t)**(3/2)
if Fcr>0.6*Fy:
    Fcr=0.6*Fy
Vn=Fcr*Ag/2
if metodo=='ASD':
    Vd=Vn/omegav
elif metodo=='LRFD':
    Vd=Vn*phiv

"""
Calculo de la capacidad a torsión(Kg/cm2)
"""
phiT=0.90
omegaT=1.67
C=math.pi*(D-t)**2*t/2
Fcr=max(1.23*E/((L/D)**0.5*(D/t)**(5/4)),0.6*E/(D/t)**(3/2)) #Tubos circulares
if Fcr>0.6*Fy:
    Fcr=0.6*Fy
Tn=Fcr*C
if metodo=='ASD':
    Td=Tn/omegav
elif metodo=='LRFD':
    Td=Tn*phiv

"""
Clasificacion de las secciones por ductilidad
HDM, High Ductile Members
MDM, Moderetely Ductile Members
LDM, Low Ductile Members
"""
# Pu=Pn
# Ry=0.7 #The ratio of the expected yield strength to the
# #minimum specified yield strength. This ratio is used
# #in capacity-based design for special seismic cases.

Ry=1.5 #Normalmente para Acero A36
lamda=D/t
lamdahd=0.053*E/Ry/Fy
lamdamd=0.062*E/Ry/Fy #Diagonales
lamdamd=0.077*E/Ry/Fy #Vigas y columnas
if lamda<lamdahd:
    ClasDuct='HDM'
elif lamda>=lamdamd:
    ClasDuct='LDM'
else:
    ClasDuct='MDM'

```

```

display(Trd/1000)
display(Cod/1000)
display(Md/100000)
display(Vd/1000)
display(Td/100000)

""""
Factor Demanda-Capacidad
""""

co=len(Comb)
for co in range(0,co,1):
    Pr=Comb(0,co)
    Mrx=Comb(4,co)
    Mry=Comb(5,co)
    Tr=Comb(3,co)

#Miembros sometidos a compresion y flexion
if Pr<0:
    Pc=Cod
    #Estabilidad en el plano
    if abs(Pr/Pc)>=0.2:
        Factor1=abs(Pr/Pc)+8/9*((abs(Mrx/Md*Cb)**2+abs(Mry/Md)**2)**0.5)
    else:
        Factor1=abs(Pr/2/Pc)+(abs(Mrx/Md*Cb)**2+abs(Mry/Md)**2)**0.5
    #Estabilidad fuera de el plano
    Factor2=abs(Pr/Pc)*(1.5-0.5*abs(Pr/Pc))+abs((Mrx/Md))**2
    Factor=max(Factor1,Factor2)
#Miembros sometidos a tension y flexion
elif Pr>0:
    Pc=Trd
    #Estabilidad del plano
    if Pr/Pc>=0.2:
        Factor1=abs(Pr/Pc)+8/9*(abs(Mrx/Md)**2+abs(Mry/Md)**2)**0.5
    else:
        Factor1=abs(Pr/2/Pc)+(abs(Mrx/Md)**2+abs(Mry/Md)**2)**0.5
    #Estabilidad fuera del plano
    Factor2=abs(Mrx/Md)**2
#Miembros sometidos a torsion, Flexion, Corte y Fuerza Axial
if Tr<=0.2*Td:
    Factor3=math.inf
else:
    if Pr<0:
        Factor3=abs(Pr/Cod)+(abs(Mrx/Md)**2+abs(Mry/Md)**2)**0.5+((abs(Vrx/Vd)**2+abs(Vry/Vd)**2)**0.5+
        abs(Tr/Td))**2
    elif Pr>0:
        Factor3=abs(Pr/Trd)+(abs(Mrx/Md)**2+abs(Mry/Md)**2)**0.5+((abs(Vrx/Vd)**2+abs(Vry/Vd)**2)**0.5+
        abs(Tr/Td))**2
    Factor=max(Factor1,Factor2,Factor3)

```



**ANEXO 7**  
**Algoritmo Marcos Sísmicos.**

\*\*\*\*\*

Created on Oct 2021

@author: Burgos Luis y Catota Kevin

Titulo: Marcos Sismicos

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

Evaluacion de los diferentes tipos de estructuras resistentes a sismos:

OMF, IMF, SMF, STMF, OCBF, OCBFI, SCBFI, EBF

\*\*\*\*\*

#Asegurarse que el factor R de la estructura, ya que si  $R \leq 3$  la norma no aplica

#factor hace referencia al factor demanda/capacidad

#seccion hace referencia a la clasificacion segun ductilidad

if sistemas=='OMF':

\*\*\*\*\*OMF\*\*\*\*\*

#Revision columnas

for i in range(0,ncol,1):

if factcol[i]>1:

display(f"La columna {i} no soporta las cargas")

elif sistemas=='IMF':

\*\*\*\*\*IMF\*\*\*\*\*

#Revision columnas

for i in range(0,ncol,1):

if factcol[i]>1:

display(f"La columna {i} no soporta las cargas")

#Revision de clasificacion de las secciones

for i in range(0,ncol,1):

if ClasSC[i]=='LDM':

display(f"La columna {i} no cumple con requerimientos minimos")

for i in range(0,nvig,1):

if ClasSV[i]=='LDM':

display(f"La viga {i} no cumple con requerimientos minimos")

#Revision de longitud de arriostre

for i in range(0,nvig,1):

if Lb[i]>0.17\*(E/Fy)\*ry:

display(f"La viga {i} posee mucha longitud no arriostrada")

elif sistemas=='SMF':

\*\*\*\*\*SMF\*\*\*\*\*

#Revision columnas

for i in range(0,ncol,1):

if factcol[i]>1:

display(f"La columna {i} no soporta las cargas")

#Revision de clasificacion de las secciones

for i in range(0,ncol,1):

if ClasSC[i]=='LDM' or ClasS[i]=='MDM':

display(f"La columna {i} no cumple con requerimientos minimos")

for i in range(0,nvig,1):

if ClasSV[i]=='LDM' or ClasS[i]=='MDM':

display(f"La viga {i} no cumple con requerimientos minimos")

#Revision de longitud de arriostre

for i in range(0,nvig,1):

if Lb[i]>0.086\*(E/Fy)\*ry[i]:

display(f"La viga {i} posee mucha longitud no arriostrada")

