

**IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE EDUCATIVO PARA EL DISEÑO  
ESTRUCTURAL METÁLICO DE COLUMNAS Y MIEMBROS SOMETIDOS A  
ESFUERZOS DE COMPRESIÓN.**



**LUIS GABRIEL ROMERO GALVIS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2010**

**IMPLEMENTACIÓN DE SOFTWARE EDUCATIVO PARA EL DISEÑO  
ESTRUCTURAL METÁLICO DE COLUMNAS Y MIEMBROS SOMETIDOS A  
ESFUERZOS DE COMPRESIÓN.**

**LUIS GABRIEL ROMERO GALVIS.**

**Trabajo de grado presentado como requisito  
para optar al título de Ingeniero Civil.**

**DIRECTOR:  
Ing. Álvaro Rey Soto  
Escuela de Ingeniería civil.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2010**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	1
1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO .....	2
1.1 TÍTULO.	2
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.	2
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.	2
1.4 OBJETIVOS.	3
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.	3
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	. 3
2. MARCO TEÓRICO .....	4
3. METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA LOS ELEMENTOS A COMPRESIÓN CON CARGA AXIAL .....	7
4. METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA LOS ELEMENTOS A COMPRESIÓN CON CARGA BIAxIAL. ....	8
5. CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE EDUCATIVO. ....	9
6. MANUAL DEL USUARIO. ....	10
6.1 INSTALACIÓN.	10
6.2 EXPLORACIÓN DEL SOFTWARE.	10
6.2.1 ADMINISTRACIÓN.	11
6.2.2 PROCESO.	11
6.2.3 ACERCA DE...	17
7. CONCLUSIONES. ....	18
8. RECOMENDACIONES. ....	19
BIBLIOGRAFÍA .....	20

## LISTA DE ANEXOS

Pág.

ANEXO 1. METODOLOGÍA DE DISEÑO Y EVALUACIÓN PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A CARGA AXIAL.....	21
1.1 Perfil W, S, H.....	22
1.2 Perfil Tubular Rectangular.....	27
1.3 Perfil Tubular Circular.....	32
1.4 Perfil C.....	38
1.5 Perfil L.....	44
1.6 Perfil Cajón.....	49
1.7 Perfil Doble Ángulo.....	60
1.8 Sección Armada .....	74
 ANEXO 2.METODOLOGÍA DE DISEÑO Y EVALUACIÓN PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A CARGA BIAXIAL.....	 83
2.1 Perfil W, S, H.....	86
2.2 Perfil Tubular Rectangular.....	87
2.3 Perfil Tubular Circular.....	88
2.4 Perfil C.....	89
2.5 Perfil L.....	90
2.6 Perfil Cajón.....	91
2.7 Perfil Doble Ángulo.....	92
2.8 Sección Armada .....	93

## RESUMEN

### **TÍTULO:**

Implementación de Software Educativo para el Diseño Estructural Metálico de Columnas y Miembros Sometidos a Esfuerzos de Compresión\*.

### **AUTOR:**

Luis Gabriel Romero Galvis\*\*.

**PALABRAS CLAVES:** Software, Estructura Metálica, Columna, Esfuerzo de Compresión, Acero, Perfil Metálico.

### **DESCRIPCIÓN:**

El Software Educativo para el Diseño Estructural Metálico de Columnas y Miembros Sometidos a Esfuerzos de Compresión basándose en la metodología implementada por las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente vigentes, permite evaluar elementos metálicos con ocho diferentes configuraciones de la sección recta, sometidos a fuerzas axiales y biaxiales de compresión teniendo en cuenta las propiedades físicas del acero que lo conforma. Además cuenta con una base de datos que contiene los perfiles individuales más usados comercialmente en nuestra región permitiendo al usuario realizar diseños estructurales con materiales de mayor facilidad de adquisición para utilizar en la construcción. En caso que la sección recta trabajada no cumpla con la metodología implementada, el software cuenta con una serie de avisos de orientación para el usuario, permitiendo modificaciones de la sección recta analizada y el cumplimiento de sus propósitos.

El software utiliza Visual Basic 5.0 como lenguaje de programación base, logrando que tanto el entorno gráfico como la utilización general del mismo sean agradables y comprensibles para el usuario y Windows XP como plataforma de actividad. El uso del software educativo permite suplir las necesidades de procesamiento de la información, facilitando la adquisición de conocimientos, la participación crítica y activa del estudiante durante su proceso de formación mejorando su capacidad para abordar y solucionar problemas de este tipo.

---

\* Proyecto de Grado: Modalidad Investigación.

\*\* Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas. Escuela: Ingeniería Civil. Director Álvaro Rey Soto.

## ABSTRACT

**TITLE:**

Implementation of Educational Software for the Metallic Structural Design of Columns and Members Submitted to Efforts of Compression.\*\*

**AUTHOR:** Luis Gabriel Romero Galvis.\*\*

**KEYWORDS:** Software, Metallic Structure, Column, Effort of Compression, Steel, Metallic Profile.

**DESCRIPTION:**

The Educational Software for the Metallic Structural Design of Columns and Members Submitted to Efforts of Compression basing on the methodology implemented by the Colombian Norms of Design and Construction Resistant Earthquake in force, permits to evaluate metallic elements with eight different configurations of the straight section, submitted by force axial and biaxiales of compression keeping in mind the physical properties of the steel that conforms it. Besides it counts on a database that contains the most used individual profiles commercially in our region permitting to the user to carry out structural designs with materials of greater facility of acquisition to utilize in the construction. In case that the straight section worked comply not with the methodology implemented, the software counts on an orientation notices series for the user, permitting modifications of the straight section analyzed and the compliance of its purposes.

The software utilizes Visual Basic 5,0 as programming language base, achieving that so much the graphics environment like the general utilization of the same one they be pleasant and understandable for the user and Windows XP as platform of activity. The use of the educational software permits to supply the needs of prosecution of the information, facilitating the acquisition of know-how, the active and critical participation of the student during its process of formation improving its capacity to undertake and to solve problems of this type.

---

\* Project of Degree: Modality Investigation.

\*\* Faculty of Physical-Mechanical Sciences. School: Civil engineering. Director: Álvaro Rey Soto.

## INTRODUCCIÓN

Gracias a los avances tecnológicos desarrollados durante los últimos tiempos han surgido varios términos que se pensaban ajenos al área educativa como son hardware y software: se identifica el hardware como la estructura física de un sistema informático digital y a su vez el software como la estructura lógica del mismo. Ahora bien, en el contexto educativo ¿Cómo intervienen estos conceptos en las diversas áreas? Desde la ingeniería civil surgen los siguientes interrogantes ¿Podríamos beneficiarnos con la implementación de un software educativo? y ¿Qué tan eficientes serían los cálculos de los diseños estructurales para la construcción metálica de obras civiles? En el presente texto se dará respuesta a estos cuestionamientos.

En la actualidad se está aumentando el uso del software debido a su velocidad en el procesamiento de los datos y la calidad en sus resultados. En la ingeniería civil la implementación de un software educativo tiene como propósito el desarrollar herramientas que favorezcan efectivamente el proceso de Enseñanza-Aprendizaje aumentando la participación crítica y activa del estudiante durante su proceso de formación mejorando su capacidad para abordar y solucionar problemas.

El Software Educativo para el Diseño Estructural Metálico de Columnas y Miembros Sometidos a Esfuerzos de Compresión<sup>1</sup> fue diseñado para que su operación sea sencilla y práctica, brindando al usuario la opción de diseñar o evaluar ocho diferentes configuraciones de secciones rectas que actúan bajo cargas axiales o biaxiales, obteniendo así resultados de resistencia frente a dicho sistema de cargas. Cuenta con una base de datos que contiene los perfiles individuales más usados comercialmente en nuestra región, permitiendo al usuario realizar diseños estructurales con materiales de mayor facilidad de adquisición para utilizar en la construcción.

Basándose en la metodología implementada por las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente vigentes, SEDECOMSEC determina las fuerzas resistentes para cada una de las secciones rectas manejadas por él, en caso que la sección recta trabajada no cumpla con la metodología implementada, el software cuenta con una serie de avisos de orientación para el usuario, permitiendo modificaciones de la sección recta analizada y el cumplimiento de sus propósitos.

El aporte a la educación que hace la implementación del software educativo es que los cálculos realizados por los usuarios pasaron de ser un proceso mecánico y repetitivo a un proceso de interpretación y optimización de los resultados en donde pueden proponerse varias alternativas que solucionen un mismo problema en corto tiempo para finalmente determinar la más conveniente a nuestro problema.

---

<sup>1</sup> A partir de ahora se hará referencia al Software Educativo para el Diseño Estructural Metálico de Columnas y Miembros Sometidos a Esfuerzos de Compresión como SEDECOMSEC.

## **1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO**

### **1.1 TÍTULO.**

Implementación de Software Educativo para el Diseño Estructural Metálico de Columnas y Miembros Sometidos a Esfuerzos de Compresión.

### **1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.**

El proyecto consiste en la clasificación y análisis de la metodología presentada por las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98) frente a la construcción metálica y en la implementación de un software educativo con la finalidad de evaluar y diseñar diferentes perfiles metálicos sometidos a esfuerzos de compresión bajo condiciones de carga axial o biaxial.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.**

Durante el siglo XX el acero se reveló como un material de primer orden para la construcción y gracias a sus cualidades de resistencia se ha impuesto hasta tal punto que ha reemplazado a la madera y el concreto en numerosas aplicaciones sobre las estructuras edificadas, la construcción metálica permite construcciones espaciales con armazones cuyas secciones ocupan menos espacio horizontal que con otros materiales.

Las ventajas de la construcción metálica son numerosas y de gran interés entre ellas se destacan: la reducción en los costos de construcción, la rapidez en el momento de realizar el montaje de la edificación, la limpieza, se evitan problemas posteriores como aluminosis, el bajo mantenimiento, etc.

Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación han incursionado de manera efectiva en la mayoría de las esferas que componen la sociedad actual. La educación virtual se ha masificado y cada vez son más las herramientas que estas tecnologías ofrecen a este sector con el propósito de suplir las necesidades de procesamiento de la información, facilitando la adquisición de conocimientos, la participación crítica y activa del estudiante durante su proceso de formación mejorando su capacidad para abordar y solucionar problemas de cualquier tipo. Reconociendo el rol que tienen las herramientas computacionales en la actualidad se implementará un software educativo que permita a los estudiantes y a la comunidad educativa en general diseñar o evaluar elementos metálicos sometidos a esfuerzos de compresión siguiendo las recomendaciones de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente vigentes.

## **1.4 OBJETIVOS.**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL.**

Clasificar y analizar la metodología presentada por las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98) frente a la construcción metálica, diseñar y desarrollar un software de carácter educativo que tendrá como objetivo final evaluar la resistencia de los perfiles metálicos utilizados por el mismo que adecuadamente respondan a las condiciones de trabajo iniciales.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- ✓ Sintetizar y aplicar la metodología de análisis para elementos metálicos sometidos a esfuerzos de compresión estipulada por las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente.
- ✓ Determinar la fuerza resistente de los elementos metálicos evaluados a partir de sus condiciones iniciales de carga.
- ✓ Utilizar un entorno de desarrollo integrado (IDE, por sus siglas en inglés) para que mediante un lenguaje de programación pueda implementar una herramienta computacional que permita el diseño y evaluación de elementos metálicos sometidos a esfuerzos de compresión basándose en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98).

## 2. MARCO TEÓRICO

Software es un conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora. Se denomina software educativo al destinado a la enseñanza y el auto aprendizaje, además permite el desarrollo de ciertas habilidades cognitivas.

El material del cual se componen los perfiles analizados por este software es el acero, el cual es una aleación de hierro y carbono principalmente, donde el carbono no supera el 2,1% en peso de la composición de la aleación, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%. Porcentajes mayores que el 2,0% de carbono dan lugar a las fundiciones, aleaciones que al ser quebradizas y no poderse forjar, a diferencia del acero, se moldean. De acuerdo a su tratamiento y a las proporciones, el acero puede adquirir distinta resistencia, elasticidad y dureza. El acero es tal vez el material más versátil de todos los materiales utilizados en la construcción de estructuras. Bajo cualquier tipo de carga el acero presenta comportamientos casi ideales. Algunas de las ventajas del acero como material estructural son:

- **Alta resistencia.** La alta resistencia del acero por unidad de peso conduce al diseño de estructuras de poco peso para grandes longitudes: puentes, edificios altos, estructuras de cubierta de luces grandes.
- **Uniformidad.** Las propiedades del acero no presentan cambios apreciables con el transcurrir del tiempo, como es el caso de las estructuras de concreto o de madera.
- **Elasticidad.** El acero es el material estructural que por su comportamiento se acerca más a las hipótesis de diseño debido a que sigue la Ley de Hooke hasta esfuerzos relativamente altos. Por su homogeneidad, los momentos de inercia se pueden calcular con mucha más exactitud que los de otros materiales como es el caso de la madera o del concreto.
- **Durabilidad.** Si el mantenimiento de la estructura de acero es el adecuado, pueden tener una vida útil indefinida.
- **Ductilidad.** La ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo esfuerzos altos. Cuando se somete un acero de *baja proporción de carbono* a cargas de tensión, se presenta una reducción considerable de la sección transversal y un gran alargamiento antes que ocurra la fractura. Esta es una gran ventaja que presenta el acero frente a otros materiales que por su naturaleza y estructura interna son frágiles. La ductilidad es una propiedad que deben poseer las estructuras sometidas a fuerzas sísmicas.
- **Tenacidad.** Es la propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades. Pueden someterse a grandes deformaciones durante su fabricación y montaje, sin fracturarse, siendo posible doblarlos, martillarlos, cortarlos y taladrarlos sin que se presente daño aparente.

- **Modificaciones a estructuras construidas.** Las estructuras de acero se adaptan fácilmente a posibles ampliaciones o modificaciones.
- **Otras ventajas:** Facilidad para unir miembros por medio de diverso tipos de conexiones utilizando soldadura o tornillos. Posibilidad de prefabricar los miembros, rapidez de montaje, gran capacidad de laminar en una amplia variedad de secciones y longitudes; reutilización después de desmontar una estructura; posibilidad de venderlo como chatarra.

Desventajas:

- Costos de mantenimiento. Es muy susceptible a la corrosión.
- Susceptible al pandeo. esbeltez de los miembros debido a secciones rectas pequeñas comparadas con la longitud.
- Costo de la protección contra el fuego por su alta conductividad térmica.
- Fatiga. Producida por cargas repetitivas o de impacto con cambios de magnitud y de dirección altos.

## **EVALUACIÓN DE COLUMNAS Y MIEMBROS A COMPRESIÓN.**

El presente proyecto busca en general evaluar elementos metálicos sometidos a esfuerzos de compresión siguiendo las recomendaciones de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente vigentes.

Los miembros en compresión pueden definirse como elementos estructurales sometidos sólo a fuerzas axiales de compresión; es decir, las cargas son aplicadas a lo largo de un eje longitudinal que pasa por el centroide de la sección transversal del miembro, el esfuerzo que actúa sobre el miembro puede considerarse uniforme sobre toda la sección transversal. En la construcción este estado ideal nunca se alcanza y una excentricidad de la carga es inevitable. La flexión no puede despreciarse si existe un momento flexionante calculable. Los miembros a compresión generalmente se usan en armaduras y como componentes de sistemas de contraventeo.

Las columnas son miembros estructurales cuya función primaria es soportar cargas de compresión. Se pueden clasificar como cortas, intermedias y largas. Las cargas que actúan en estos elementos son cargas combinadas a compresión y flexión (carga biaxial), y su diseño se hará teniendo en cuenta ésta combinación de cargas.

En las columnas cortas el esfuerzo de falla es igual al esfuerzo de fluencia y en las cuales no se presenta el pandeo. Para que una columna se sitúe en esta clase, debe ser tan corta que no tendrá ninguna aplicación práctica.

Las columnas intermedias fallan por fluencia y pandeo. Se dice que su comportamiento es inelástico. La mayoría de las columnas se sitúan en este rango, donde algunas fibras alcanzan el esfuerzo de fluencia y otras no.

Las columnas largas se pandean elásticamente y cuyas cargas de pandeo pueden predecirse exactamente con la fórmula de Euler si el esfuerzo axial de pandeo es inferior al límite proporcional.

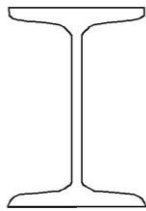
Para la misma sección recta, cuanto más largo sea el elemento a compresión, mayor es su tendencia a pandearse y la carga que puede soportar será menor. La tendencia al pandeo de los elementos sometidos a compresión depende, entre algunos aspectos, de:

- La relación de esbeltez  $\frac{kl}{r}$ .
- Tipo de conexión en los extremos.
- Excentricidad de la carga.
- Imperfecciones en el material del elemento.
- Torceduras iniciales.
- Esfuerzos residuales de fabricación.

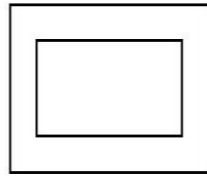
### 3. METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA LOS ELEMENTOS A COMPRESIÓN CON CARGA AXIAL.

La metodología y las ecuaciones manejadas por el software educativo para la evaluación y diseño de los miembros a compresión con carga axial se basaron en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente vigentes.

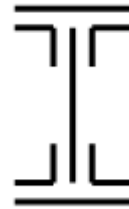
Las secciones rectas usadas para Miembros a Compresión son:



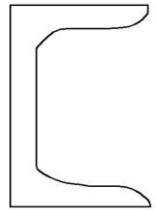
**W, S, H.**



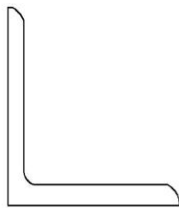
**TUBULAR RECTANGULAR.**



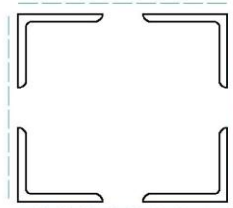
**ARMADA.**



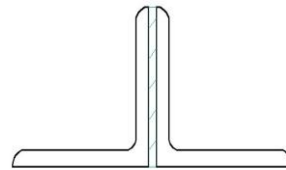
**C.**



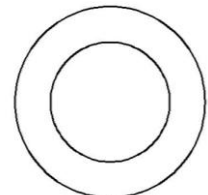
**L.**



**CAJÓN.**



**DOBLE L.**



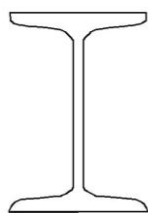
**TUBULAR CIRCULAR**

La metodología y las ecuaciones utilizadas para cada sección recta pueden observar en el anexo 1.

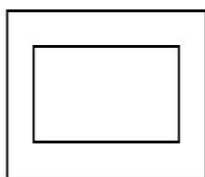
#### 4. METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA LOS ELEMENTOS A COMPRESIÓN CON CARGA BIAxIAL.

La metodología y las ecuaciones manejadas por el software educativo para la evaluación y diseño de los elementos a compresión con carga biaxial (columnas) se basaron en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente vigentes.

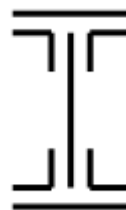
Las secciones rectas usadas en Columnas son:



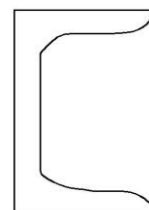
W, S, H.



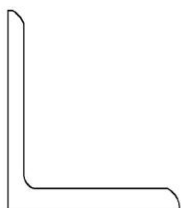
TUBULAR RECTANGULAR.



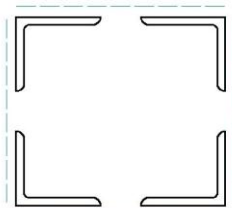
ARMADA.



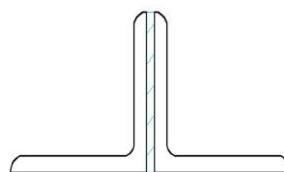
C.



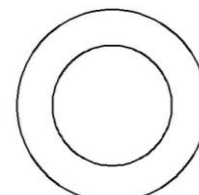
L.



CAJÓN.



DOBLE L.



TUBULAR CIRCULAR

La metodología y las ecuaciones utilizadas para cada sección recta pueden observar en el anexo 2.