```

#Revision de esbeltez de columnas
for i in range(0,ncol,1):
    if esbeltez[i]>60:
        display(f"La columna {i} es muy esbelta para el sistema")
elif sistemas=='STMF':
    """STMF"""
    #No necesita ninguna revision
elif sistemas=='OCBF' or sistemas=='OCBF1':
    """OCBF y OCBF1"""
    #Revision columnas
    for i in range(0,ncol,1):
        if factcol[i]>1:
            display(f"La columna {i} no soporta las cargas")
    #Revision de clasificacion de las secciones
    for i in range(0,ndiag,1):
        if ClasSD[i]=='LDM':
            display(f"La diagonal {i} no cumple con requerimientos minimos")
    #Revision de esbeltez
    for i in range(0,ndiag,1):
        if esbeltez[i]>4.0*(E*Fy)**0.5:
            display(f"La diagonal {i} es muy esbelta para el sistema")
elif sistemas=='SCBF':
    """SCBF"""
    #Revision columnas
    for i in range(0,ncol,1):
        if factcol[i]>1:
            display(f"La columna {i} no soporta las cargas")
    #Revision de clasificacion de las secciones
    for i in range(0,ndiag,1):
        if ClasSD[i]=='LDM' or ClasSD[i]=='MDM':
            display(f"La diagonal {i} no cumple con requerimientos minimos")
    for i in range(0,ncol,1):
        if ClasSC[i]=='LDM' or ClasSC[i]=='MDM':
            display(f"La columna {i} no cumple con requerimientos minimos")
    for i in range(0,nvig,1):
        if ClasSV[i]=='LDM':
            display(f"La viga {i} no cumple con requerimientos minimos")
    #Revision de esbeltez
    for i in range(0,ndiag,1):
        if esbeltez[i]>200:
            display(f"La diagonal {i} es muy esbelta para el sistema")
    #Revision de longitud de arriostre
    for i in range(0,nvig,1):
        if Lb[i]>0.17*(E/Fy)*ry:
            display(f"La viga {i} posee mucha longitud no arriostrada")
elif sistemas=='EBF':
    """EBF"""
    #Revision columnas
    for i in range(0,ncol,1):
        if factcol[i]>1:
            display(f"La columna {i} no soporta las cargas")
    for i in range(0,nvig,1):
        if ClasSV[i]=='LDM' or ClasSV[i]=='MDM':
            display(f"La viga {i} no cumple con requerimientos minimos")
    #Calculo de la fuerza de corte

```

```

phiv=0.9
omegav=1.67
if seccion='I':
    Atw=h*tw
elif seccion='Cajon':
    Atw=2*h*tw
#Pr es la resistencia de requerida, Pc es la resistencia de diseño sea por LRFD o ASD
if Pr/Pc<=0.15:
    Vp=0.6*Fy*Atw
    Mp=Fyz
else:
    Vp=0.6*Fy*Atw*(1-(Pr/Pc)**2)**0.5
    Mp=Fyz*(1-Pr/Pc)/0.8
    Vy=0.6*Fy*Atw
    Vc=Vy #LRFD
    Vc=Vy/1.5 #ASD
    p1=Pr/Pc/(Vr/Vc)
    if p1<=0.5:
        if e<=(1.6*Mp/Vp):
            display ('OK')
        else:
            display ('ERROR')
    else:
        if e<=(1.15-0.3*p1)*(1.6*Mp/Vp):
            display ('OK')
        else:
            display ('ERROR')
delta=deltag*Cd/l
teta=delta*L/e
if e<=1.16*Mp/Vp:
    if teta<=0.08:
        display ('OK')
    else:
        display ('ERROR')
elif e>=2.6*Mp/Vp:
    if teta<=0.02:
        display ('OK')
    else:
        display ('ERROR')
else:
    if teta<=0.08+(e-1.6*Mp/Vp)*(0.02-0.08)/((2.6-1.6)*Mp/Vp):
        display ('OK')
    else:
        display ('ERROR')
Vn=min(Vp,2*Mp/e)
Vd=phiv*Vn #LRFD
Vd=Vn/omegav #ASD
#Ingresar lazo for para todas las diagonales
if seccion=='HDM' or seccion=='MDM':
    display('OK')
else:
    display('ERROR')
elif metodos=='BRBF':
    """"BRBF""""
#Revision columnas

```