## **5. CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE EDUCATIVO.**

Usa Visual Basic 5.0 como lenguaje de programación base logrando que tanto el entorno gráfico como la utilización general del mismo sean agradables y comprensibles para el usuario. Además, utiliza Windows XP como plataforma de actividad, de esta manera se cumple con los requisitos de Licenciamiento que la Universidad Industrial de Santander tiene vigentes en lo que a software de trabajo respecta (Microsoft y Visual Studio).

Por su parte, Visual-Basic es una herramienta de diseño que se desarrolla en gran parte a partir de una interfaz gráfica. Está formado por una parte de código puro y otras partes asociadas a los objetos, conformando de esta manera un entorno gráfico que es agradable y sencillo para el usuario. Es por tanto un término medio entre la programación tradicional, formada por una sucesión lineal de código estructurado y la programación orientada a objetos; combina ambas tendencias.

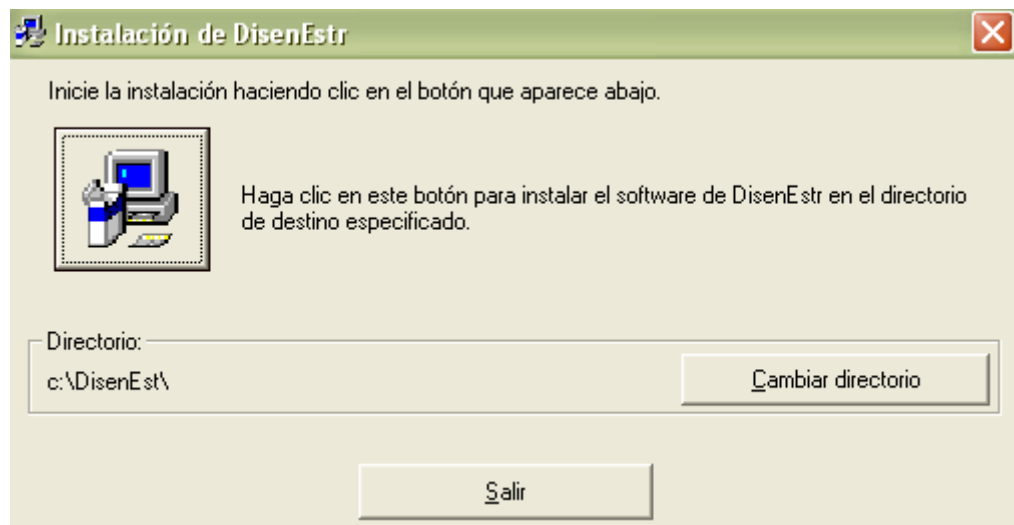
SEDECOMSEC requiere para su uso tener instalado en el equipo de trabajo cualquier navegador de Internet y para la captura adecuada de los datos, se necesita que el separador de las cifras decimales sea el caracter "coma (,)" debido a que es ésta la configuración de procesamiento de la información que aplica el software.

Los resultados presentados por el software se generan en formato html con el fin de ser interpretado por cualquier navegador de Internet. Las unidades manejadas para la captura de los datos a procesar son los milímetros y las unidades de los resultados obtenidos se encuentran en Newtons.

## 6. MANUAL DEL USUARIO.

### 6.1 INSTALACIÓN.

Colocar el CD de instalación en la unidad correspondiente. Explorar el contenido hasta encontrar el archivo instalar.exe. Con doble clic sobre el archivo de referencia, se inicia el proceso de instalación. Esta debe realizarse en el directorio C:\DisenEst, ruta que se incorporará al despliegue del formato de instalación. Con el botón ubicado en la parte superior izquierda del mismo, se da inicio a la instalación.



### 6.2 EXPLORACIÓN DEL SOFTWARE.

La pantalla principal del aplicativo, presenta tres opciones: Administración, Procesos y Acerca de.



### **6.2.1 ADMINISTRACIÓN.**

En el menú Administración, se encuentra la opción para salir del programa.

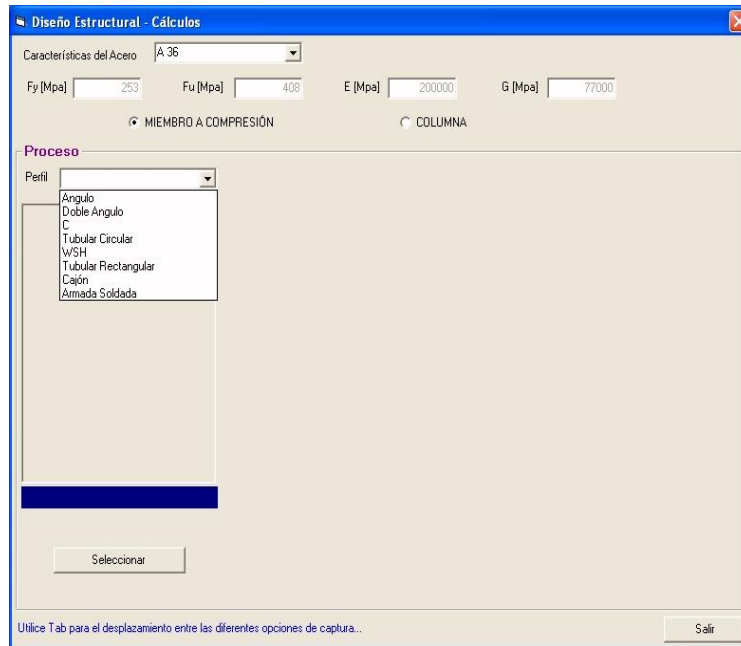
### **6.2.2 PROCESO.**

Básicamente, el menú Proceso facilita la incorporación de los datos a analizar y procesa la información.

El formato de captura de la información, se distribuye básicamente en tres (3) partes: a) Determinación del acero que conforma el elemento: A36, G50 o el usuario puede incluir estos valores. b) Tipo de elemento a analizar según las cargas que actúan: Miembro a Compresión o Columna. c) Sección recta del elemento.

La secuencia para la captura de los datos está determinada en este orden. Al seleccionarse el tipo de acero, el aplicativo asigna los valores  $F_y$ ,  $F_u$ ,  $E$  y  $G$  correspondientes. A continuación el usuario, debe indicar el tipo de análisis que desea efectuar sobre el elemento (Miembro a Compresión o Columna).

Determinados por el usuario estos parámetros, se habilita la parte básica del formulario, que es permitir la selección del tipo de sección recta a analizar, desplegando al lado derecho, las opciones de captura para cada uno de los tipos de perfiles habilitados.



La selección del perfil presenta además, la imagen guía del tipo de sección recta. El usuario deberá registrar los valores en la opción de captura que se despliega para tal propósito. La navegación entre las numerosas opciones de captura, se realiza mediante la tecla Tab. El programa validará la incorporación de todos los valores solicitados, como requisito para continuar con el proceso. Sin embargo, si el perfil seleccionado no es un perfil compuesto, puede hacer uso del botón Seleccionar para traer información almacenada en la base de datos.

**Diseño Estructural - Cálculos**

Características del Acero: A 36

Fy [Mpa]: 253    Fu [Mpa]: 408    E [Mpa]: 200000    G [Mpa]: 77000

MIEMBRO A COMPRESIÓN     COLUMNA

Proceso: Perfil WSH

**WSH**

Longitud eje X, Lx [ mm ]: 4000    Longitud eje y, Ly [ mm ]: 2000

Área de la sección recta, Ag [ mm<sup>2</sup> ]: 6550,35    Ancho de la aleta, b [ mm ]: 400,25

Espesor de la aleta, tf [ mm ]: 9,5    Altura del alma, h [ mm ]: 300

Espesor del alma, tw [ mm ]: 6    Momento de inercia eje X, Ix [ mm<sup>4</sup> ]: 127000000

Momento de inercia eje Y, Iy [ mm<sup>4</sup> ]: 24700000    Radio de giro eje X, rx [ mm ]: 139,25

Radio de giro eje Y, ry [ mm ]: 57,19    Kx diseño: 1,0    Ky diseño: 1,0

Diseño    Introducir el valor de la carga axial aplicada Pu [ Mpa ]: 50

Evaluación

Constante de alabeo de la sección recta Cw [ mm<sup>6</sup> ]: 50    Constante de torsión de la sección recta J [ mm<sup>4</sup> ]: 50

Restricción Total al alabeo en los apoyos:

Existe Restricción Kz = 0.5     No existe Restricción Kz = 1

Utilice Tab para el desplazamiento entre las diferentes opciones de captura...   

## Base de datos

Con el propósito de apoyar la incorporación de los datos, el aplicativo permite seleccionar valores de tablas configuradas para cada tipo de perfil, obtenidas a partir de las secciones rectas más usadas en nuestra región para la construcción metálica. El despliegue de las tablas se efectúa mediante un clic en el botón Seleccionar.

Con doble clic sobre el perfil de interés, los valores se trasladan al correspondiente formato de captura, minimizando así la incorporación de datos. Este apoyo sólo opera con los perfiles sencillos.

**Diseño Estructural - Selección**

**Tabla Valores Perfil WSH**

Designación	Dimensiones				Ag	Propiedades Elásticas					Jt
	tw	tf	h	h		Ag	ix	iy	rx	ry	
<b>Perfiles I Estándar Americano S</b>											
S 4x7.7	4,9	67,64	7,44	64	1460	2530000	41,7	318000	14,8	29100	
S 6x12,5	5,89	84,63	9,12	108	2370	3200000	62,2	757500	17,9	70800	
<b>Vigas I Estándar Europeo - IPN</b>											
IPN 100	4,5	50	6,8	75	1050	1710000	40,1	123000	10,7	16200	
IPN 160	6,3	74	9,5	125	2260	3350000	64	547000	15,5	65700	
IPN 200	7,5	90	11,3	159	3340	5140000	80	1170000	18,7	135000	
IPN 260	9,4	113	14,1	208	5300	8740000	104	2880000	23,2	335000	
IPN 300	10,8	125	16,2	241	6900	10800000	119	4510000	25,6	598000	
IPN 360	13	143	19,5	290	9700	15610000	142	8190000	29	1150000	
<b>Vigas I Livianas de Alas Paralelas - IPE</b>											
IPE 60	3,8	46	5,2	59,6	764	801000	32,4	85000	10,5	7000	
IPE 100	4,1	55	5,7	74,6	1030	1710000	40,7	159000	12,4	12000	
IPE 120	4,4	64	6,3	83,4	1320	3180000	49	277000	14,5	17400	
IPE 140	4,7	73	6,9	112,2	1640	5410000	57,4	449000	16,5	24500	
IPE 160	5	82	7,4	127,2	2010	8690000	65,8	633000	18,4	30900	
IPE 180	5,3	91	8	146	2390	13170000	74,2	1010000	20,5	42900	
IPE 200	5,6	100	8,5	159	2850	19430000	82,6	1420000	22,4	69800	
IPE 220	5,9	110	9,2	177,6	3340	27720000	91,1	2050000	24,8	90700	
IPE 240	6,2	120	9,8	190,4	3910	38920000	99,7	2840000	26,9	129000	
IPE 270	6,9	135	10,2	219,6	4950	57900000	112	4200000	30,2	159000	
IPE 300	7,1	150	10,7	246,6	6300	83560000	125	6040000	33,5	231000	
IPE 330	7,5	160	11,5	271	8200	117700000	137	7890000	35,5	291000	
IPE 360	8	170	12,7	288,6	10700	167900000	150	10400000	37,9	379000	

Con doble clic, seleccione los datos a trasladar...

Mediante clic en el botón Procesar, el aplicativo consolida la información incorporada a través del formato de captura para el perfil seleccionado, para generar un resultado de conformidad con el interés del usuario al determinar si es Miembro a compresión o Columna.

### Perfiles compuestos.

Para la captura de los perfiles compuestos, el formato incrementa su tamaño para facilitar la incorporación de los datos este perfil, así como los datos del perfil individual que lo conforman.

### Columna

En caso de realizar el análisis de una columna el aplicativo despliega otro formato adicional para la captura correspondiente a las longitudes y momentos de inercia para los ejes X y Y con la finalidad de calcular el coeficiente de longitud efectiva (K) del elemento analizado, así como el tipo de Pórtico y los efectos de Segundo Orden en caso de estar desarrollando un diseño.

No.	Datos correspondientes al eje X	Valor(eje X)	Datos correspondientes al eje Y	Valor(eje Y)
1	Longitud de la columna 1. LC1 [mm]	1500	Longitud de la columna 1. LC1 [mm]	7500
2	Momento de inercia para la columna 1. Ic1 [mm <sup>4</sup> ]	125	Momento de inercia para la columna 1. Ic1 [mm <sup>4</sup> ]	156.5
3	Longitud de la columna 2. LC2 [mm]	5000	Longitud de la columna 2. LC2 [mm]	2500
4	Momento de inercia para la columna 2. Ic2 [mm <sup>4</sup> ]	125	Momento de inercia para la columna 2. Ic2 [mm <sup>4</sup> ]	
5	Longitud de la columna 3. LC3 [mm]		Longitud de la columna 3. LC3 [mm]	
6	Momento de inercia para la columna 3. Ic3 [mm <sup>4</sup> ]		Momento de inercia para la columna 3. Ic3 [mm <sup>4</sup> ]	
7	Longitud de la viga 1. LV1 [mm]		Longitud de la viga 1. LV1 [mm]	
8	Momento de inercia para la viga 1. IV1 [mm <sup>4</sup> ]		Momento de inercia para la viga 1. IV1 [mm <sup>4</sup> ]	
9	Longitud de la viga 2. LV2 [mm]		Longitud de la viga 2. LV2 [mm]	
10	Momento de inercia para la viga 2. IV2 [mm <sup>4</sup> ]		Momento de inercia para la viga 2. IV2 [mm <sup>4</sup> ]	
11	Longitud de la viga 3. LV3 [mm]		Longitud de la viga 3. LV3 [mm]	
12	Momento de inercia para la viga 3. IV3 [mm <sup>4</sup> ]		Momento de inercia para la viga 3. IV3 [mm <sup>4</sup> ]	
13	Longitud de la viga 4. LV4 [mm]		Longitud de la viga 4. LV4 [mm]	
14	Momento de inercia para la viga 4. IV4 [mm <sup>4</sup> ]		Momento de inercia para la viga 4. IV4 [mm <sup>4</sup> ]	

**EJE X**

**EJE X - Pórticos**

a) Columnas de pórticos indesplazables.

b) Columnas de pórticos desplazables.

**EJE Y**

**EJE Y - Pórticos**

a) Columnas de pórticos indesplazables.

b) Columnas de pórticos desplazables.

**Efectos de Segundo Orden.**

a) Columnas de pórticos amostados.

b) Columnas de pórticos no amostados.

Continuar

Salir

## RESULTADOS

El resultado será presentado en formato html, para ser interpretado por cualquier navegador de Internet.

La hoja de resultados está conformada por:

1. Al desarrollarse el proceso de la etapa inicial anterior, se registran todos los valores incorporados.

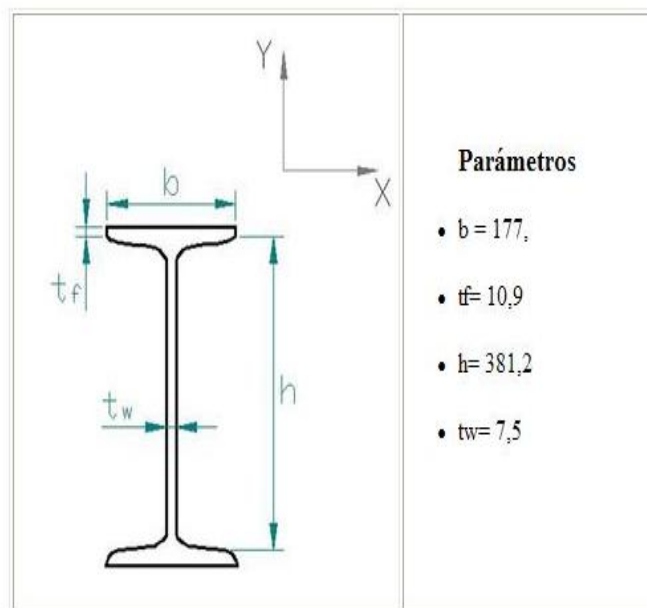
## ANÁLISIS PERFIL WSH

### PARAMETROS INICIALES

Fy [Mpa]	253,
Fu [Mpa]	408,
E [Mpa]	200.000,
G [Mpa]	77.000,
Longitud eje X, Lx [ mm ]	3.000,
Longitud eje y, Ly [ mm ]	3.000,
Área de la sección recta, Ag [ mm <sup>2</sup> ]	6.800,
Ancho de la aleta, b [ mm ]	177,
Espesor de la aleta, tf [ mm ]	10,9
Altura del alma, h [ mm ]	381,2
Espesor del alma, tw [ mm ]	7,5
Momento de inercia eje X, Ix [ mm <sup>4</sup> ]	186.000,
Momento de inercia eje Y, Iy [ mm <sup>4</sup> ]	10.090.000,
Radio de giro eje X, rx [ mm ]	165,
Radio de giro eje Y, ry [ mm ]	38,5
Kx diseño	1,0
Ky diseño	1,0

2. Posteriormente, se presenta el resultado propiamente para el diseño o evaluación del elemento solicitado, iniciando por las dimensiones básicas consideradas para el elemento analizado.

### RESULTADOS DISEÑO



3.Finalmente, el valor resistencia para la sección recta evaluada, junto con recomendaciones producto del análisis de las diferentes propiedades y parámetros del perfil seleccionado.

Resistencia de diseño al pandeo local [N]	<=	Resistencia de diseño por pandeo flexo - torsión y torsional [N]
942.773,69		1.374.453,92

Resistencia de diseño por pandeo flexo - torsión y torsional [N]	>=	Pu [N]
1.374.453,92		100,

Resistencia de diseño por pandeo flexo- torsión y torsional [N] = 1.374.453,92

### 6.2.3 ACERCA DE...

Presenta los créditos correspondientes a los diseñadores y directores del presente proyecto.



## 7. CONCLUSIONES.

- El Software Educativo para el Diseño Estructural Metálico de Columnas y Miembros Sometidos a Esfuerzos de Compresión es una herramienta que permite evaluar y diseñar elementos metálicos sometidos a carga axial y biaxial basándose en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente vigentes.
- El Software Educativo para el Diseño Estructural Metálico de Columnas y Miembros Sometidos a Esfuerzos de Compresión cuenta con avisos de orientación para el usuario, en caso que el perfil que se está manejando no cumpla con la metodología implementada, permitiendo modificaciones de la sección recta trabajada y el cumplimiento de sus propósitos.
- El ingreso de los datos para el manejo de este software se hace de manera sencilla y orientada, además utiliza un entorno gráfico agradable, haciendo de este un software educativo.
- El software educativo cuenta con una base de datos que permite al usuario escoger perfiles metálicos que se consiguen dentro del mercado nacional.
- Esta herramienta se diseñó con la finalidad de disminuir el tiempo invertido durante las actividades de cálculo dando mayor tiempo para desarrollar la configuración estructural, interpretación de resultados y estudio de alternativas.

## 8. RECOMENDACIONES.

- El usuario debe introducir los datos teniendo en cuenta que el separador de decimales sea el carácter coma (,) ya que este realiza los cálculos con esta configuración.
  
- Para versiones posteriores del Software Educativo para el Diseño Estructural Metálico de Columnas y Miembros Sometidos a Esfuerzos de Compresión se recomienda implementar:
  - La ampliación de la base de datos.
  - Nuevas secciones rectas que se consideren idóneas para la construcción metálica.
  - Las ecuaciones que permitan el diseño y la evaluación de los elementos de unión entre perfiles.
  - Ecuaciones para el cálculo de las constantes de torsión y alabeo para los perfiles manejados.
  - La actualización de las ecuaciones y metodología manejada en caso de presentarse algún cambio referente a este software dentro de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente.
  - El software en algún sitio Web para tener acceso a esta herramienta por medio de internet.

## BIBLIOGRAFÍA.

- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR-98). Bogotá, 1998.
- REY SOTO, Álvaro. Diseño de Estructuras Metálicas. Apuntes de clase. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander, 2009.
- McCORMAC, Jack C. Diseño de Estructuras de Acero Método LRFD. México, DF: alfaomega, 2002.
- SEGUI, William T. Diseño de estructuras de acero con LRFD. Ciencias Thomson, 2000.

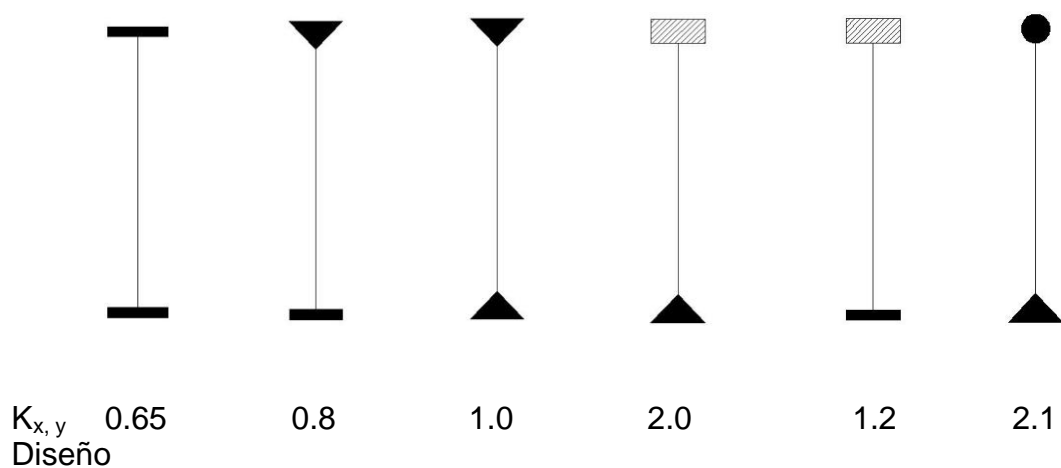
## ANEXOS

### **ANEXO 1. METODOLOGÍA DE DISEÑO Y EVALUACIÓN PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A CARGA AXIAL.**

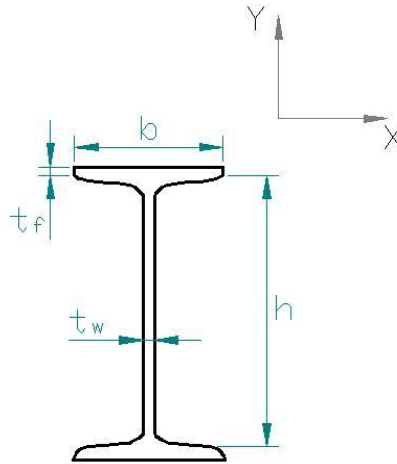
Basándose en las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente vigentes se desarrolló la metodología para cada una de las secciones rectas manejadas por el Software Educativo para el Diseño Estructural Metálico de Miembros Sometidos a Esfuerzos de Compresión.

A continuación se presenta la manera como se determinó el factor de longitud efectiva K para cada uno de los perfiles sometidos a carga axial. Su magnitud depende de la restricción rotacional en los extremos de la columna y de la resistencia al movimiento lateral.

Figura 1. Coeficientes de longitud efectiva para condiciones ideales en las direcciones X y Y:



## 1.1 Perfil W, S, H.



Perfil W, S, H.

### 1.1.1 Propiedades del perfil seleccionado.

Longitud eje X,	$L_x$ [ mm ] =
Longitud eje y,	$L_y$ [ mm ] =
Área de la sección recta,	$A_g$ [ mm <sup>2</sup> ] =
Ancho de la aleta,	$b$ [ mm ] =
Espesor de la aleta,	$t_f$ [ mm ] =
Altura del alma,	$h$ [ mm ] =
Espesor del alma,	$t_w$ [ mm ] =
Momento de inercia eje X,	$I_x$ [ mm <sup>4</sup> ] =
Momento de inercia eje Y,	$I_y$ [ mm <sup>4</sup> ] =
Radio de giro eje X,	$r_x$ [ mm ] =
Radio de giro eje Y,	$r_y$ [ mm ] =

El usuario elige un perfil de la base de datos o puede introducir los datos manualmente.

### 1.1.2 Cálculo del coeficiente de longitud efectiva K.

Se determina el coeficiente de longitud efectiva K para las direcciones X, Y refiriéndose a la figura 1.

### 1.1.3 Chequeo de esbeltez.

$$\left( \frac{K_x * L_x}{r_x} \right) \leq 200$$

**ESCOJE LOS VALORES QUE GENERAN EL MAYOR RESULTADO (se asigna  $K_i$ ,  $r_i$ ,  $L_i$ )**

$$\left( \frac{K_y * L_y}{r_y} \right) \leq 200$$

Si se cumple la relación de esbeltez en los dos chequeos entonces puede seguir al siguiente paso.

Si no se cumple la relación de esbeltez en alguno de los dos chequeos entonces escoger otro perfil con un radio de giro mayor.

#### 1.1.4 Evaluación del perfil seleccionado.

##### 1.1.4.1 Para elementos no rigidizados (aletas)

$$\left(\frac{b}{t_f}\right) \leq \lambda_{rf} \quad \lambda_{rf} = \frac{200}{\sqrt{F_y}}$$

##### 1.1.4.2 Para elementos rigidizados (alma)

$$\left(\frac{h}{t_w}\right) \leq \lambda_{rw} \quad \lambda_{rw} = \frac{665}{\sqrt{F_y}}$$

**SI SE CUMPLEN LAS DOS RELACIONES:**

$$\left(\frac{b}{t_f}\right) \leq \lambda_{rf}$$

**ENTONCES CÁLCULO DE PANDEO FLECTOR (1.1.4.A)**

$$\left(\frac{h}{t_w}\right) \leq \lambda_{rw}$$

**NO SE CUMPLE ALGUNA DE LAS DOS RELACIONES:**

$$\left(\frac{b}{t_f}\right) \leq \lambda_{rf}$$

**ENTONCES CÁLCULO DE PANDEO LOCAL, ELEMENTO ESBELTO (1.1.4.B)**

$$\left(\frac{h}{t_w}\right) \leq \lambda_{rw}$$

##### 1.1.4.A CÁLCULO DEL PANDEO FLECTOR.

Este cálculo se realiza solo si se cumplieron las 2 relaciones en el punto 1.1.4.

**Resistencia de diseño al pandeo flector =  $\phi_c * P_n$**

$$\phi_c = 0.85 \quad P_n = A_g * F_{cr}$$

$$\lambda_c = \left(\frac{K_i * L_i}{\pi * r_i}\right) \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$a) \text{ Para } \lambda_c \leq 1.5 \quad F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_y$$

$$\text{b) Para } \lambda_c > 1.5 \quad F_{cr} = \left[ \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y$$

Terminado este cálculo pasa directamente a la parte de resultados.

#### 1.1.4.B CÁLCULO DE PANDEO LOCAL, ELEMENTOS ESBELTOS .

Este cálculo se realiza solo si no se cumplió alguna de las dos relaciones en el punto 1.1.4.

**Resistencia de diseño al pandeo local =  $\phi_c * F_{cr} * A_g$**

$$\lambda_c = \left( \frac{K_i * L_i}{\pi * r_i} \right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad \phi_c = 0.85$$

El esfuerzo crítico  $F_{cr}$  se calculará de acuerdo con:

$$\text{a) Para } \lambda_c \sqrt{Q} \leq 1.5 \Rightarrow F_{cr} = Q * \left( 0.658^{Q * \lambda_c^2} \right) * F_y$$

$$\text{b) Para } \lambda_c \sqrt{Q} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) * F_y$$

$$Q = Q_s * Q_a$$

**Cálculo de  $Q_s$ :**

$$\text{Cuando } \frac{250}{\sqrt{F_y}} < \frac{b}{t_f} < \frac{460}{\sqrt{F_y}} \Rightarrow Q_s = 1.415 - 0.00166 \left( \frac{b}{t_f} \right) \sqrt{F_y}$$

$$\text{Sí } \frac{b}{t_f} \geq \frac{460}{\sqrt{F_y}} \Rightarrow Q_s = \frac{137900}{F_y \left( \frac{b}{t_f} \right)^2}$$

**Cálculo de  $Q_a$ :**

$$\text{Cuando } \frac{h}{t_w} \geq \frac{664}{\sqrt{f}} \Rightarrow h_e = \frac{856 * t_w}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{150}{\left( \frac{h}{t_w} \right) \sqrt{f}} \right]$$

$h_e$  = altura reducido, mm

$f = F_y$

$$Q_a = (h_e * t_w) / (h * t_w)$$

En caso contrario  $\frac{h}{t_w} < \frac{664}{\sqrt{f}}$  entonces  $Q_a = 1$

#### 1.1.4.B.1 CHEQUEO DE PANDEO POR FLEJO – TORSIÓN Y TORSIONAL

**Datos a introducir por el usuario:**

Constante de alabeo de la sección recta  $C_w$  [mm<sup>6</sup>] =

Constante de torsión de la sección recta  $J$  [mm<sup>4</sup>] =

**Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional =  $\phi_c * P_n$**

$\phi_c = 0.85$ .  $P_n = A_g * F_{cr}$

a) Para  $\lambda_e \sqrt{Q} \leq 1.5 \Rightarrow F_{cr} = Q \left( 0.658 Q \lambda_e^2 \right) F_y$

b) Para  $\lambda_e \sqrt{Q} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_e^2} \right) F_y$

$$\lambda_e = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

$\lambda_r$  Corresponde al menor valor entre  $\lambda_{rw}$  y  $\lambda_{rf}$  en el punto 1.1.4.

$Q = 1.0$  para miembros con  $\left( \frac{b}{h} \right) < \lambda_r$

$Q = Q_s * Q_a$  para miembros con  $\frac{b}{h} \geq \lambda_r$

$F_e$  = Esfuerzo crítico elástico de pandeo torsional o flexotorsional, que se determina como sigue:

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

$K_z$  = Coeficiente de longitud efectiva para pandeo torsional.

**El software pregunta y el usuario escoge una de las 2 opciones:**

EXISTE RESTRICCIÓN TOTAL AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 0.5$

NO EXISTE RESTRICCIÓN AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 1$

Terminado este cálculo sigue la parte de resultados.

### 1.1.5 RESULTADOS

Los resultados son solo para diseño o solo para evaluación según haya escogido el usuario al inicio del proceso. El perfil es el mismo seleccionado en el punto 1.1.1.

#### RESULTADOS PARA DISEÑO

##### ◆ Resultados para Diseño. A

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.1.4.A

Compara:

**Resistencia de diseño al pandeo flector [N]  $\geq$  Pu [N]**

Si cumple entonces fin. Imprime dimensiones y Resistencia de diseño al pandeo flector [N].

Si no cumple entonces

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

##### ◆ Resultados para Diseño. B

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.1.4.B

Compara:

**Resistencia de diseño al pandeo local  $\leq$  Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional**

Si esta desigualdad no se cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si esta desigualdad se cumple entonces Compara:

##### **Resistencia de diseño por pandeo**

**flexo – torsión y torsional  $\geq$  Pu [N]**

Si cumple entonces fin. Imprime dimensiones y Resistencia de diseño por pandeo flexo- torsión y torsional [N].

Si no cumple entonces

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

## RESULTADOS PARA EVALUACIÓN.

### Dimensiones

El perfil es el mismo seleccionado en el punto 1.1.1.

#### ◆ Resultados para Evaluación. A

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.1.4.A.

### Resistencia de diseño al pandeo flector [N]

Imprime dimensiones y Resistencia de diseño al pandeo flector [N]

#### ◆ Resultados para Evaluación. B

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.1.4.B.

### Resistencia de diseño al pandeo local <= Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional

Si esta desigualdad no se cumple entonces cambiar el perfil.

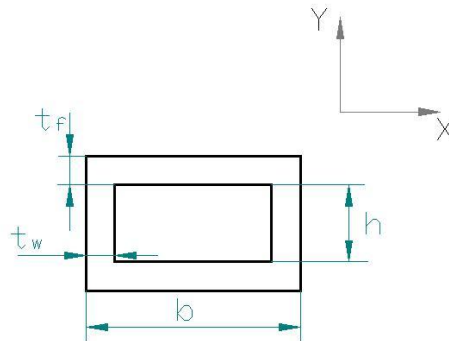
Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si esta desigualdad se cumple entonces:

Imprime dimensiones y Resistencia de diseño por pandeo flexo- torsión y torsional [N].

## 1.2 Perfil Tubular Rectangular.



Perfil Tubular rectangular.

### 1.2.1 Propiedades del perfil seleccionado.

Longitud eje X,  $L_x$  [ mm ] =

Longitud eje y,  $L_y$  [ mm ] =

Área de la sección recta,  $A_g$  [ mm<sup>2</sup> ] =

Ancho de la aleta,  $b$  [ mm ] =

Espesor de la aleta,  $t_f$  [ mm ] =

Altura del alma,  $h$  [ mm ] =  
 Espesor del alma,  $t_w$  [ mm ] =  
 Momento de inercia eje X,  $I_x$  [ mm<sup>4</sup> ] =  
 Momento de inercia eje Y,  $I_y$  [ mm<sup>4</sup> ] =  
 Radio de giro eje X,  $r_x$  [ mm ] =  
 Radio de giro eje Y,  $r_y$  [ mm ] =

**El usuario elige un perfil  
 de la base de datos o  
 puede introducir los datos  
 manualmente.**

### 1.2.2 Cálculo del coeficiente de longitud efectiva K.

Se determina el coeficiente de longitud efectiva K para las direcciones X, Y refiriéndose a la figura 1.

### 1.2.3 Chequeo de esbeltez.

$$\left( \frac{K_x * L_x}{r_x} \right) \leq 200 \quad \text{ESCOJO LOS VALORES QUE GENERAN EL MAYOR RESULTADO (se asigna } K_i, r_i, L_i \text{)}$$

$$\left( \frac{K_y * L_y}{r_y} \right) \leq 200$$

Si se cumple la relación de esbeltez en los dos chequeos entonces puede seguir al siguiente paso.

Si no se cumple la relación de esbeltez en alguno de los dos chequeos entonces Sugerencia: escoger otro perfil con un radio de giro mayor.

### 1.2.4 Evaluación del perfil seleccionado

#### 1.2.4.1 Para elementos rigidizados (todos).

Compara:

$$\left( \frac{b}{t_f} \right) \quad \left( \frac{h}{t_w} \right) \quad \text{ESCOJE LOS VALORES QUE GENERAN EL MAYOR RESULTADO (se asigna } b_i(h \text{ ó } b) \text{ y } t_i(t_f \text{ ó } t_w))$$

Y

#### 1.2.4.2 Cálculo $\lambda_r$

$$\left( \frac{b_i}{t_i} \right) \leq \lambda_r \quad \lambda_r = \frac{625}{\sqrt{F_y}}$$

**SI SE CUMPLE:**

$$\left( \frac{b_i}{t_i} \right) \leq \lambda_r$$

**ENTONCES CÁLCULO DE PANDEO FLECTOR (1.2.4.A).**

**NO SE CUMPLE:**

$$\left( \frac{b_i}{t_i} \right) > \lambda_r$$

**ENTONCES CÁLCULO DE PANDEO LOCAL, ELEMENTO ESBELTO (1.2.4.B).**

### 1.2.4.A CÁLCULO DEL PANDEO FLECTOR

Este cálculo se realiza solo si se cumple la relación en el punto 1.2.4.2.

**Resistencia de diseño al pandeo flector [N] =  $\phi_c * P_n$**

$$\phi_c = 0.85 \quad P_n = A_g * F_{cr}$$

$$\lambda_c = \left( \frac{K_i * L_i}{\pi * r_i} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

a) Para  $\lambda_c \leq 1.5$   $F_{cr} = \left( 0.658^{\lambda_c^2} \right) * F_y$

b) Para  $\lambda_c > 1.5$   $F_{cr} = \left[ \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] * F_y$

Terminado este cálculo pasa directamente a la parte de resultados.

### 1.2.4.B CÁLCULO DE PANDEO LOCAL, ELEMENTOS ESBELTOS

Este cálculo se realiza solo si no se cumple la relación en el punto 1.2.4.2.

**Resistencia de diseño al pandeo local [N] =  $\phi_c * F_{cr} * A_g$**

$$\lambda_c = \left( \frac{K_i * L_i}{\pi * r_i} \right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad \phi_c = 0.85$$

El esfuerzo crítico  $F_{cr}$  se calculará de acuerdo con:

a) Para  $\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1.5 \Rightarrow F_{cr} = Q * \left( 0.658^{Q * \lambda_c^2} \right) * F_y$

b) Para  $\lambda_c \sqrt{Q} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) * F_y$

$$Q = Q_a$$

### Cálculo de $Q_a$

$$\text{Cuando } \frac{b_i}{t_i} \geq \frac{625}{\sqrt{f}} \Rightarrow b_e = \frac{856 * t_i}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{170}{\left( \frac{b_i}{t_i} \right) \sqrt{f}} \right]$$

$b_e$  = ancho reducido, mm

$$f = F_y$$

$$Q_a = (b_e * t_i) / (b_i * t_i)$$

$$\text{En caso que } \frac{b_i}{t_i} \leq \frac{625}{\sqrt{f}} \text{ entonces } Q_a = 1$$

### 1.2.4.B.1 CHEQUEO DE PANDEO POR FLEJO – TORSIÓN Y TORSIONAL

Este cálculo se realiza solo si no se cumple la relación en el punto 1.2.4.2

#### Datos a introducir por el usuario:

Constante de alabeo de la sección recta  $C_w$  [mm<sup>6</sup>] =

Constante de torsión de la sección recta  $J$  [mm<sup>4</sup>] =

#### Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional [N] = $\phi_c * P_n$

$$\phi_c = 0.85. \quad P_n = A_g * F_{cr}$$

$$\diamond \text{ Para } \lambda_e \sqrt{Q} \leq 1.5 \Rightarrow F_{cr} = Q \left( 0.658^{Q \lambda_e^2} \right) F_y$$

$$\diamond \text{ Para } \lambda_e \sqrt{Q} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_e^2} \right) F_y$$

$$\lambda_e = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

$$Q = 1.0 \text{ para miembros con } \left( \frac{b}{h} \right) < \lambda_r$$

$$Q = Q_a \text{ para miembros con } \frac{b}{h} \geq \lambda_r$$

$F_e$  = Esfuerzo crítico elástico de pandeo torsional o flexotorsional, que se determina como sigue:

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

$K_z$  = Coeficiente de longitud efectiva para pandeo torsional.

El software pregunta y el usuario escoge una de las 2 opciones:  
EXISTE RESTRICCIÓN TOTAL AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 0.5$   
NO EXISTE RESTRICCIÓN AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 1$   
Terminado este cálculo sigue la parte de resultados.

### 1.2.5. RESULTADOS:

Los resultados son solo para diseño o solo para evaluación según haya escogido el usuario al inicio del proceso. El perfil es el mismo seleccionado en el punto 1.2.1.

### RESULTADOS PARA DISEÑO.

#### ◆ Resultados para Diseño. A

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.2.4.A.

**Resistencia de diseño al pandeo flector [N]  $\geq$  Pu [N]**

Si cumple entonces fin. Imprime dimensiones y Resistencia de diseño al pandeo flector [N]

Si no cumple entonces,

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

#### ◆ Resultados para Diseño. B

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.2.4.B.

**Resistencia de diseño al pandeo local [N]  $\leq$  Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional [N]**

Si esta desigualdad no se cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si esta desigualdad se cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional [N]  $\geq$  Pu [N]**

Si cumple entonces fin. Imprime dimensiones y Resistencia de diseño por pandeo flexo- torsión y torsional [N]

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

## RESULTADOS PARA EVALUACIÓN.

### Dimensiones

El perfil es el mismo seleccionado en el punto 1.2.1.

#### ◆ Resultados para Evaluación. A

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.2.4.A

Imprime dimensiones y Resistencia de diseño al pandeo flector [N]

#### ◆ Resultados para Evaluación. B

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.2.4.B

**Resistencia de diseño al pandeo local**  $\leq$  **Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional**

Si esta desigualdad no se cumple entonces cambiar el perfil.

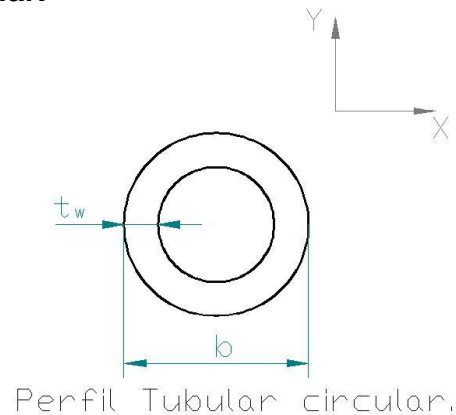
Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si esta desigualdad se cumple entonces:

Imprime dimensiones y Resistencia de diseño por pandeo flexo- torsión y torsional [N].

### 1.3 Perfil Tubular Circular.



### 1.3.1 Propiedades del perfil seleccionado.

Longitud eje X,	$L_x$ [ mm ] =
Longitud eje y,	$L_y$ [ mm ] =
Área de la sección recta,	$A_g$ [ mm <sup>2</sup> ] =
Diámetro exterior,	$b$ [ mm ] =
Espesor,	$t$ [ mm ] =
Momento de inercia eje X,	$I_x$ [ mm <sup>4</sup> ] =
Momento de inercia eje Y,	$I_y$ [ mm <sup>4</sup> ] =
Radio de giro eje X,	$r_x$ [ mm ] =
Radio de giro eje Y,	$r_y$ [ mm ] =

El usuario elige un perfil de la base de datos o puede introducir los datos manualmente

### 1.3.2 Cálculo del coeficiente de longitud efectiva K.

Se determina el coeficiente de longitud efectiva K para las direcciones X, Y refiriéndose a la figura 1.

### 1.3.3 Chequeo de esbeltez

$$\left( \frac{K_x * L_x}{r_x} \right) \leq 200 \quad \text{ESCOJO LOS VALORES QUE GENERAN EL MAYOR RESULTADO (se asigna } K_i, r_i, L_i)$$

$$\left( \frac{K_y * L_y}{r_y} \right) \leq 200$$

Si se cumple la relación de esbeltez en los dos chequeos entonces puede seguir al siguiente paso.

Si no se cumple la relación de esbeltez en alguno de los dos chequeos entonces Sugerencia: escoger otro perfil con un radio de giro mayor.

### 1.3.4 Evaluación del perfil seleccionado

Para elementos rigidizados (todos)

Cálculo  $\lambda_r$

$$\lambda_r = \frac{625}{\sqrt{F_y}}$$

SI SE CUMPLE:

$$\left( \frac{b}{t} \right) \leq \lambda_r \quad \text{ENTONCES CÁLCULO DE PANDEO FLECTOR (1.3.4.A).}$$

**NO SE CUMPLE:**

$$\left(\frac{b}{t}\right) \leq \lambda_r$$

**ENTONCES CÁLCULO DE PANDEO LOCAL, ELEMENTO ESBELTO (1.3.4.B).**

### 1.3.4.A CÁLCULO DEL PANDEO FLECTOR.

Este cálculo se realiza solo si se cumple la relación en el punto 1.3.4.

**Resistencia de diseño al pandeo flector [N] =  $\phi_c * P_n$**

$$\phi_c = 0.85 \quad P_n = A_g * F_{cr}$$

$$\lambda_c = \left(\frac{K_i * L_i}{\pi * r_i}\right) \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

a) Para  $\lambda_c \leq 1.5$   $F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} * F_y$

b) Para  $\lambda_c > 1.5$   $F_{cr} = \left[\frac{0.877}{\lambda_c^2}\right] * F_y$

Terminado este cálculo pasa directamente a la parte de resultados.

### 1.3.4.B CÁLCULO DE PANDEO LOCAL, ELEMENTOS ESBELTOS.

Este cálculo se realiza solo si se cumple la relación en el punto 1.3.4.

**Resistencia de diseño al pandeo local [N] =  $\phi_c * F_{cr} * A_g$**

$$\lambda_c = \left(\frac{K_i * L_i}{\pi * r_i}\right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad \phi_c = 0.85$$

El esfuerzo crítico  $F_{cr}$  se calculará de acuerdo con:

a) Para  $\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1.5 \Rightarrow F_{cr} = Q * 0.658^{Q * \lambda_c^2} * F_y$

b) Para  $\lambda_c \sqrt{Q} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left(\frac{0.877}{\lambda_c^2}\right) * F_y$

**Q = Q<sub>a</sub>**

### **Cálculo de $Q_a$**

Para secciones con la relación b/t comprendida entre:

$$\frac{22750}{F_y} \leq (b/t) \leq \frac{89635}{F_y}$$

$$Q = Q_a = \frac{7585}{F_y \left(\frac{D}{t}\right)} + \frac{2}{3}$$

En donde  $D = b =$  diámetro exterior, mm.  
 $t =$  espesor de la pared, mm.

Si la relación b / t no se encuentra entre los valores especificados anteriormente entonces:

Sugerencia: escoger un perfil con la relación D/t comprendida entre :

$$\frac{22750}{F_y} \quad \text{y} \quad \frac{89635}{F_y}$$

### **1.3.4.B.1 CHEQUEO DE PANDEO POR FLEJO – TORSIÓN Y TORSIONAL**

Este cálculo se realiza solo no si se cumple la relación en el punto 1.3.4.

**Datos a introducir por el usuario:**

Constante de alabeo de la sección recta  $C_w$  [mm<sup>6</sup>] =

Constante de torsión de la sección recta  $J$  [mm<sup>4</sup>] =

**Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional [N]=  $\phi_c \cdot P_n$**

$\phi_c = 0.85.$   $P_n = A_g \cdot F_{cr}$

$$\diamond \text{ Para } \lambda_e \sqrt{Q} \leq 1.5 \Rightarrow F_{cr} = Q \left( 0.658^{Q \lambda_e^2} \right) F_y$$

$$\diamond \text{ Para } \lambda_e \sqrt{Q} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_e^2} \right) F_y$$

$$\lambda_e = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

$Q = 1.0$  para miembros con  $\left(\frac{b}{h}\right) < \lambda_r$

$Q = Q_a$  para miembros con  $\frac{b}{h} \geq \lambda_r$

$F_e$  = Esfuerzo crítico elástico de pandeo torsional o flexotorsional, que se determina como sigue:

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

$K_z$  = Coeficiente de longitud efectiva para pandeo torsional.

El software pregunta y el usuario escoge una de las 2 opciones:

EXISTE RESTRICCIÓN TOTAL AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 0.5$

NO EXISTE RESTRICCIÓN AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 1$

Terminado este cálculo sigue la parte de resultados.

### 1.3.5 RESULTADOS.

Los resultados son solo para diseño o solo para evaluación según haya escogido el usuario al inicio del proceso. El perfil es el mismo seleccionado en el punto 1.3.1.

#### RESULTADOS PARA DISEÑO

##### ◆ Resultados para Diseño. A

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.3.4.A.

Compara:

**Resistencia de diseño al pandeo flector [N]  $\geq$  Pu [N]**

Si cumple entonces fin. Imprime dimensiones y Resistencia de diseño al pandeo flector [N].

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

##### ◆ Resultados para Diseño. B

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.3.4.B.

**Resistencia de diseño al pandeo local [N]  $\leq$  Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional [N]**

Si esta desigualdad no se cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si esta desigualdad se cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño por pandeo**

$$\text{flexo – torsión y torsional [N]} \geq P_u \text{ [N]}$$

Si cumple entonces fin. imprime dimensiones y resistencia de diseño por pandeo flexo- torsión y torsional.

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

## RESULTADOS PARA EVALUACIÓN

◆ **Resultados para Evaluación. A**

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.3.4.A

Imprime dimensiones y Resistencia de diseño al pandeo flector [N].

◆ **Resultados para Evaluación. B**

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.3.4.B

$$\text{Resistencia de diseño al pandeo local} \leq \text{Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional}$$

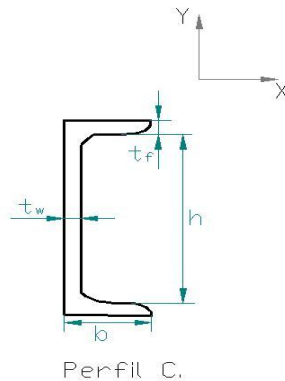
Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si esta desigualdad se cumple entonces:

Imprime dimensiones y Resistencia de diseño por pandeo flexo- torsión y torsional [N].

## 1.4 Perfil C.



### 1.4.1 Propiedades del perfil seleccionado.

Longitud eje X,	$L_x$ [ mm ] =
Longitud eje y,	$L_y$ [ mm ] =
Área de la sección recta,	$A_g$ [ mm <sup>2</sup> ] =
Ancho de la aleta,	$b$ [ mm ] =
Espesor de la aleta,	$t_f$ [ mm ] =
Altura del alma,	$h$ [ mm ] =
Espesor del alma,	$t_w$ [ mm ] =
Momento de inercia eje X,	$I_x$ [ mm <sup>4</sup> ] =
Momento de inercia eje Y,	$I_y$ [ mm <sup>4</sup> ] =
Radio de giro eje X,	$r_x$ [ mm ] =
Radio de giro eje Y,	$r_y$ [ mm ] =
Coordenada X del centro de corte respecto al centroide de la sección recta,	$x_o$ [ mm ] =
Coordenada Y del centro de corte respecto al centroide de la sección recta,	$y_o$ [ mm ] =

**El usuario elige un perfil de la base de datos o puede introducir los datos manualmente**

### 1.4.2 Cálculo del coeficiente de longitud efectiva K.

Se determina el coeficiente de longitud efectiva K para las direcciones X, Y refiriéndose a la figura 1.

### 1.4.3 Chequeo de esbeltez.

$$\left( \frac{K_x * L_x}{r_x} \right) \leq 200 \quad \text{ESCOJO LOS VALORES QUE GENERAN EL MAYOR RESULTADO (se asigna } K_i, r_i, L_i).$$

$$\left( \frac{K_y * L_y}{r_y} \right) \leq 200$$

Si se cumple la relación de esbeltez en los dos chequeos entonces puede seguir al siguiente paso.

Si no se cumple la relación de esbeltez en alguno de los dos chequeos entonces escoger otro perfil con un radio de giro mayor.

#### **1.4.4 Evaluación del perfil seleccionado**

##### **1.4.4.1 Para elementos no rigidizados (aletas)**

$$\left( \frac{b}{t_f} \right) \leq \lambda_{r f} \quad \lambda_{r f} = \frac{250}{\sqrt{F_y}}$$

##### **1.4.4.2 Para elementos rigidizados (alma)**

$$\left( \frac{h}{t_w} \right) \leq \lambda_{r w} \quad \lambda_{r w} = \frac{665}{\sqrt{F_y}}$$

**SI SE CUMPLEN LAS DOS RELACIONES:**

$$\left( \frac{b}{t_f} \right) \leq \lambda_{r f}$$

$$\left( \frac{h}{t_w} \right) \leq \lambda_{r w} \quad \text{ENTONCES CÁLCULO DE PANDEO FLECTOR (1.4.4.A).}$$

**NO SE CUMPLE ALGUNA DE LAS DOS RELACIONES:**

$$\left( \frac{b}{t_f} \right) \leq \lambda_{r f}$$

$$\left( \frac{h}{t_w} \right) \leq \lambda_{r w} \quad \text{ENTONCES CÁLCULO DE PANDEO LOCAL, ELEMENTO ESBELTO (1.4.4.B).}$$

##### **1.4.4.A CÁLCULO DEL PANDEO FLECTOR**

Este cálculo se realiza solo si se cumplieron las 2 relaciones en el punto 1.4.4.

**Resistencia de diseño al pandeo flector =  $\phi_c * P_n$**

$$\phi_c = 0.85$$

$$P_n = A_g * F_{cr}$$

$$\lambda_c = \left( \frac{K_i * L_i}{\pi * r_i} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

a) Para  $\lambda_c \leq 1.5$   $F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_y$

b) Para  $\lambda_c > 1.5$   $F_{cr} = \left[ \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y$

Terminado este cálculo pasa directamente a la parte de resultados.

#### 1.4.4.B CÁLCULO DE PANDEO LOCAL, ELEMENTOS ESBELTOS

Este cálculo se realiza solo si no se cumplió alguna de las dos relaciones en el punto 1.4.4.

**Resistencia de diseño al pandeo local =  $\phi_c * F_{cr} * A_g$**

$$\lambda_c = \left( \frac{K_i * L_i}{\pi * r_i} \right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad \phi_c = 0.85$$

El esfuerzo crítico  $F_{cr}$  se calculará de acuerdo con:

a) Para  $\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1.5 \Rightarrow F_{cr} = Q * 0.658^{Q * \lambda_c^2} * F_y$

b) Para  $\lambda_c \sqrt{Q} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) * F_y$

$$Q = Q_s * Q_a$$

**Cálculo de  $Q_s$**

Cuando  $\frac{250}{\sqrt{F_y}} < \frac{b}{t_f} < \frac{460}{\sqrt{F_y}} \Rightarrow Q_s = 1.415 - 0.00166 \left( \frac{b}{t_f} \right) \sqrt{F_y}$

Cuando  $\frac{b}{t_f} \geq \frac{460}{\sqrt{F_y}} \Rightarrow Q_s = \frac{137900}{F_y \left( \frac{b}{t_f} \right)^2}$

### Cálculo de $Q_a$

$$\text{Cuando } \frac{h}{t_w} \geq \frac{664}{\sqrt{f}} \Rightarrow h_e = \frac{856 * t_w}{\sqrt{f}} \left[ 1 - \frac{150}{\left(\frac{h}{t_w}\right)\sqrt{f}} \right]$$

$h_e$  = altura reducido, mm.

$f$  =  $F_y$ .

$Q_a = (h_e * t_w) / (h * t_w)$ .

En caso contrario, es decir:  $\frac{h}{t_w} < \frac{664}{\sqrt{f}}$  entonces  $Q_a = 1$

### **1.4.4.B.1 CHEQUEO DE PANDEO POR FLEJO – TORSIÓN Y TORSIONAL**

Este cálculo se realiza solo si no se cumplió alguna de las dos relaciones en el punto 1.4.4.

#### **Datos a introducir por el usuario:**

Constante de alabeo de la sección recta  $C_w$  [mm<sup>6</sup>] =

Constante de torsión de la sección recta  $J$  [mm<sup>4</sup>] =

### Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional = $\phi_c * P_n$

$$\phi_c = 0.85. \quad P_n = A_g * F_{cr}$$

$$\text{a) Para } \lambda_e \sqrt{Q} \leq 1.5 \Rightarrow F_{cr} = Q \left( 0.658^{Q \lambda_e^2} F_y \right)$$

$$\text{b) Para } \lambda_e \sqrt{Q} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_e^2} \right) F_y$$

$$\lambda_e = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

$\lambda_r$  Corresponde al menor valor entre  $\lambda_{rw}$  y  $\lambda_{rf}$  en el punto 1.4.4.

$$Q = 1.0 \text{ para miembros con } \left( \frac{b}{h} \right) < \lambda_r$$

$$Q = Q_s * Q_a \quad \text{para miembros con } \frac{b}{h} \geq \lambda_r$$

$F_e$  = Esfuerzo crítico elástico de pandeo torsional o flexotorsional, que se determina como sigue:

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

$K_z$  = Coeficiente de longitud efectiva para pandeo torsional.

El software pregunta y el usuario escoge una de las 2 opciones:

EXISTE RESTRICCIÓN TOTAL AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 0.5$

NO EXISTE RESTRICCIÓN AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 1$

$$\bar{r}_o^2 = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A} \quad H = 1 - \left( \frac{x_o^2 + y_o^2}{r_o^2} \right)$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K_x L}{r_x} \right)^2} \quad F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K_y L}{r_y} \right)^2} \quad L = L_i$$

$$F_{ez} = \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{K_z L^2} + GJ \right] \left( \frac{1}{A r_o^2} \right)$$

Terminado este cálculo sigue la parte de resultados.

#### 1.4.5 RESULTADOS:

Los resultados son solo para diseño o solo para evaluación según haya escogido el usuario al inicio del proceso. El perfil es el mismo seleccionado en el punto 1.4.1.

### RESULTADOS PARA DISEÑO

#### ◆ Resultados para Diseño. A

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.4.4.A.

#### Resistencia de diseño al pandeo flector [N] $\geq$ Pu [N]

Si cumple entonces fin. Imprime dimensiones y Resistencia de diseño al pandeo flector [N].

Si no cumple entonces

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

#### ◆ **Resultados para Diseño. B**

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.4.4.B.

**Resistencia de diseño al pandeo local  $\leq$  Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional**

Si esta desigualdad no se cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si esta desigualdad se cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional  $\geq$  Pu [N]**

Si cumple entonces fin. Imprime dimensiones y Resistencia de diseño por pandeo flexo- torsión y torsional.

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

### **RESULTADOS PARA EVALUACIÓN**

#### ◆ **Resultados para Evaluación. A**

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.4.4.A

Imprime dimensiones y Resistencia de diseño al pandeo flector [N].

#### ◆ **Resultados para Evaluación. B**

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.4.4.B.

**Resistencia de diseño al pandeo local  $\leq$  Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional**

Si esta desigualdad no se cumple entonces cambiar el perfil.

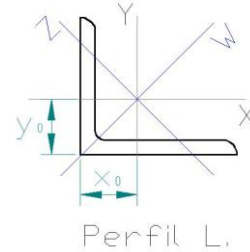
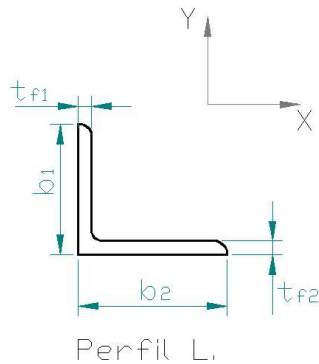
Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si esta desigualdad se cumple entonces:

Imprime dimensiones y Resistencia de diseño por pandeo flexo- torsión y torsional [N].

## 1.5 Perfil L.



### 1.5.1 Propiedades del perfil seleccionado.

Longitud eje X,  $L_x$  [ mm ] =  
 Longitud eje y,  $L_y$  [ mm ] =  
 Área de la sección recta,  $A_g$  [ mm<sup>2</sup> ] =  
 Ancho de la aleta,  $b_1$  [ mm ] =  
 Espesor de la aleta,  $t_{f1}$  [ mm ] =  
 Ancho de la aleta,  $b_2$  [ mm ] =  
 Espesor de la aleta,  $t_{f2}$  [ mm ] =  
 Momento de inercia eje X,  $I_x$  [ mm<sup>4</sup> ] =  
 Momento de inercia eje Y,  $I_y$  [ mm<sup>4</sup> ] =  
 Radio de giro eje X,  $r_x$  [ mm ] =  
 Radio de giro eje Y,  $r_y$  [ mm ] =  
 Radio de giro eje Z,  $r_z$  [ mm ] =  
 Coordenada X del centro de corte  
 respecto al centroide de la sección recta,  $x_o$  [ mm ] =  
 Coordenada Y del centro de corte  
 respecto al centroide de la sección recta,  $y_o$  [ mm ] =

**El usuario elige un perfil de la  
 base de datos o puede  
 introducir los datos  
 manualmente**

### 1.5.2 Cálculo del coeficiente de longitud efectiva K.

Se determina el coeficiente de longitud efectiva K para las direcciones X, Y refiriéndose a la figura 1.

### 1.5.3 Chequeo de esbeltez

$$\left( \frac{K_x * L_x}{r_x} \right) \leq 200$$

$$\left( \frac{K_y * L_y}{r_y} \right) \leq 200$$

$$\left( \frac{K_x * L_x}{r_z} \right) \leq 200$$

**ESCOJO LOS VALORES QUE GENERAN  
 EL MAYOR RESULTADO (se asigna  $K_i$ ,  $r_i$ ,  $L_i$ )**

$$\left( \frac{K_y * L_y}{r_z} \right) \leq 200$$

Si se cumple la relación de esbeltez en los cuatro chequeos entonces puede seguir al siguiente paso.

Si no se cumple la relación de esbeltez en alguno de los cuatro chequeos entonces escoger otro perfil con un radio de giro mayor.

#### **1.5.4 Evaluación del perfil seleccionado**

##### **1.5.4.1 Para elementos no rigidizados (aletas)**

Entonces tomo el mayor valor entre

$$\left( \frac{b_1}{t_{f1}} \right) \quad \left( \frac{b_2}{t_{f2}} \right)$$

Y

Escoge los valores que generen el mayor resultado asignando  $b_i, t_i$  respectivamente luego:

$$\left( \frac{b_i}{t_i} \right) \leq \lambda_{rf} \quad \lambda_{rf} = \frac{200}{\sqrt{F_y}}$$

**SI SE CUMPLE:**

$$\left( \frac{b_i}{t_i} \right) \leq \lambda_{rf}$$

**ENTONCES CÁLCULO DE PANDEO FLECTOR**

**(1.5.4.A).**

**NO SE CUMPLE:**

$$\left( \frac{b_i}{t_i} \right) \leq \lambda_{rf}$$

**ENTONCES CÁLCULO DE PANDEO LOCAL, ELEMENTO ESBELTO (1.5.4.B).**

### 1.5.4.A CÁLCULO DEL PANDEO FLECTOR

Este cálculo se realiza solo si se cumple la relación en el punto 1.5.4.

**Resistencia de diseño al pandeo flector =  $\phi_c * P_n$**

$$\phi_c = 0.85 \quad P_n = A_g * F_{cr}$$

$$\lambda_c = \left( \frac{K_i * L_i}{\pi * r_i} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

a) Para  $\lambda_c \leq 1.5$   $F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} * F_y$

b) Para  $\lambda_c > 1.5$   $F_{cr} = \left[ \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] * F_y$

Terminado este cálculo pasa directamente a la parte de resultados.

### 1.5.4.B CÁLCULO DE PANDEO LOCAL, ELEMENTOS ESBELTOS

Este cálculo se realiza solo si no se cumple la relación en el punto 1.5.4.

**Resistencia de diseño al pandeo local =  $\phi_c * F_{cr} * A_g$**

$$\lambda_c = \left( \frac{K_i * L_i}{\pi * r_i} \right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad \phi_c = 0.85$$

El esfuerzo crítico  $F_{cr}$  se calculará de acuerdo con:

a) Para  $\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1.5 \Rightarrow F_{cr} = Q * 0.658^{Q * \lambda_c^2} * F_y$

b) Para  $\lambda_c \sqrt{Q} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) * F_y$

$$Q = Q_s$$

#### Cálculo de $Q_s$

$$\text{Cuando } \frac{200}{\sqrt{F_y}} < \left( \frac{b_i}{t_i} \right) < \frac{407}{\sqrt{F_y}} \Rightarrow Q_s = 1.34 - 0.0017 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{F_y}$$

$$\text{Cuando } \frac{b_i}{t_i} \geq \frac{407}{\sqrt{F_y}} \Rightarrow Q_s = \frac{107000}{F_y \left( \frac{b}{t} \right)^2} \quad \begin{array}{l} b_i = b \\ t_i = t \end{array}$$

### 1.5.4.B.1 CHEQUEO DE PANDEO POR FLEXO – TORSIÓN Y TORSIONAL

Este cálculo se realiza solo si no se cumple la relación en el punto 1.5.4.

**Datos a introducir por el usuario:**

Constante de alabeo de la sección recta  $C_w$  [mm<sup>6</sup>] =

Constante de torsión de la sección recta  $J$  [mm<sup>4</sup>] =

$K_z$  = Coeficiente de longitud efectiva para pandeo torsional.

El software pregunta y el usuario escoge una de las 2 opciones:

EXISTE RESTRICCIÓN TOTAL AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 0.5$

NO EXISTE RESTRICCIÓN AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 1$

**Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional =  $\phi_c * P_n$**

$\phi_c = 0.85.$   $P_n = A_g * F_{cr}$

(a) Para  $\lambda_e \sqrt{Q} \leq 1.5 \Rightarrow F_{cr} = Q \left( 0.658^{Q \lambda_e^2} F_y \right)$

(b) Para  $\lambda_e \sqrt{Q} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_e^2} \right) F_y$

$$\lambda_e = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

$Q = Q_s$

$F_e$  = Esfuerzo crítico elástico de pandeo torsional o flexotorsional, que se determina como sigue:

Si  $b_1 = b_2$  y  $t_1 = t_2$  entonces:

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

$$\overline{r_o^2} = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A} \quad H = 1 - \left( \frac{x_o^2 + y_o^2}{\overline{r_o^2}} \right)$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K_x L_x}{r_x} \right)^2} \quad F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K_y L_y}{r_y} \right)^2}$$

$$F_{ez} = \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{K_z L^2} + GJ \right] \left( \frac{1}{A r_o^2} \right); \quad A = A; \quad L = L_i$$

**Si  $b_1$  no es =  $b_2$  o  $t_1$  no es =  $t_2$  entonces:**

$F_e$  será la menor de las raíces reales de la siguiente ecuación cúbica:

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

Terminado este cálculo sigue la parte de resultados.

### 1.5.5 RESULTADOS.

Los resultados son solo para diseño o solo para evaluación según haya escogido el usuario al inicio del proceso. El perfil es el mismo seleccionado en el punto 1.5.1.

### RESULTADOS PARA DISEÑO

#### ◆ Resultados para Diseño. A

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.5.4.A

Compara:

**Resistencia de diseño al pandeo flector [N] >= Pu [N]**

Si cumple entonces fin. Imprime dimensiones y Resistencia de diseño al pandeo flector [N].

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

#### ◆ Resultados para Diseño. B

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.5.4.B.

**Resistencia de diseño al pandeo local <= Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional**

Si esta desigualdad no se cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si esta desigualdad se cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional >= Pu [N]**

Si cumple entonces fin. Imprime dimensiones y Resistencia de diseño por pandeo flexo- torsión y torsional.

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

## RESULTADOS PARA EVALUACIÓN.

### ◆ Resultados para Evaluación. A

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.5.4.A.

Imprime dimensiones y Resistencia de diseño al pandeo flector.

### Resultados evaluación. B

◆ Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.5.4.B

**Resistencia de diseño al pandeo local <= Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional**

Si esta desigualdad no se cumple entonces cambiar el perfil.

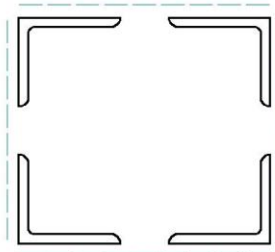
Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si esta desigualdad se cumple entonces:

Imprime dimensiones y Resistencia de diseño por pandeo flexo- torsión y torsional.

## 1.6 Perfil Cajón.



Perfil Cajón.

### 1.6.1.A Propiedades del perfil cajón.

Longitud eje X,  $L_x [ mm ] =$

Longitud eje y,  $L_y [ mm ] =$

Área de la sección recta,  $A_{Tg} [ mm^2 ] =$

Momento de inercia eje X,  $I_x [ mm^4 ] =$

Momento de inercia eje Y,  $I_y [ mm^4 ] =$

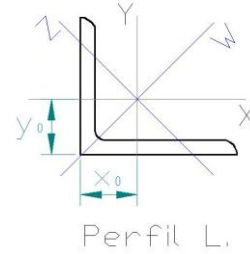
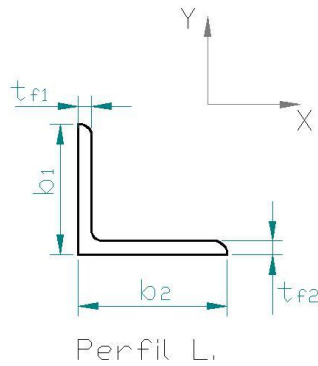
Radio de giro eje X,  $R_x [ mm ] =$

Radio de giro eje Y,  $R_y [ mm ] =$

Coordenada X del centro de corte respecto al centroide de la sección recta,  $X_o [ mm ] =$

Coordenada Y del centro de corte respecto al centroide de la sección recta,  $Y_o [ mm ] =$

### 1.6.1.B Propiedades del perfil L individual.



- Longitud eje X,  $L_x [ mm ] =$
- Longitud eje y,  $L_y [ mm ] =$
- Área de la sección recta,  $A_g [ mm^2 ] =$
- Ancho de la aleta,  $b_1 [ mm ] =$
- Espesor de la aleta,  $t_{f1} [ mm ] =$
- Ancho de la aleta,  $b_2 [ mm ] =$
- Espesor de la aleta,  $t_{f2} [ mm ] =$
- Momento de inercia eje X,  $I_x [ mm^4 ] =$
- Momento de inercia eje Y,  $I_y [ mm^4 ] =$
- Radio de giro eje X,  $r_x [ mm ] =$
- Radio de giro eje Y,  $r_y [ mm ] =$
- Radio de giro eje Z,  $r_z [ mm ] =$
- Coordenada X del centro de corte  
respecto al centroide de la sección recta,  $x_o [ mm ] =$
- Coordenada Y del centro de corte  
respecto al centroide de la sección recta,  $y_o [ mm ] =$

### 1.6.2 Cálculo del coeficiente de longitud efectiva K.

Se determina el coeficiente de longitud efectiva K para las direcciones X, Y refiriéndose a la figura 1.

#### 1.6.3.1 Chequeo de esbeltez para el perfil cajón.

$$\left( \frac{K_x * L_x}{R_x} \right) \leq 200$$

**ESCOJO LOS VALORES QUE GENERAN  
EL MAYOR RESULTADO (se asigna  $K_i, R_i, L_i$ )**

$$\left( \frac{K_y * L_y}{R_y} \right) \leq 200$$

### 1.6.3.2 Chequeo de esbeltez para los 4 perfiles L individuales.

$$\left( \frac{K_x * L_x}{R_x} \right) \leq 200$$

$$\left( \frac{K_x * L_x}{r_x} \right) \leq 200$$

$$\left( \frac{K_y * L_y}{r_y} \right) \leq 200$$

$$\left( \frac{K_x * L_x}{r_z} \right) \leq 200$$

**ESCOJO LOS VALORES QUE GENERAN  
EL MAYOR RESULTADO (se asigna  $k_i, r_i, l_i$ )**

$$\left( \frac{K_y * L_y}{r_z} \right) \leq 200$$

Si se cumple la relación de esbeltez en los seis chequeos entonces puede seguir al siguiente paso.

Si no se cumple la relación de esbeltez en alguno de los seis chequeos entonces escoger otro perfil con un radio de giro mayor.

### 1.6.4 Evaluación del perfil seleccionado

#### 1.6.4.1 Para elementos no rigidizados (aletas)

Entonces tomo el mayor valor entre

$$\left( \frac{b_1}{t_{f1}} \right) \quad \left( \frac{b_2}{t_{f2}} \right)$$

Y

Escoge los valores que generen el mayor resultado asignando  $b_i, t_i$  respectivamente, luego:

$$\left(\frac{b_i}{t_i}\right) \leq \lambda_{rf} \quad \lambda_{rf} = \frac{285}{\sqrt{\frac{F_y}{0.763}}}$$

**SI SE CUMPLE:**

$$\left(\frac{b_i}{t_i}\right) \leq \lambda_{rf}$$

**ENTONCES CÁLCULO DE PANDEO FLECTOR**

**(1.6.4.A).**

**NO SE CUMPLE:**

$$\left(\frac{b_i}{t_i}\right) > \lambda_{rf}$$

**ENTONCES CÁLCULO DE PANDEO LOCAL, ELEMENTO ESBELTO (1.6.4.B).**

#### 1.6.4.A CÁLCULO DEL PANDEO FLECTOR.

##### 1.6.4.A.1 Cálculo del pandeo flector para el perfil cajón:

Este cálculo se realiza solo si se cumple la relación en el punto 1.6.4.

**Resistencia de diseño al pandeo flector para el perfil cajón =  $\phi_c * P_n$**

$$\phi_c = 0.85 \quad P_n = A_{Tg} * F_{cr}$$

$$\lambda_c = \left(\frac{K_i * L_i}{\pi * R_i}\right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$a) \text{ Para } \lambda_c \leq 1.5 \quad F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} * F_y$$

$$b) \text{ Para } \lambda_c > 1.5 \quad F_{cr} = \left[\frac{0.877}{\lambda_c^2}\right] * F_y$$

Los datos de entrada corresponden a las propiedades del perfil cajón.

##### 1.6.4.A.2 Cálculo del pandeo flector para los cuatro perfiles L individuales:

Este cálculo se realiza solo si se cumple la relación en el punto 1.6.4.

**Resistencia de diseño al pandeo flector para el conjunto de perfiles**

**individuales =  $4 * \phi_c * P_n$**

$$\phi_c = 0.85 \quad P_n = A_g * F_{cr}$$

$$\lambda_c = \left( \frac{k_i * l_i}{\pi * r_i} \right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

Los datos de entrada corresponden a las propiedades del perfil L.

a) Para  $\lambda_c \leq 1.5$   $F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_y$

b) Para  $\lambda_c > 1.5$   $F_{cr} = \left[ \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y$

Terminado este cálculo sigue la parte de resultados.

### 1.6.4.B CÁLCULO DE PANDEO LOCAL, ELEMENTOS ESBELTOS

#### 1.6.4.B.1 Cálculo del pandeo local para el perfil cajón:

Este cálculo se realiza solo si no se cumple la relación en el punto 1.6.4.

**Resistencia de diseño al pandeo local para el perfil cajón =  $\phi_c * F_{cr} * A_{Tg}$**

$$\phi_c = 0.85$$

$$\lambda_c = \left( \frac{K_i * L_i}{\pi * R_i} \right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

Los datos de entrada corresponden a las propiedades del perfil cajón.

a) Para  $\lambda_c \leq 1.5$   $F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_y$

b) Para  $\lambda_c > 1.5$   $F_{cr} = \left[ \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y$

$$Q = Q_s$$

#### Cálculo de $Q_s$

$$b_i = b ; t_i = t ; K_c = 0.763$$

$$\text{Cuando } \frac{286}{\sqrt{\frac{F_y}{K_c}}} < \frac{b}{t} < \frac{525}{\sqrt{\frac{F_y}{K_c}}} \Rightarrow Q_s = 1.415 - 0.00145 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{K_c}}$$

$$\text{Cuando } \frac{b}{t} \geq \frac{525}{\sqrt{\frac{F_y}{K_c}}} \Rightarrow Q_s = \frac{180650 K_c}{F_y \left( \frac{b}{t} \right)^2}$$

**1.6.4.B.2 Cálculo del pandeo local para los cuatro perfiles L individuales:**  
 Este cálculo se realiza solo si no se cumple la relación en el punto 1.6.4.

**Resistencia de diseño al pandeo local para el conjunto de perfiles individuales =  $4 * \phi_c * F_{cr} * A_g$**

$$\lambda_c = \left( \frac{k_i * l_i}{\pi * r_i} \right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad \phi_c = 0.85$$

El esfuerzo crítico  $F_{cr}$  se calculará de acuerdo con:

a) Para  $\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1.5 \Rightarrow F_{cr} = Q * \left( 0.658^{Q * \lambda_c^2} \right) * F_y$

Los datos de entrada corresponden a las propiedades del perfil L.

b) Para  $\lambda_c \sqrt{Q} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) * F_y$

$Q = Q_s$

**Cálculo de  $Q_s$**

Cuando  $\frac{200}{\sqrt{F_y}} < \left( \frac{b_i}{t_i} \right) < \frac{407}{\sqrt{F_y}} \Rightarrow Q_s = 1.34 - 0.0017 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{F_y}$

Cuando  $\frac{b_i}{t_i} \geq \frac{407}{\sqrt{F_y}} \Rightarrow Q_s = \frac{107000}{F_y \left( \frac{b}{t} \right)^2} ; b_i = b$   
 $t_i = t$

**1.6.4.C CHEQUEO DE PANDEO POR FLEJO – TORSIÓN Y TORSIONAL PARA EL PERFIL CAJÓN.**

Este cálculo se realiza solo si no se cumple la relación en el punto 1.6.4.

**Datos a introducir por el usuario:**

Constante de alabeo de la sección recta  $C_w$  [mm<sup>6</sup>] =

Constante de torsión de la sección recta  $J$  [mm<sup>4</sup>] =

$K_z$  = Coeficiente de longitud efectiva para pandeo torsional.

El software pregunta y el usuario escoge una de las 2 opciones:

EXISTE RESTRICCIÓN TOTAL AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 0.5$

NO EXISTE RESTRICCIÓN AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 1$

**Resistencia de diseño por pandeo flejo –torsión y torsional para el perfil cajón =  $\phi_c * P_n$**

$\phi_c = 0.85. \quad P_n = A_{Tg} * F_{cr}$

$$a) \text{ Para } \lambda_e \sqrt{Q} \leq 1.5 \Rightarrow F_{cr} = Q \cdot 0.658^{Q \lambda_e^2} F_y$$

$$b) \text{ Para } \lambda_e \sqrt{Q} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_e^2} \right) F_y$$

Los datos de entrada corresponden a las propiedades del perfil cajón.

$$\lambda_e = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

$$Q = Q_s$$

### Cálculo de Q<sub>s</sub>

$$b_i = b \quad ; \quad t_i = t$$

$$\text{Cuando } \frac{286}{\sqrt{\frac{F_y}{K_c}}} < \frac{b}{t} < \frac{525}{\sqrt{\frac{F_y}{K_c}}} \Rightarrow Q_s = 1.415 - 0.00145 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{K_c}}$$

$$\text{Cuando } \frac{b}{t} \geq \frac{525}{\sqrt{\frac{F_y}{K_c}}} \Rightarrow Q_s = \frac{180650 K_c}{F_y \left( \frac{b}{t} \right)^2} \quad K_c = 0.763$$

### Cálculo de F<sub>e</sub>

F<sub>e</sub> = Esfuerzo crítico elástico de pandeo torsional o flexotorsional, que se determina como sigue:

Si b<sub>1</sub> = b<sub>2</sub> y t<sub>1</sub> = t<sub>2</sub> entonces :

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

$$\overline{R_o^2} = X_o^2 + Y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_{Tg}} \quad H = 1 - \left( \frac{X_o^2 + Y_o^2}{\overline{R_o^2}} \right)$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K_x L_x}{R_x} \right)^2} \quad F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K_y L_y}{R_y} \right)^2}$$

$$F_{ez} = \left[ \frac{\pi^2 EC_w}{K_z L^2} + GJ \right] \left( \frac{1}{A_{Tg} R_o^2} \right) \quad L = L_i$$

**Si  $b_1$  no es =  $b_2$  o  $t_1$  no es =  $t_2$  entonces :**

Fe será la menor de las raíces reales de la siguiente ecuación cúbica:

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

#### 1.6.4.C.2 CHEQUEO DE PANDEO POR FLEJO – TORSIÓN Y TORSIONAL PARA LOS CUATRO PERFILES L INDIVIDUALES.

Este cálculo se realiza solo si no se cumple la relación en el punto 1.6.4.

**Datos a introducir por el usuario:**

Constante de alabeo de la sección recta para el perfil L  $C_w$  [mm<sup>6</sup>] =

Constante de torsión de la sección recta para el perfil L  $J$  [mm<sup>4</sup>] =

$K_z$  = Coeficiente de longitud efectiva para pandeo torsional, es igual al  $K_z$  del perfil cajón.

#### **Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional para el conjunto de perfiles individuales**

$$= 4 * \phi_c * P_n$$

$$\phi_c = 0.85. \quad P_n = A_g * F_{cr}$$

$$a) \text{ Para } \lambda_e \sqrt{Q} \leq 1.5 \Rightarrow F_{cr} = Q (0.658 Q \lambda_e^2) F_y$$

Los datos de entrada corresponden a las propiedades del perfil L.

$$b) \text{ Para } \lambda_e \sqrt{Q} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_e^2} \right) F_y$$

$$\lambda_e = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

$$Q = Q_s$$

$F_e$  = Esfuerzo crítico elástico de pandeo torsional o flexotorsional, que se determina como sigue:

**Si  $b_1 = b_2$  y  $t_1 = t_2$  entonces :**

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

$$\overline{r_o^2} = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g} \quad H = 1 - \left( \frac{x_o^2 + y_o^2}{r_o^2} \right)$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K_x L_x}{r_x} \right)^2} \quad F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K_y L_y}{r_y} \right)^2}$$

$$F_{ez} = \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{K_z L_z^2} + GJ \right] \left( \frac{1}{A r_o^2} \right) \quad \mathbf{A} = \mathbf{A}_g$$

$$\mathbf{L} = \mathbf{L}_i$$

**Si  $b_1$  no es =  $b_2$  o  $t_1$  no es =  $t_2$  entonces :**

Fe será la menor de las raíces reales de la siguiente ecuación cúbica:

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

Terminado este cálculo sigue la parte de resultados.

### 1.6.5 RESULTADOS

Los resultados son solo para diseño o solo para evaluación según haya escogido el usuario. El perfil es el mismo seleccionado en el punto 1.6.1

### RESULTADOS PARA DISEÑO

#### ◆ Resultados para Diseño. A

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.6.4.A.

**Resistencia de diseño al pandeo flector para el perfil cajón**      **Resistencia de diseño al pandeo flector para el conjunto perfiles individuales**  
 <=

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño al pandeo flector para el conjunto de perfiles individuales**      >=      Pu [N]

Si cumple entonces fin. Imprime dimensiones y Resistencia de diseño al pandeo flector para el conjunto de perfiles individuales [N].

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

◆ **Resultados para Diseño. B**

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.6.4.B.

**Resistencia de diseño al pandeo local para el perfil cajón**      **Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional para el perfil cajón.**  
≤

Si no cumple entonces cambiar el perfil.  
Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.  
Si cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño al pandeo local para el conjunto de perfiles individuales.**      **Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional para el conjunto de perfiles individuales**  
≤

Si no cumple entonces cambiar el perfil.  
Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor

Si cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional para el perfil cajón**      **Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional para el conjunto de perfiles individuales**  
≤

Si no cumple entonces cambiar el perfil.  
Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional para el conjunto de perfiles individuales**      **≥**       $P_u [N]$

Si cumple entonces fin. Imprime dimensiones y Resistencia de diseño por pandeo flexo- torsión y torsional para el conjunto de perfiles individuales [N].

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

## RESULTADOS PARA EVALUACIÓN.

### ◆ Resultados para Evaluación. A

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.6.4.A.

**Resistencia de diseño al pandeo**      **Resistencia de diseño al pandeo flector**

**flector para el perfil cajón =  $\phi_c * P_n$  <= para el conjunto de perfiles**

**individuales =  $4 * \phi_c * P_n$**

Si cumple entonces fin. imprime dimensiones y resistencia de diseño al pandeo flector para el conjunto de perfiles individuales [N]

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

### ◆ Resultados evaluación. B

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.6.4.B.

**Resistencia de diseño al pandeo local**  
**para el perfil cajón.**

**Resistencia de diseño por**  
**pandeo flexo –torsión y**  
**torsional para el perfil cajón.**

**<=**

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño al pandeo local para el**  
**conjunto de perfiles individuales.**

**Resistencia de diseño por**  
**<= pandeo flexo – torsión y**  
**torsional para el conjunto**  
**de perfiles individuales.**

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional para el perfil cajón.**  $\leq$  **Resistencia de diseño por flexo – torsión y torsional para el conjunto de perfiles individuales.**

Si esta desigualdad no se cumple entonces cambiar el perfil.

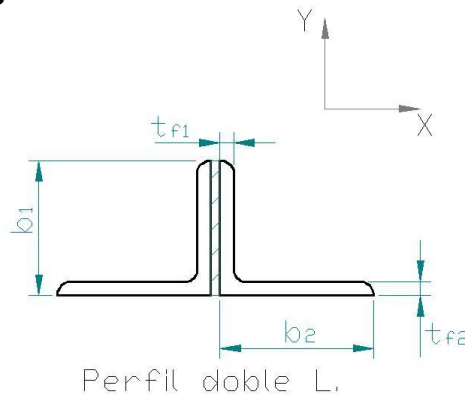
Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si esta desigualdad se cumple entonces:

Imprime dimensiones y Resistencia de diseño por pandeo flexo- torsión y torsional para el conjunto de perfiles individuales [N].

## 1.7 Perfil Doble Ángulo.



### 1.7.1.A Propiedades del perfil doble ángulo.

Longitud eje X,

$L_x$  [ mm ] =

Longitud eje y,

$L_y$  [ mm ] =

Área de la sección recta,

$A_{Tg}$  [ mm<sup>2</sup> ] =

Momento de inercia eje X,

$I_x$  [ mm<sup>4</sup> ] =

Momento de inercia eje Y,

$I_y$  [ mm<sup>4</sup> ] =

Radio de giro eje X,

$R_x$  [ mm ] =

Radio de giro eje Y,

$R_y$  [ mm ] =

Coordenada X del centro de corte

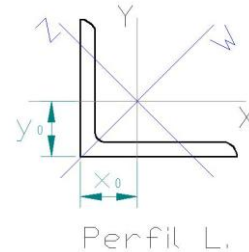
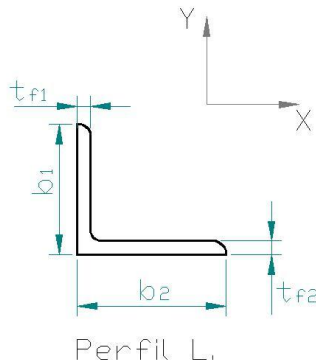
respecto al centroide de la sección recta,  $X_o$  [mm] =

Coordenada Y del centro de corte

respecto al centroide de la sección recta,  $Y_o$  [mm] =

Constante de torsión de la sección recta  $J$  [mm<sup>4</sup>] =

### 1.7.1.B Propiedades del perfil L individual.



- Longitud del perfil individual  $L_b$  [ mm ] =
- Área de la sección recta,  $A_g$  [ mm<sup>2</sup> ] =
- Ancho de la aleta,  $b_1$  [ mm ] =
- Espesor de la aleta,  $t_{f1}$  [ mm ] =
- Ancho de la aleta,  $b_2$  [ mm ] =
- Espesor de la aleta,  $t_{f2}$  [ mm ] =
- Momento de inercia eje X,  $I_x$  [ mm<sup>4</sup> ] =
- Momento de inercia eje Y,  $I_y$  [ mm<sup>4</sup> ] =
- Radio de giro eje X,  $r_x$  [ mm ] =
- Radio de giro eje Y,  $r_y$  [ mm ] =
- Radio de giro eje Z,  $r_z$  [ mm ] =
- Coordenada X del centro de corte respecto al centroide de la sección recta,  $x_o$  [ mm ] =
- Coordenada Y del centro de corte respecto al centroide de la sección recta,  $y_o$  [ mm ] =
- Constante de torsión de la sección recta  $J$  [ mm<sup>4</sup> ] =

### 1.7.2 Cálculo del coeficiente de longitud efectiva K.

Se determina el coeficiente de longitud efectiva K para las direcciones X, Y refiriéndose a la figura 1.

#### 1.7.3.1 Chequeo de esbeltez para el perfil doble L

$$\left( \frac{K_x * L_x}{R_x} \right) \leq 200$$

$$\left( \frac{K_y * L_y}{R_y} \right) \leq 200$$

**ESCOJO LOS VALORES QUE GENERAN EL MAYOR RESULTADO (se asigna  $K_i$ ,  $R_i$ ,  $L_i$ )**

#### 1.7.3.2 Chequeo de esbeltez para el perfil doble L

$$\left( \frac{K_x * L_b}{r_x} \right) \leq 200$$

$$\left( \frac{K_y * L_b}{r_y} \right) \leq 200$$

$$\left( \frac{K_x * L_b}{r_z} \right) \leq 200$$

$$\left( \frac{K_y * L_b}{r_z} \right) \leq 200$$

**ESCOJO LOS VALORES QUE GENERAN EL MAYOR RESULTADO (se asigna  $k_i, r_i$ )**

Si se cumple la relación de esbeltez en los seis chequeos entonces puede seguir al siguiente paso.

Si no se cumple la relación de esbeltez en alguno de los seis chequeos entonces escoger otro perfil con un radio de giro mayor o puede ubicar los conectores a una distancia  $L_b$  menor.

#### **1.7.4 Evaluación del perfil seleccionado**

##### **1.7.4.1 Para elementos no rigidizados (aletas)**

Entonces tomo el mayor valor entre

$$\left( \frac{b_1}{t_{f1}} \right) \quad \left( \frac{b_2}{t_{f2}} \right)$$

Escoge los valores que generen el mayor resultado asignando  $b_i, t_i$  respectivamente luego:

$$\left( \frac{b_i}{t_i} \right) \leq \lambda_{rf} \quad \lambda_{rf} = \frac{200}{\sqrt{F_y}}$$

**SI SE CUMPLE:**

$$\left( \frac{b_i}{t_i} \right) \leq \lambda_{rf}$$

**ENTONCES CÁLCULO DE PANDEO FLECTOR ( 1.7.4.A )**

**NO SE CUMPLE:**

$$\left(\frac{b_i}{t_i}\right) \leq \lambda_{rf} \quad \text{ENTONCES CÁLCULO DE PANDEO LOCAL, ELEMENTO ESBELTO ( 1.7.4.B )}$$

### 1.7.4.A CÁLCULO DEL PANDEO FLECTOR

#### 1.7.4.A.1 Cálculo del pandeo flector para el perfil doble ángulo:

Este cálculo se realiza solo si se cumple la relación en el punto 1.7.4.

#### Datos a introducir por el usuario:

Distancia entre centroides de los componentes individuales, medida perpendicularmente al eje de pandeo del miembro.  $h [ \text{mm} ] =$

Relación de esbeltez del miembro ensamblado actuando como una unidad.  $(K*L/r)_0 =$

Radio de giro de un componente individual con respecto a su eje centroidal, paralelo al eje de pandeo del miembro.  $r_{ib} =$

El software pregunta y el usuario escoge una de las 2 opciones:

- Los conectores intermedios están constituidos por pernos ajustados.
- Los conectores intermedios están constituidos por pernos totalmente tensionados o soldados.

**Resistencia de diseño al pandeo flector para el perfil doble ángulo =  $\phi_c * P_n$**

$$\phi_c = 0.85 \quad P_n = A_{Tg} * F_{cr}$$

Si el usuario escogió la opción a) entonces:

$$\lambda_{c\text{mod}} = \left(\frac{1}{\pi}\right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}} * \sqrt{\left(\frac{K * L}{r}\right)_0^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2}$$

**Los datos de entrada corresponden a las propiedades del perfil doble ángulo.**

Si el usuario escogió la opción b) entonces:

$$\lambda_{c\text{mod}} = \left(\frac{1}{\pi}\right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}} * \sqrt{\left(\frac{K * L}{r}\right)_0^2 + \frac{0.82 * \alpha^2}{1 + \alpha^2} * \left(\frac{a}{r_{ib}}\right)^2}$$

$$a' = \frac{3}{4} * \left( \frac{K_i * L_i}{R_i} \right) * r_i$$

**ESTE VALOR DE  $a'$ , SE APROXIMA AL MÚLTIPLO DE 5 INMEDIATAMENTE ANTERIOR Y ESE ES EL VALOR DE  $a$  QUE REMPLAZA EN LAS ECUACIONES.**

$a$  = distancia entre conectores

$\alpha$  = relación de separación =  $h / 2r_i$

a) Para  $\lambda_{c\text{mod}} \leq 1.5$   $F_{cr} = 0.658 \lambda_c^2 F_y$   $\lambda_c = \lambda_{c\text{mod}}$

b) Para  $\lambda_{c\text{mod}} > 1.5$   $F_{cr} = \left[ \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y$

#### 1.7.4.A.2 Cálculo del pandeo flector para los dos perfiles L individuales:

Este cálculo se realiza solo si se cumple la relación en el punto 1.7.4.

**Resistencia de diseño al pandeo flector para el conjunto de perfiles**

**individuales =  $2 * \phi_c * P_n$**

$$\phi_c = 0.85 \quad P_n = A_g * F_{cr}$$

$$\lambda_c = \left( \frac{K_i * L_b}{\pi * r_i} \right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

Los datos de entrada corresponden a las propiedades del perfil L.

a) Para  $\lambda_c \leq 1.5$   $F_{cr} = 0.658 \lambda_c^2 F_y$

b) Para  $\lambda_c > 1.5$   $F_{cr} = \left[ \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y$

#### 1.7.4.A.3 Cálculo de pandeo Flexo – torsor para el perfil doble ángulo.

Este cálculo se realiza solo si se cumple la relación en el punto 1.7.4.

**Resistencia de diseño pandeo flexo – torsor perfil doble ángulo =  $\phi_c P_n$**

$$\phi_c = 0.85 \quad P_n = A_{Tg} * F_{crft}$$

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

$$F_{\text{crz}} = \frac{GJ}{A_{Tg} * R_0^2}$$

$R_0$  = radio polar de giro respecto al centro de cortante  $R_0^2 = X_o^2 + Y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_{Tg}}$

$$H = 1 - \frac{X_o^2 + Y_o^2}{R_0^2}$$

$F_{\text{cry}}$  se determina considerando pandeo flector con respecto al eje Y (eje de simetría), con

$$\lambda_c = \left( \frac{K_y * L_y}{\pi * R_y} \right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

a) Para  $\lambda_c \leq 1.5$   $F_{\text{cry}} = 0.658 \lambda_c^2 F_y$

b) Para  $\lambda_c > 1.5$   $F_{\text{cry}} = \left[ \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y$

Los datos de entrada corresponden a las propiedades del perfil doble ángulo.

#### 1.7.4.A.4 Cálculo de pandeo Flexo – torsor para los dos perfiles L individuales.

Este cálculo se realiza solo si se cumple la relación en el punto 1.7.4.

#### Resistencia de diseño pandeo flexo - torsor para los dos perfiles L = 2 \* $\phi_c$ $P_n$

$$\phi_c = 0.85 \quad P_n = A_g F_{\text{crft}}$$

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

$$F_{\text{crz}} = \frac{GJ}{A_g \bar{r}_0^2}$$

$\bar{r}_0$  = radio polar de giro respecto al centro de cortante

$$\bar{r}_0^2 = \bar{x}_o^2 + \bar{y}_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g}$$

$$H = 1 - \frac{\bar{x}_o^2 + \bar{y}_o^2}{\bar{r}_0^2}$$

Los datos de entrada corresponden a las propiedades del perfil L.

$F_{cry}$  se determina considerando pandeo flector con respecto al eje Y (eje de simetría), con

$$\lambda_c = \left( \frac{K_y * L_b}{\pi * r_y} \right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

a) Para  $\lambda_c \leq 1.5$   $F_{cry} = 0.658^{\lambda_c^2} * F_y$

b) Para  $\lambda_c > 1.5$   $F_{cry} = \left[ \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y$

Terminado este cálculo sigue la parte de resultados.

### 1.7.4.B CÁLCULO DE PANDEO LOCAL, ELEMENTOS ESBELTOS

#### 1.7.4.B.1 Cálculo del pandeo local para el perfil doble ángulo:

Este cálculo se realiza solo si no se cumple la relación en el punto 1.7.4.

**Resistencia de diseño al pandeo local para el perfil doble ángulo =  $\phi_c * F_{cr} * A$**

Tg

$$\phi_c = 0.85$$

$\lambda_{cmod}$  = es el mismo calculado en el 2.7.4.A.1

El esfuerzo crítico  $F_{cr}$  se calculará de acuerdo con:

a) Para  $\lambda_{cmod} \leq 1.5 \Rightarrow F_{cr} = Q * 0.658^{\lambda_{cmod}^2} * F_y$

b) Para  $\lambda_{cmod} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_{cmod}^2} \right) * F_y \quad \lambda_c = \lambda_{cmod}$

$$Q = Q_s$$

#### Cálculo de $Q_s$

$$b_i = b \quad ; \quad t_i = t \quad ; \quad K_c = 0.763$$

$$\text{Cuando } \frac{286}{\sqrt{\frac{F_y}{K_c}}} < \frac{b}{t} < \frac{525}{\sqrt{\frac{F_y}{K_c}}} \Rightarrow Q_s = 1.415 - 0.00145 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{K_c}}$$

$$\text{Cuando } \frac{b}{t} \geq \frac{525}{\sqrt{\frac{F_y}{K_c}}} \Rightarrow Q_s = \frac{180650 K_c}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}$$

#### 1.7.4.B.2 Cálculo del pandeo local para los dos perfiles L individuales:

Este cálculo se realiza solo si no se cumple la relación en el punto 1.7.4.

#### Resistencia de diseño al pandeo local para el conjunto de perfiles individuales = 2 \* $\phi_c$ \* $F_{cr}$ \* $A_g$

$$\lambda_c = \left( \frac{K_i * L_b}{\pi * r_i} \right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad \phi_c = 0.85$$

El esfuerzo crítico  $F_{cr}$  se calculará de acuerdo con:

a) Para  $\lambda_c \sqrt{Q} \leq 1.5$   
 $F_{cr} = Q * \left( 0.658^{Q * \lambda_c^2} \right) * F_y$

⇒

**Los datos de entrada corresponden a las propiedades del perfil L.**

b) Para  $\lambda_c \sqrt{Q} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) * F_y$

**Q =  $Q_s$**

#### Cálculo de $Q_s$

$$\text{Cuando } \frac{200}{\sqrt{F_y}} < \left( \frac{b_i}{t_i} \right) < \frac{407}{\sqrt{F_y}} \Rightarrow Q_s = 0.0017 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{F_y}$$

$$\text{Cuando } \frac{b_i}{t_i} \geq \frac{407}{\sqrt{F_y}} \Rightarrow Q_s = \frac{107000}{F_y \left( \frac{b}{t} \right)^2} \quad \begin{matrix} b_i = b \\ t_i = t \end{matrix}$$

#### 1.7.4.C CHEQUEO DE PANDEO POR FLEJO – TORSIÓN Y TORSIONAL PARA EL PERFIL DOBLE L

Este cálculo se realiza solo si no se cumple la relación en el punto 1.7.4.

#### Datos a introducir por el usuario:

Constante de alabeo de la sección recta  $C_w$  [mm<sup>6</sup>] =

$K_z$  = Coeficiente de longitud efectiva para pandeo torsional.

El software pregunta y el usuario escoge una de las 2 opciones:  
 EXISTE RESTRICCIÓN TOTAL AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 0.5$   
 NO EXISTE RESTRICCIÓN AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 1$

**Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional para el perfil doble ángulo =  $\phi_c * P_n$**

$\phi_c = 0.85.$        $P_n = A_{Tg} * F_{cr}$

a) Para  $\lambda_e \sqrt{Q} \leq 1.5 \Rightarrow F_{cr} = Q \cdot 0.658^{Q \lambda_e^2} F_y$

b) Para  $\lambda_e \sqrt{Q} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_e^2} \right) F_y$

$\lambda_e = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$

Los datos de entrada corresponden a las propiedades del perfil doble ángulo.

$Q = Q_s$

**Cálculo de  $Q_s$**

$b_i = b$  ;  $t_i = t$  ;  $K_c = 0.763$

Cuando  $\frac{286}{\sqrt{\frac{F_y}{K_c}}} < \frac{b}{t} < \frac{525}{\sqrt{\frac{F_y}{K_c}}} \Rightarrow Q_s = 1.415 - 0.00145 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{K_c}}$

Cuando  $\frac{b}{t} \geq \frac{525}{\sqrt{\frac{F_y}{K_c}}} \Rightarrow Q_s = \frac{180650 K_c}{F_y \left( \frac{b}{t} \right)^2}$

**Cálculo de  $F_e$**

$F_e$  = Esfuerzo crítico elástico de pandeo torsional o flexotorsional, que se determina como sigue:

**Si  $b_1 = b_2$  y  $t_1 = t_2$  entonces:**

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

$$\overline{R_o^2} = X_o^2 + Y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A_{Tg}} \quad H = 1 - \left( \frac{X_o^2 + Y_o^2}{R_o^2} \right)$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K_x L_x}{R_x} \right)^2} \quad F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K_y L_y}{R_y} \right)^2}$$

$$F_{ez} = \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{K_z L^2} + GJ \right] \left( \frac{1}{A_{Tg} R_o^2} \right) \quad L = L_i$$

**Si  $b_1$  no es =  $b_2$  o  $t_1$  no es =  $t_2$  entonces :**

Fe será la menor de las raíces reales de la siguiente ecuación cúbica:

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

#### 1.7.4.C.2 CHEQUEO DE PANDEO POR FLEJO – TORSIÓN Y TORSIONAL PARA LOS DOS PERFILES L INDIVIDUALES.

Este cálculo se realiza solo si no se cumple la relación en el punto 1.7.4.

**Datos a introducir por el usuario:**

Constante de alabeo de la sección recta  $C_w$  [mm<sup>6</sup>] =

$K_z$  = Coeficiente de longitud efectiva para pandeo torsional.

El software pregunta y el usuario escoge una de las 2 opciones:

EXISTE RESTRICCIÓN TOTAL AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 0.5$

NO EXISTE RESTRICCIÓN AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 1$

**Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional para el conjunto de perfiles individuales =  $2 * \phi_c * P_n$**

$$\phi_c = 0.85. \quad P_n = A_g * F_{cr}$$

$$a) \text{ Para } \lambda_e \sqrt{Q} \leq 1.5 \quad \Rightarrow F_{cr} = Q \left( 0.658^{Q \lambda_e^2} \right) F_y$$

$$b) \text{ Para } \lambda_e \sqrt{Q} > 1.5 \quad \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_e^2} \right) F_y$$

$$\lambda_e = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

**Los datos de entrada corresponden a las propiedades del perfil L.**

$$Q = Q_s$$

$F_e$  = Esfuerzo crítico elástico de pandeo torsional o flexotorsional, que se determina como sigue:

**Si  $b_1 = b_2$  y  $t_1 = t_2$  entonces:**

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

$$\overline{r_o^2} = x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{A} \quad H = 1 - \left( \frac{x_o^2 + y_o^2}{\overline{r_o^2}} \right)$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K_x L_b}{r_x} \right)^2} \quad F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K_y L_b}{r_y} \right)^2}$$

$$F_{ez} = \left[ \frac{\pi^2 EC_w}{\left( \frac{K_z L}{r_z} \right)^2} + GJ \right] \left( \frac{1}{Ar_o^2} \right) ; \quad \mathbf{A} = \mathbf{A}_g$$

$$\mathbf{L} = \mathbf{L}_b$$

**Si  $b_1$  no es =  $b_2$  o  $t_1$  no es =  $t_2$  entonces :**

$F_e$  será la menor de las raíces reales de la siguiente ecuación cúbica:

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

Terminado este cálculo sigue la parte de resultados.

### 1.7.5 RESULTADOS

Los resultados son solo para diseño o solo para evaluación según haya escogido el usuario al inicio del proceso. El perfil es el mismo seleccionado en el punto 1.7.1

### RESULTADOS PARA DISEÑO

#### ◆ Resultados para Diseño. A

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.7.4.A.

**Resistencia de diseño al pandeo flector para el perfil doble ángulo**      **Resistencia de diseño pandeo < flexo – torsor perfil doble ángulo**

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño al pandeo flector para el conjunto de perfiles individuales**      **Resistencia de diseño pandeo <= flexo - torsor para los dos perfiles L**

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño al pandeo flexo-torso para el perfil doble ángulo**      **Resistencia de diseño al pandeo flexo-torsor para los dos perfiles L <=**

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño al pandeo flexo-torsor para los dos perfiles L**      **>= Pu [N]**

Si cumple entonces fin. Imprime dimensiones y Resistencia de diseño al pandeo flexo- torsor para los dos perfiles L [N].

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

#### ◆ **Resultados para Diseño. B**

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.7.4.B.

**Resistencia de diseño al pandeo local para el perfil doble ángulo**      **Resistencia de diseño por pandeo <= flexo –torsión y torsional para el perfil doble ángulo**

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño al pandeo local para el conjunto de perfiles individuales**  $\leq$  **Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional para el conjunto de perfiles individuales**

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional para el perfil doble ángulo**  $\leq$  **Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional para el conjunto de perfiles individuales**

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional para el conjunto de perfiles individuales**  $= 2 * \phi_c * P_n \geq P_u$  [N]

Si cumple entonces fin. Imprime dimensiones y Resistencia de diseño por pandeo flexo- torsión y torsional para el conjunto de perfiles individuales [N].

Si no cumple entonces cambiar el perfil

. Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

## **RESULTADOS PARA EVALUACIÓN.**

### **◆ Resultados para Evaluación. A**

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.7.4.A.

**Resistencia de diseño al pandeo flector para el perfil doble ángulo**      **Resistencia de diseño pandeo flexo – torsor perfil doble ángulo**  
**<=**

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño al pandeo flector para el conjunto de perfiles individuales**      **Resistencia de diseño pandeo flexo - torsor para los dos perfiles L**  
**<=**

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño al pandeo flexo-torsor perfil doble ángulo**      **Resistencia de diseño al pandeo flexo-torsor para los dos perfiles L**  
**<=**

Si cumple entonces fin. Imprime dimensiones y resistencia de diseño al pandeo flexo- torsor para los dos perfiles L [N]

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

#### ◆ **Resultados para Evaluación. B**

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos del punto 1.7.4.B

**Resistencia de diseño al pandeo local para el perfil doble ángulo**      **Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional para el perfil doble ángulo**  
**<=**

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño al pandeo local para el conjunto de perfiles individuales**      **Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional para el conjunto de perfiles individuales**  
**<=**

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si cumple entonces Compara:

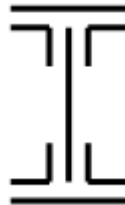
**Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional para el perfil doble ángulo**      **<=**      **Resistencia de diseño por pandeo flexo – torsión y torsional para el conjunto de perfiles individuales**

Si cumple entonces fin. Imprime dimensiones y Resistencia de diseño por pandeo flexo- torsión y torsional para el conjunto de perfiles individuales [N].

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

## 1.8 Sección Armada



### 1.8.1 Propiedades de la Sección Armada.

Longitud eje X,	$L_x [ mm ] =$
Longitud eje y,	$L_y [ mm ] =$
Área de la sección recta,	$A_{Tg} [ mm^2 ] =$
Momento de inercia eje X,	$I_x [ mm^4 ] =$
Momento de inercia eje Y,	$I_y [ mm^4 ] =$
Radio de giro eje X,	$R_x [ mm ] =$
Radio de giro eje Y,	$R_y [ mm ] =$

**El usuario introduce los datos manualmente**

### EL SOFTWARE PREGUNTA AL USUARIO:

Seleccione los perfiles que conforman la sección armada.

\*Perfil L.

\*Perfil C.

\*Platina.

### 1.8.1.A Propiedades del perfil L.

Longitud del perfil individual	$L_L [ mm ] =$
Área de la sección recta,	$A_g [ mm^2 ] =$
Ancho de la aleta,	$b_1 [ mm ] =$
Espesor de la aleta,	$t_{f1} [ mm ] =$
Ancho de la aleta,	$b_2 [ mm ] =$
Espesor de la aleta,	$t_{f2} [ mm ] =$
Momento de inercia eje X,	$I_x [ mm^4 ] =$
Momento de inercia eje Y,	$I_y [ mm^4 ] =$
Radio de giro eje X,	$r_x [ mm ] =$
Radio de giro eje Y,	$r_y [ mm ] =$
Radio de giro eje Z,	$r_z [ mm ] =$

### 1.8.1.B Propiedades del perfil C.

Longitud perfil individual	$L_C [ mm ] =$
Área de la sección recta,	$A_g [ mm^2 ] =$
Ancho de la aleta,	$b [ mm ] =$
Espesor de la aleta,	$t_f [ mm ] =$
Altura del alma,	$h [ mm ] =$
Espesor del alma,	$t_w [ mm ] =$
Momento de inercia eje X,	$I_x [ mm^4 ] =$
Momento de inercia eje Y,	$I_y [ mm^4 ] =$
Radio de giro eje X,	$r_x [ mm ] =$
Radio de giro eje Y,	$r_y [ mm ] =$

### 1.8.1.C Propiedades de la platina.

Longitud del perfil individual	$L_{pL} [ mm ] =$
Área de la sección recta,	$A_g [ mm^2 ] =$
Ancho de la aleta,	$b [ mm ] =$
Espesor de la aleta,	$t_f [ mm ] =$
Momento de inercia eje X,	$I_x [ mm^4 ] =$
Momento de inercia eje Y,	$I_y [ mm^4 ] =$
Radio de giro eje X,	$r_x [ mm ] =$
Radio de giro eje Y,	$r_y [ mm ] =$

### 1.8.2 Cálculo del coeficiente de longitud efectiva K.

Se determina el coeficiente de longitud efectiva K para las direcciones X, Y refiriéndose a la figura 1.

### 1.8.3 Chequeo de esbeltez para la Sección Armada

$$\left( \frac{K_x * L_x}{R_x} \right) \leq 200$$

$$\left( \frac{K_y * L_y}{R_y} \right) \leq 200$$

**ESCOJO LOS VALORES QUE GENERAN  
EL MAYOR RESULTADO (se asigna  $K_i$ ,  $R_i$ ,  $L_i$ )**

### 1.8.3.1 Chequeo de esbeltez para el perfil L

$$\left( \frac{K_x * L_L}{r_x} \right) \leq 200$$

$$\left( \frac{K_y * L_L}{r_y} \right) \leq 200$$

$$\left( \frac{K_x * L_L}{r_z} \right) \leq 200$$

**ESCOJO LOS VALORES QUE GENERAN  
EL MAYOR RESULTADO (se asigna  $k_i, r_i$ )**

$$\left( \frac{K_y * L_L}{r_z} \right) \leq 200$$

### 1.8.3.2 Chequeo de esbeltez para el perfil C

$$\left( \frac{K_x * L_C}{r''_x} \right) \leq 200$$

### 1.8.3.3 Chequeo de esbeltez para la platina

$$\left( \frac{K_x * L_{pL}}{r'_x} \right) \leq 200$$

$$\left( \frac{K_y * L_{pL}}{r'_y} \right) \leq 200$$

Si se cumple la relación de esbeltez en los chequeos correspondientes entonces puede seguir al siguiente paso.

Si no se cumple la relación de esbeltez en alguno de los chequeos entonces escoger otro perfil con un radio de giro mayor.

### 1.8.4 Evaluación del perfil seleccionado

**EL SOFTWARE PREGUNTA AL USUARIO: SELECCIONE EL TIPO DE PERFIL:**

- Compacto – No Compacto
- Esbelto

SI EL PERFIL ES COMPACTO – NO COMPACTO, ENTONCES CÁLCULO DE PANDEO FLECTOR (1.8.4.A)

SI EL PERFIL ES ESBELTO, ENTONCES CÁLCULO DE PANDEO LOCAL, ELEMENTO ESBELTO (1.8.4.B)

#### 1.8.4.A CÁLCULO DEL PANDEO FLECTOR

Este cálculo se realiza solo si se cumple la relación en el punto 1.8.4.

##### 1.8.4.1 Cálculo del pandeo flector para la Sección Armada:

###### Datos a introducir por el usuario:

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

$$h \text{ [ mm ]} =$$

Relación de esbeltez del miembro ensamblado actuando como una unidad.

$$(K*L/r)_0 =$$

Radio de giro de un componente individual con respecto a su eje centroidal, paralelo al eje de pandeo del miembro.

$$r_{ib} =$$

###### El software pregunta y el usuario escoge una de las 2 opciones:

- Los conectores intermedios están constituidos por pernos ajustados.
- Los conectores intermedios están constituidos por pernos totalmente tensionados o soldados.

###### Resistencia de diseño al pandeo flector para la Sección Armada = $\phi_c * P_n$

$$\phi_c = 0.85$$

$$P_n = A_{Tg} * F_{cr}$$

Si el usuario escogió la opción a) entonces:

$$\lambda_{c\text{mod}} = \left(\frac{1}{\pi}\right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}} * \sqrt{\left(\frac{K * L}{r}\right)_0^2 + \left(\frac{a}{r_i}\right)^2}$$

Los datos de entrada corresponden a las propiedades de la Sección Armada.

Si el usuario escogió la opción b) entonces:

$$\lambda_{c\text{mod}} = \left(\frac{1}{\pi}\right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}} * \sqrt{\left(\frac{K * L}{r}\right)_0^2 + \frac{0.82 * \alpha^2}{1 + \alpha^2} * \left(\frac{a}{r_{ib}}\right)^2}$$

$$L = L_i$$

$$a' = \frac{3}{4} * \left(\frac{K_i * L_i}{R_i}\right) * r_i$$

**ESTE VALOR DE  $a'$ , SE APROXIMA AL MÚLTIPLO DE 5 INMEDIATAMENTE ANTERIOR Y ESE ES EL VALOR DE  $a$  QUE REPLAZA EN LAS ECUACIONES.**

$a$  = distancia entre conectores

$\alpha$  = relación de separación =  $h / 2r_{ib}$

\* Para  $\lambda_{c\text{mod}} \leq 1.5$   $F_{cr} = 0.658 \lambda_c^2 F_y$   
 $\lambda_c = \lambda_{c\text{mod}}$

\* Para  $\lambda_{c\text{mod}} > 1.5$   $F_{cr} = \left[ \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right] F_y$

Terminado este cálculo sigue la parte de resultados.

### 1.8.4.B CÁLCULO DE PANDEO LOCAL, ELEMENTOS ESBELTOS

Este cálculo se realiza solo si no se cumple la relación en el punto 1.8.4.

#### 1.8.4.B.1 Cálculo del pandeo local para la Sección Armada:

EL SOFTWARE SOLICITA LOS SIGUIENTES VALORES:

\* Relación  $b/t$  para el perfil individual esbelto más crítico =

\* Valor de  $Q_a$  para la sección armada =

**Resistencia de diseño al pandeo local para la sección armada =  $\phi_c * F_{cr} * A_{Tg}$**

$\phi_c = 0.85$

$\lambda_{c\text{mod}}$  = es el mismo calculado en el numeral 1.8.4.1.

El esfuerzo crítico  $F_{cr}$  se calculará de acuerdo con:

\* Para  $\lambda_{c\text{mod}} \sqrt{Q} \leq 1.5 \Rightarrow F_{cr} = Q \cdot 0.658 \lambda_{c\text{mod}}^2 F_y$

\* Para  $\lambda_{c\text{mod}} \sqrt{Q} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_{c\text{mod}}^2} \right) F_y$

$Q = Q_s * Q_a$

#### Cálculo de $Q_s$

$K_c = 0.763$

Cuando  $\sqrt{\frac{286}{K_c} \frac{F_y}{t}} < \frac{b}{t} < \sqrt{\frac{525}{K_c} \frac{F_y}{t}} \Rightarrow Q_s = 1.415 - 0.00145 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{K_c}}$

$$\text{Cuando } \frac{b}{t} \geq \frac{525}{\sqrt{\frac{F_y}{K_c}}} \Rightarrow Q_s = \frac{180650 K_c}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}$$

### 1.8.4.B.2 CHEQUEO DE PANDEO POR FLEJO – TORSIÓN Y TORSIONAL PARA LA SECCIÓN ARMADA

#### Datos a introducir por el usuario:

$K_z$  = Coeficiente de longitud efectiva para pandeo torsional.

El software pregunta y el usuario escoge una de las 2 opciones:

EXISTE RESTRICCIÓN TOTAL AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 0.5$

NO EXISTE RESTRICCIÓN AL ALABEO EN LOS APOYOS:  $K_z = 1$

#### Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional para la Sección Armada = $\phi_c * P_n$

$$\phi_c = 0.85. \quad P_n = A_{Tg} * F_{cr}$$

$$* \text{ Para } \lambda_e \sqrt{Q} \leq 1.5 \Rightarrow F_{cr} = Q \left( 0.658^{Q \lambda_e^2} \right) F_y$$

$$* \text{ Para } \lambda_e \sqrt{Q} > 1.5 \Rightarrow F_{cr} = \left( \frac{0.877}{\lambda_e^2} \right) F_y$$

**LOS VALORES CORRESPONDIENTES A LA RELACIÓN b/t y Qa SON LOS MISMOS INTRODUCIDOS EN EL NUMERAL 1.8.4.B.1.**

$$\lambda_e = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

Los datos de entrada corresponden a las propiedades de la Sección Armada.

$$Q = Q_s * Q_a$$

#### Cálculo de $Q_s$

$$K_c = 0.763$$

$$\text{Cuando } \frac{286}{\sqrt{\frac{F_y}{K_c}}} < \frac{b}{t} < \frac{525}{\sqrt{\frac{F_y}{K_c}}} \Rightarrow Q_s = 1.415 - 0.00145 \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{K_c}}$$

$$\text{Cuando } \frac{b}{t} \geq \frac{525}{\sqrt{\frac{F_y}{K_c}}} \Rightarrow Q_s = \frac{180650 K_c}{F_y \left(\frac{b}{t}\right)^2}$$

### Cálculo de Fe

$F_e$  = Esfuerzo crítico elástico de pandeo torsional o flexotorsional, que se determina como sigue:

EL SOFTWARE PREGUNTA Y EL USUARIO ESCOGE UNA DE LAS SIGUIENTES 3 OPCIONES:

**EL TIPO DE SIMETRÍA PARA EL PERFIL ESBELTO MÁS CRÍTICO ES:**

- a- Doble
- b- Sencilla
- c- Asimétrico

**SI EL USUARIO ESCOGIÓ LA OPCIÓN a ENTONCES CÁLCULO DE  $F_e$**

Para perfiles doblemente simétricos:

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

**SI EL USUARIO ESCOGIÓ LA OPCIÓN b ENTONCES CÁLCULO DE  $F_e$**

Para perfiles con un solo eje de simetría:

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

**SI EL USUARIO ESCOGIÓ LA OPCIÓN c ENTONCES CÁLCULO DE  $F_e$**

Para perfiles asimétricos, el esfuerzo crítico elástico de pandeo flexo –torsional será la menor de las raíces de la siguiente ecuación cúbica:

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

**EL SOFTWARE PREGUNTA AL USUARIO:**

Seleccione el perfil individual esbelto más crítico:

- \*Perfil L.
- \*Perfil C.
- \*Platina.

**PARA EL PERFIL SELECCIONADO EL USUARIO DEBE INTRODUCIR LOS SIGUIENTES VALORES**

Coordenada X del centro de corte

respecto al centroide de la sección recta,  $X_o$  [mm] =

Coordenada Y del centro de corte

respecto al centroide de la sección recta,  $Y_o$  [mm] =

Constante de torsión de la sección recta  $J [\text{mm}^4] =$   
 Constante de alabeo de la sección recta  $C_w [\text{mm}^6] =$

**LAS ECUACIONES SIGUIENTES SE DESARROLLAN CON LOS DATOS CORRESPONDIENTES AL PERFIL ESBELTO MÁS CRÍTICO SELECCIONADO POR EL USUARIO.**

$$\frac{1}{R_o^2} = \frac{X_o^2 + Y_o^2}{A_{Tg}} + \frac{I_x + I_y}{A_{Tg} R_o^2} \quad H = 1 - \left( \frac{X_o^2 + Y_o^2}{R_o^2} \right)$$

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K_x * a}{R_x} \right)^2} \quad F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{K_y * a}{R_y} \right)^2}$$

$$F_{ez} = \left[ \frac{\pi^2 E C_w}{A_{Tg} * a^2} + GJ \right] \left( \frac{1}{A_{Tg} R_o^2} \right)$$

Terminado este cálculo sigue la parte de resultados.

### 1.8.5. RESULTADOS

Los resultados son solo para diseño o solo para evaluación según haya escogido el usuario al inicio del proceso. El perfil es el mismo seleccionado en el punto 1.8.1.

### RESULTADOS PARA DISEÑO

#### Resultados diseño. A

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos correspondientes al numeral 1.8.4.A.

**Resistencia de diseño al pandeo flector para la Sección Armada**  $\geq P_u [\text{N}]$

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.

Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si cumple entonces fin. Imprime dimensiones y Resistencia de diseño al pandeo flector para la sección armada[N].

### **Resultados diseño. B**

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos correspondientes al numeral 1.8.4.B.

**Resistencia de diseño al pandeo local para la Sección Armada**  $\leq$  **Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional para la Sección Armada**

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

Si cumple entonces Compara:

**Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional para la Sección Armada**  $\geq$  **Pu [N]**

Si cumple entonces fin. Imprime dimensiones y Resistencia de diseño por pandeo flexo- torsión y torsional para la sección Armada [N].

Si no cumple entonces cambiar el perfil.

Sugerencia: Elegir un perfil con área de sección recta mayor.  
Elegir un perfil con radio de giro mayor.

### **Resultados para Evaluación**

#### **Resultados evaluación. A**

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos correspondientes al numeral 1.8.4.A.

**Resistencia de diseño al pandeo flector para la Sección Armada**

Fin. Imprime dimensiones y Resistencia de diseño al pandeo flector para la sección Armada [N]

#### **Resultados evaluación. B**

Estos resultados aplican si el software viene de realizar los cálculos correspondientes al numeral 1.8.4.B.

**Resistencia de diseño al pandeo local para la Sección Armada**  $\leq$  **Resistencia de diseño por pandeo flexo –torsión y torsional para la Sección Armada**



Longitud de la columna 3.  $L_{C3} [mm]=$   
 Momento de inercia para la columna 3.  $I_{C3} [mm^4] =$   
 Longitud de la viga 1.  $L_{V1} [mm]=$   
 Momento de inercia para la viga 1.  $I_{V1} [mm^4] =$   
 Longitud de la viga 2.  $L_{V2} [mm]=$   
 Momento de inercia para la viga 2.  $I_{V2} [mm^4] =$   
 Longitud de la viga 3.  $L_{V3} [mm]=$   
 Momento de inercia para la viga 3.  $I_{V3} [mm^4] =$   
 Longitud de la viga 4.  $L_{V4} [mm]=$   
 Momento de inercia para la viga 4.  $I_{V4} [mm^4] =$   
 El software pregunta y el usuario escoge una de las 2 opciones:  
 a) Columnas de pórticos indesplazables.  
 b) Columnas de pórticos desplazables.

**Si escogió la opción a) entonces determino:**

$$K_1 = 0,7 + 0,05 (\varphi_A + \varphi_B) \leq 1$$

$$K_2 = 0,85 + 0,05 (\varphi_{\min}) \leq 1$$

Si se cumple la desigualdad puede seguir al siguiente paso.

Si no cumple la desigualdad entonces escoger otro perfil.

Se asigna  $K_X$  al menor valor entre  $K_1$  y  $K_2$ .

$$\varphi_A = \frac{\frac{(I_{C1} + I_{C2})}{(L_{C1} + L_{C2})}}{\frac{(I_{V1} + I_{V2})}{(L_{V1} + L_{V2})}}$$

$$\varphi_B = \frac{\frac{(I_{C3} + I_{C2})}{(L_{C3} + L_{C2})}}{\frac{(I_{V3} + I_{V4})}{(L_{V3} + L_{V4})}}$$

$\varphi_{\min}$  = al menor entre  $\varphi_A$  y  $\varphi_B$

**Si escogió la opción b) entonces:**

$$\varphi_{\text{prom}} = (\varphi_A + \varphi_B)/2$$

$$\text{Si } \varphi_{\text{prom}} < 2 \text{ entonces } K = \frac{(20 - \varphi_{\text{prom}})}{20} \sqrt{1 + \varphi_{\text{prom}}}$$

$$\text{Si } \varphi_{\text{prom}} \geq 2 \text{ entonces } K = 0,9 * \sqrt{1 + \varphi_{\text{prom}}}$$

Se asigna  $K_X$  al valor de K encontrado.

**EN LA DIRECCIÓN Y.**

**Datos a introducir por el usuario corresponden al eje y:**

Longitud de la columna 1.  $L_{C1} [mm]=$

Momento de inercia para la columna 1.  $I_{c1} [mm^4] =$   
 Longitud de la columna 2.  $L_{c2} [mm] =$   
 Momento de inercia para la columna 2.  $I_{c2} [mm^4] =$   
 Longitud de la columna 3.  $L_{c3} [mm] =$   
 Momento de inercia para la columna 3.  $I_{c3} [mm^4] =$   
 Longitud de la viga 1.  $L_{v1} [mm] =$   
 Momento de inercia para la viga 1.  $I_{v1} [mm^4] =$   
 Longitud de la viga 2.  $L_{v2} [mm] =$   
 Momento de inercia para la viga 2.  $I_{v2} [mm^4] =$   
 Longitud de la viga 3.  $L_{v3} [mm] =$   
 Momento de inercia para la viga 3.  $I_{v3} [mm^4] =$   
 Longitud de la viga 4.  $L_{v4} [mm] =$   
 Momento de inercia para la viga 4.  $I_{v4} [mm^4] =$   
 El software pregunta y el usuario escoge una de las 2 opciones:  
 a) Columnas de pórticos indesplazables.  
 b) Columnas de pórticos desplazables.

**Si escogió la opción a) entonces determino:**

$$K_1 = 0,7 + 0,05 (\varphi_A + \varphi_B) \leq 1$$

$$K_2 = 0,85 + 0,05 (\varphi_{\min}) \leq 1$$

Si se cumple la desigualdad puede seguir al siguiente paso.

Si no cumple la desigualdad entonces escoger otro perfil.

Se asigna  $K_Y$  al menor valor entre  $K_1$  y  $K_2$ .

$$\varphi_A = \frac{\frac{(I_{c1} + I_{c2})}{(L_{c1} + L_{c2})}}{\frac{(I_{v1} + I_{v2})}{(L_{v1} + L_{v2})}}$$

$$\varphi_B = \frac{\frac{(I_{c3} + I_{c2})}{(L_{c3} + L_{c2})}}{\frac{(I_{v3} + I_{v4})}{(L_{v3} + L_{v4})}}$$

$\varphi_{\min}$  = al menor entre  $\varphi_A$  y  $\varphi_B$

**Si escogió la opción b) entonces:**

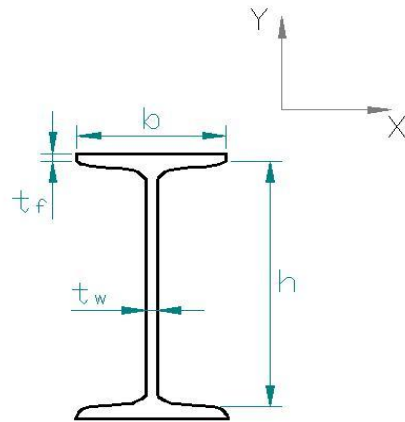
$$\varphi_{\text{prom}} = (\varphi_A + \varphi_B) / 2$$

$$\text{Si } \varphi_{\text{prom}} < 2 \text{ entonces } K = \frac{(20 - \varphi_{\text{prom}})}{20} \sqrt{1 + \varphi_{\text{prom}}}$$

$$\text{Si } \varphi_{\text{prom}} \geq 2 \text{ entonces } K = 0,9 * \sqrt{1 + \varphi_{\text{prom}}}$$

Se asigna  $K_Y$  al valor de  $K$  encontrado.

## 2.1 Perfil W, S, H.



Perfil W, S, H.

### 2.1.1 Propiedades del perfil seleccionado.

Las propiedades del perfil son las mismas presentadas en el Anexo 1, numeral 1.1.1.

### 2.1.2 Cálculo del coeficiente de longitud efectiva K.

Se determina el coeficiente de longitud efectiva K para las direcciones X, Y refiriéndose a la figura 2.

### 2.1.3 Chequeo de esbeltez.

Se realiza el mismo procedimiento presentado en el Anexo 1, numeral 1.1.3.

### 2.1.4 Evaluación del perfil seleccionado.

Se desarrolla el mismo análisis presentado en el Anexo 1, numeral 1.1.4.

## 2.1.5 RESULTADOS

Los resultados son solo para diseño o solo para evaluación según haya escogido el usuario al inicio del proceso. El perfil es el mismo seleccionado en el punto 2.1.1.

### RESULTADOS PARA DISEÑO.

#### 2.1.5.1 Efectos de segundo orden

El software pregunta y el usuario escoge una de las 2 opciones:

- Columnas de pórticos arriostrados.
- Columnas de pórticos no arriostrados.

#### Si escogió la opción a) entonces:

$$P_u \leq 0,85 * \phi_c * A_g * F_y$$

$$\phi_c = 0.85$$

Si se cumple la desigualdad puede seguir al siguiente paso.

Si no cumple la desigualdad entonces escoger otro perfil.

Avanza hacia los resultados de diseño.

**Si escogió la opción b) entonces:**

$$P_u \leq 0,75 * \phi_c * A_g * F_y$$

$$\phi_c = 0.85$$

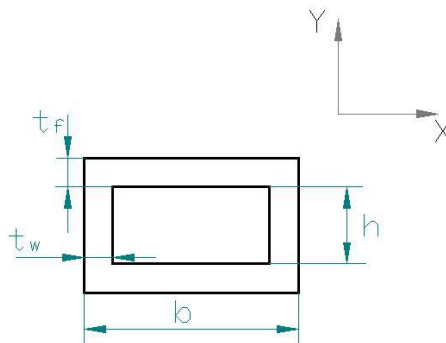
Si se cumple la desigualdad puede seguir al siguiente paso.

Si no cumple la desigualdad entonces escoger otro perfil.

Avanza hacia los resultados de diseño.

Luego de considerar los Efectos de Segundo orden los resultados para **Diseño** y para **Evaluación** se analizan igual a los presentados en el Anexo 1, numeral 1.1.5.

**2.2 Perfil Tubular Rectangular.**



Perfil Tubular rectangular.

**2.2.1 Propiedades del perfil seleccionado.**

Las propiedades del perfil son las mismas presentadas en el Anexo 1, numeral 1.2.1.

**2.2.2 Cálculo del coeficiente de longitud efectiva K.**

Se determina el coeficiente de longitud efectiva K para las direcciones X, Y refiriéndose a la figura 2.

**2.2.3 Chequeo de esbeltez.**

Se realiza el mismo procedimiento presentado en el Anexo 1, numeral 1.2.3.

**2.2.4 Evaluación del perfil seleccionado.**

Se desarrolla el mismo análisis presentado en el Anexo 1, numeral 1.2.4.

**2.2.5 RESULTADOS**

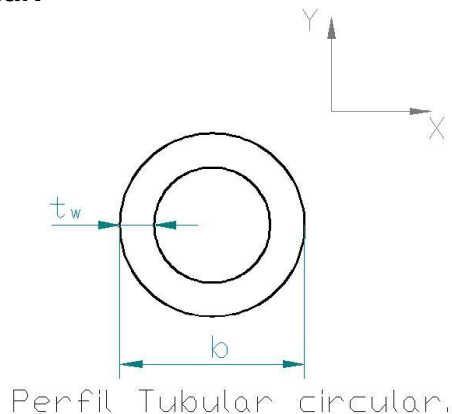
Los resultados son solo para diseño o solo para evaluación según haya escogido el usuario al inicio del proceso. El perfil es el mismo seleccionado en el punto 2.2.1.

## RESULTADOS PARA DISEÑO.

Los efectos de segundo orden se desarrollan de igual manera a la presentada en el Anexo 2, numeral 2.1.5.1.

Luego de considerar los Efectos de Segundo orden los resultados para **Diseño** y para **Evaluación** se analizan igual a los presentados en el Anexo 1, numeral 1.2.5.

### 2.3 Perfil Tubular Circular.



#### 2.3.1 Propiedades del perfil seleccionado.

Las propiedades del perfil son las mismas presentadas en el Anexo 1, numeral 1.3.1.

#### 2.3.2 Cálculo del coeficiente de longitud efectiva K.

Se determina el coeficiente de longitud efectiva K para las direcciones X, Y refiriéndose a la figura 2.

#### 2.3.3 Chequeo de esbeltez.

Se realiza el mismo procedimiento presentado en el Anexo 1, numeral 1.3.3.

#### 2.3.4 Evaluación del perfil seleccionado.

Se desarrolla el mismo análisis presentado en el Anexo 1, numeral 1.3.4.

#### 2.3.5 RESULTADOS

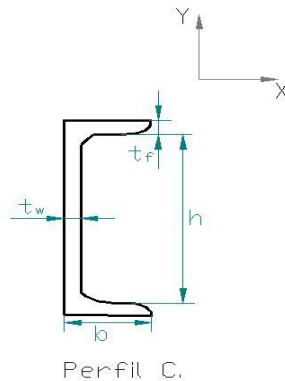
Los resultados son solo para diseño o solo para evaluación según haya escogido el usuario al inicio del proceso. El perfil es el mismo seleccionado en el punto 2.3.1.

## RESULTADOS PARA DISEÑO.

Los efectos de segundo orden se desarrollan de igual manera a la presentada en el Anexo 2, numeral 2.1.5.1.

Luego de considerar los Efectos de Segundo orden los resultados para **Diseño** y para **Evaluación** se analizan igual a los presentados en el Anexo 1, numeral 1.3.5.

## 2.4 Perfil C.



### 2.4.1 Propiedades del perfil seleccionado.

Las propiedades del perfil son las mismas presentadas en el Anexo 1, numeral 1.4.1.

### 2.4.2 Cálculo del coeficiente de longitud efectiva K.

Se determina el coeficiente de longitud efectiva K para las direcciones X, Y refiriéndose a la figura 2.

### 2.4.3 Chequeo de esbeltez.

Se realiza el mismo procedimiento presentado en el Anexo 1, numeral 1.4.3.

### 2.4.4 Evaluación del perfil seleccionado.

Se desarrolla el mismo análisis presentado en el Anexo 1, numeral 1.4.4.

## 2.3.5 RESULTADOS

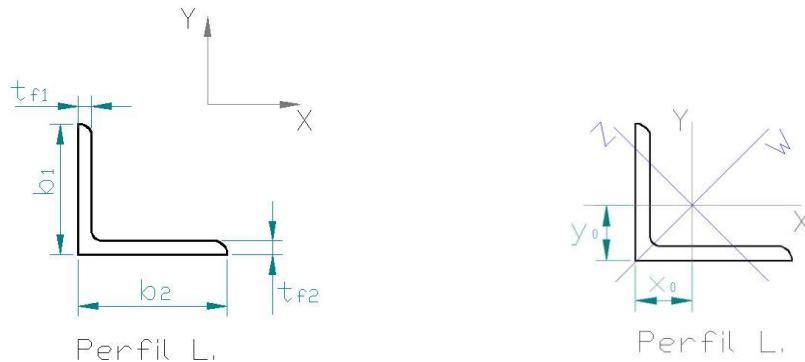
Los resultados son solo para diseño o solo para evaluación según haya escogido el usuario al inicio del proceso. El perfil es el mismo seleccionado en el punto 2.4.1.

### RESULTADOS PARA DISEÑO.

Los efectos de segundo orden se desarrollan de igual manera a la presentada en el Anexo 2, numeral 2.1.5.1.

Luego de considerar los Efectos de Segundo orden los resultados para **Diseño** y para **Evaluación** se analizan igual a los presentados en el Anexo 1, numeral 1.4.5.

## 2.5 Perfil L.



### 2.5.1 Propiedades del perfil seleccionado.

Las propiedades del perfil son las mismas presentadas en el Anexo 1, numeral 1.5.1.

### 2.5.2 Cálculo del coeficiente de longitud efectiva K.

Se determina el coeficiente de longitud efectiva K para las direcciones X, Y refiriéndose a la figura 2.

### 2.5.3 Chequeo de esbeltez.

Se realiza el mismo procedimiento presentado en el Anexo 1, numeral 1.5.3.

### 2.5.4 Evaluación del perfil seleccionado.

Se desarrolla el mismo análisis presentado en el Anexo 1, numeral 1.5.4.

### 2.5.5 RESULTADOS

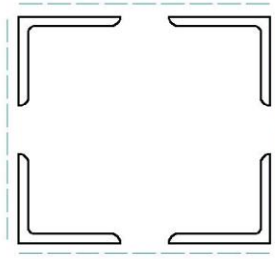
Los resultados son solo para diseño o solo para evaluación según haya escogido el usuario al inicio del proceso. El perfil es el mismo seleccionado en el punto 2.5.1.

### RESULTADOS PARA DISEÑO.

Los efectos de segundo orden se desarrollan de igual manera a la presentada en el Anexo 2, numeral 2.1.5.1.

Luego de considerar los Efectos de Segundo orden los resultados para **Diseño** y para **Evaluación** se analizan igual a los presentados en el Anexo 1, numeral 1.5.5.

## 2.6 Perfil Cajón.



Perfil Cajón.

### 2.6.1 Propiedades del perfil seleccionado.

Las propiedades del perfil son las mismas presentadas en el Anexo 1, numeral 1.6.1.

### 2.6.2 Cálculo del coeficiente de longitud efectiva K.

Se determina el coeficiente de longitud efectiva K para las direcciones X, Y refiriéndose a la figura 2.

### 2.6.3 Chequeo de esbeltez.

Se realiza el mismo procedimiento presentado en el Anexo 1, numeral 1.6.3.

### 2.6.4 Evaluación del perfil seleccionado.

Se desarrolla el mismo análisis presentado en el Anexo 1, numeral 1.6.4.

### 2.6.5 RESULTADOS

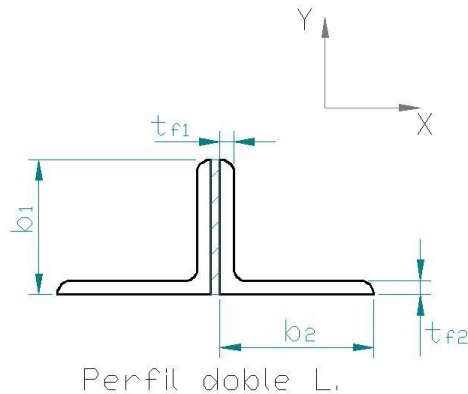
Los resultados son solo para diseño o solo para evaluación según haya escogido el usuario al inicio del proceso. El perfil es el mismo seleccionado en el punto 2.6.1.

#### RESULTADOS PARA DISEÑO.

Los efectos de segundo orden se desarrollan de igual manera a la presentada en el Anexo 2, numeral 2.1.5.1.

Luego de considerar los Efectos de Segundo orden los resultados para **Diseño** y para **Evaluación** se analizan igual a los presentados en el Anexo 1, numeral 1.6.6.

## 2.7 Perfil Doble Ángulo.



### 2.7.1 Propiedades del perfil seleccionado.

Las propiedades del perfil son las mismas presentadas en el Anexo 1, numeral 1.7.1.

### 2.7.2 Cálculo del coeficiente de longitud efectiva K.

Se determina el coeficiente de longitud efectiva K para las direcciones X, Y refiriéndose a la figura 2.

### 2.7.3 Chequeo de esbeltez.

Se realiza el mismo procedimiento presentado en el Anexo 1, numeral 1.7.3.

### 2.7.4 Evaluación del perfil seleccionado.

Se desarrolla el mismo análisis presentado en el Anexo 1, numeral 1.7.4.

### 2.7.5 RESULTADOS

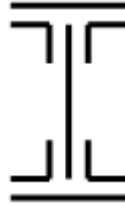
Los resultados son solo para diseño o solo para evaluación según haya escogido el usuario al inicio del proceso. El perfil es el mismo seleccionado en el punto 2.7.1.

### RESULTADOS PARA DISEÑO.

Los efectos de segundo orden se desarrollan de igual manera a la presentada en el Anexo 2, numeral 2.1.5.1.

Luego de considerar los Efectos de Segundo orden los resultados para **Diseño** y para **Evaluación** se analizan igual a los presentados en el Anexo 1, numeral 1.7.6.

## 2.8 Sección Armada



### 2.8.1 Propiedades del perfil seleccionado.

Las propiedades del perfil son las mismas presentadas en el Anexo 1, numeral 1.8.1.

### 2.8.2 Cálculo del coeficiente de longitud efectiva K.

Se determina el coeficiente de longitud efectiva K para las direcciones X, Y refiriéndose a la figura 2.

### 2.8.3 Chequeo de esbeltez.

Se realiza el mismo procedimiento presentado en el Anexo 1, numeral 1.8.3.

### 2.8.4 Evaluación del perfil seleccionado.

Se desarrolla el mismo análisis presentado en el Anexo 1, numeral 1.8.4.

### 2.8.5 RESULTADOS

Los resultados son solo para diseño o solo para evaluación según haya escogido el usuario al inicio del proceso. El perfil es el mismo seleccionado en el punto 2.8.1.

#### RESULTADOS PARA DISEÑO.

Los efectos de segundo orden se desarrollan de igual manera a la presentada en el Anexo 2, numeral 2.1.5.1.

Luego de considerar los Efectos de Segundo orden los resultados para **Diseño** y para **Evaluación** se analizan igual a los presentados en el Anexo 1, numeral 1.8.6.