```

for i in range(0,ncol,1):
    if factcol[i]>1:
        display(f"La columna {i} no soporta las cargas")
#Revision de clasificacion de las secciones
for i in range(0,ncol,1):
    if ClasSC[i]=='LDM' or ClasSC[i]=='MDM':
        display(f"La columna {i} no cumple con requerimientos minimos")
for i in range(0,nvig,1):
    if ClasSV[i]=='LDM':
        display(f"La viga {i} no cumple con requerimientos minimos")
#Revision de longitud de arriostre
for i in range(0,nvig,1):
    if Lb[i]>0.17*(E/Fy)*ry:
        display(f"La viga {i} posee mucha longitud no arriestrada")
#Revision viga columna
for i in range(0,nunion,1):
    if metodo=='LRFD':
        Mb[i]=min(1.1*Ry*Mp,1.1*Ry*Fy*Z) #LRFD
    elif metodo=='ASD':
        Mb[i]=min(1.1*Ry*Mp/1.5,1.1*Ry*Fy*Z/1.5) #ASD

```

## **ANEXO 8**

**Algoritmo revisión Viga débil-Columna fuerte.**

```
"""
```

```
Created on Oct 2021
```

```
@author: Burgos Luis y Catota Kevin
Titulo:Revisión Viga debil-Columna Fuerte
```

```
"""
```

```
"""
```

```
Revision viga debil, columna fuerte (Aplicable solo SMF)
```

```
"""
```

```
"""
```

```
Zc Modulo plastico de la columna
Fyc Resistencia del acero de la columna
Pr Compresion axial requerido
ho Distancia entre los centroides de las alas de la columna
Ag Área de la sección transversal de la columna
Fy Resistencia del acero de la viga
Fu Resistencia a la fluencia del acero de la viga
Zb Modulo plastico de la viga
Ry Dato según el tipo de acero a usar
```

```
"""
```

```
#LIBRERIAS
import math
import numpy as np
#INGRESO DE DATOS
sistemas=
metodo=
Ry=
Zc=
ho=
Fyc=
Ag=
nvig=
Fy=
Fu=
Zb=np.array([])
#CALCULOS
if sistemas=='SMF':
    if metodo=='LRFD':
        alfas=1.0
    elif metodo=='ASD':
        alfas=1.5
    #Momento plastico de la columna
    Pr=0.06*Ry*Zc/(alfas*ho)
    Mpc=Zc*(Fyc-abs(alfas*Pr/Ag))
    #Momento plastico de la viga
    Mpb=np.zeros(nvig)
    for i in range(1,nvig,1):
        Cpr=(Fy+Fu)/2/Fy
        if Cpr>1.2:
            Cpr=1.2
        Mpr=Cpr*Ry*Fy*Zb[i]
        Mpb[i]=Mpr
    #Calculo de la relacion de resistencias
```

```

R=2*Mpc/np.sum(Mpb)
if R<=1.0:
    display('Las vigas tienen mayor resistencia que las columnas')

''''
Corte en la union de la viga
''''
''''
Zx Modulo plastico de la viga
Fy Resistencia del acero de la viga
Ry Propiedad del acero usado
C toma un valor de 0 en vigas en voladizo o de ambos extremos simplemente apoyados,
1 si posee un apoyo simple, 2 no posee apoyos simples
Lh Longitud libre de la viga
VDL Corte debido a carga muerta
VLL Corte debido a carga viva
''''

#INGRESO DE DATOS
sistemas=
metodo=
C=
Lh=
Zx=
Ry=
Fy=
VDL=
VLL=

#CALCULOS
if sistemas=='SMF' or sistemas=='IMF' or sistemas=='OMF':
    Mp=Zx*Fy
    Mpb=1.1*Ry*Mp
    if metodo=='LRFD':
        Vn=C*Mpb/Lh+VDL+VLL #LRFD
    elif metodo=='ASD':
        Vn=0.7*C*Mpb/Lh+VDL+VLL #ASD

```



## ORDEN DE EMPASTADO

De acuerdo a lo estipulado en el artículo 83 del Reglamento de Sistema de Estudios de las Carreras de Formación Profesional y de Posgrados, aprobado por el Consejo Politécnico en sesión del 16 de agosto del 2011 y una vez verificado el cumplimiento del formato de presentación establecido, se autoriza la impresión y encuadernación final del plan de tesis presentado por los señores **Luis Andrés Burgos Muñoz y Kevin Alexis Catota Robles** estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil.

Fecha de autorización: Quito, 22 de diciembre del 2021.



Firmado electrónicamente por:  
**GERMAN  
VINICIO LUNA  
HERMOSA**

Ing. Germán Luna H. MBa  
**Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental**