



**UNIVERSIDAD  
DE ANTIOQUIA**

Apoyo técnico en el prediseño y supervisión de  
instalaciones de elementos estructurales  
metálicos para la empresa Estructuras y  
Proyectos JV SAS

Autor(es)  
David Vanegas Ramírez

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Escuela ambiental  
Medellín, Colombia  
2020



Apoyo técnico en el prediseño y supervisión de instalaciones de elementos estructurales metálicos para la empresa Estructuras y Proyectos JV SAS

David Vanegas Ramírez

Informe de práctica  
como requisito para optar al título de:  
Ingeniero civil.

Asesores

Álvaro José Mattos Olivella, Ingeniero Civil  
Juan Guillermo Velásquez Ramírez, Ingeniero Mecánico

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería, Escuela ambiental.  
Medellín, Colombia  
2020

## Tabla de contenido

1	Listado de tablas.....	4
2	Listado de figuras.....	4
3	Resumen.....	6
4	Introducción.....	7
5	Planteamiento del problema.....	8
6	Objetivos.....	9
6.1	Objetivo general:.....	9
6.2	Objetivos específicos:.....	9
7	Marco Teórico.....	10
7.1	Lenguaje de programación en VBA:.....	10
7.2	Metodologías de diseño de elementos estructurales de acero:.....	12
7.3	Fabricación y montaje de estructuras metálicas:.....	26
8	Metodología.....	29
8.1	Lenguaje de programación VBA y Excel avanzado:.....	29
8.2	Consulta de metodologías de diseño.....	29
8.3	Desarrollo de código en VBA.....	29
8.4	Presentación de plano esquemático de cotización:.....	50
8.5	Procedimiento de supervisión en fabricación y montaje de estructuras de acero:.....	50
9	Caso de estudio.....	51
10	Resultados.....	53
10.1	Aplicación del programa de diseño:.....	53
10.2	Procedimiento de supervisión de fabricación y montaje de estructura.....	59
11	Discusión de resultados.....	61
12	Conclusiones.....	66
13	Referencias Bibliográficas.....	67
14	Anexos.....	67

## 1 Listado de tablas

Tabla 1. Valores límite para clasificación de tipo de sección a flexión. (AIS, 2010b)

Tabla 2. Estados límite aplicados a cada sección. (AIS, 2010b)

Tabla 3. Deflexiones límite (AIS, 2010b)

Tabla 4. Valores límite para la selección del tipo de sección. (AISC, 2016)

Tabla 5. Selección de los estados límite a aplicar. (AISC, 2016)

## 2 Listado de figuras

Figura 1. Alabeo en soldadura. (H. Rodríguez, 2020)

Figura 2. Falla de alineación en soldadura. (H. Rodríguez, 2020)

Figura 3. Mordeduras en soldadura. (H. Rodríguez, 2020)

Figura 4. descuelgues en soldadura. (H. Rodríguez, 2020)

Figura 5. grietas en soldadura. (H. Rodríguez, 2020)

Figura 6. Holgura en columnas 2. (Ministerio de Fomento, 2008)

Figura 7. Holgura en columnas. (Ministerio de Fomento, 2008)

Figura 8. Flecha máxima en vigas. (Ministerio de Fomento, 2008)

Figura 9. Excentricidad máxima en apoyo. (Ministerio de Fomento, 2008)

Figura 10. Excentricidad máxima en placa base. (Ministerio de Fomento, 2008)

Figura 11. Interfaz de inicio en VBA

Figura 12. Interfaz de usuario para el diseño de vigas en VBA.

Figura 13. Diagrama para escoger los tipos de apoyos.

Figura 14. Esquema para la consulta del perfil mediante el comando Ayuda.

Figura 15. Diagrama para la clasificación del tipo de perfil según su sección

Figura 16. Diagrama para el cálculo de la carga total sobre el perfil

Figura 17. Diagrama de ayuda en el ingreso de valores

Figura 18. Diagrama de ayuda para profundizar en los términos  $L_b$  y  $L_p$ .

Figura 19. Diagrama para el diseño del elemento por flexión.

Figura 20. Esquema de ayuda para profundizar en las ecuaciones utilizadas

Figura 21. Diagrama para el diseño de elementos por cortante.

Figura 22. Diagrama para la guía al usuario sobre las ecuaciones utilizadas.

Figura 23. Diagrama para la verificación de las deflexiones límite.

Figura 24. Interfaz de usuario para el diseño de columnas en VBA.

Figura 25. Diagrama para el cálculo de la carga total.

Figura 26. Diagrama para la ayuda en el ingreso de valores de carga.

Figura 27. Diagrama para la ayuda y el ingreso del factor de longitud efectiva.

Figura 28. Diagrama para la clasificación del perfil según su sección

Figura 29. Diagrama para el diseño de elementos a compresión.

Figura 30. Interfaz de usuario para el diseño de placas base en VBA.

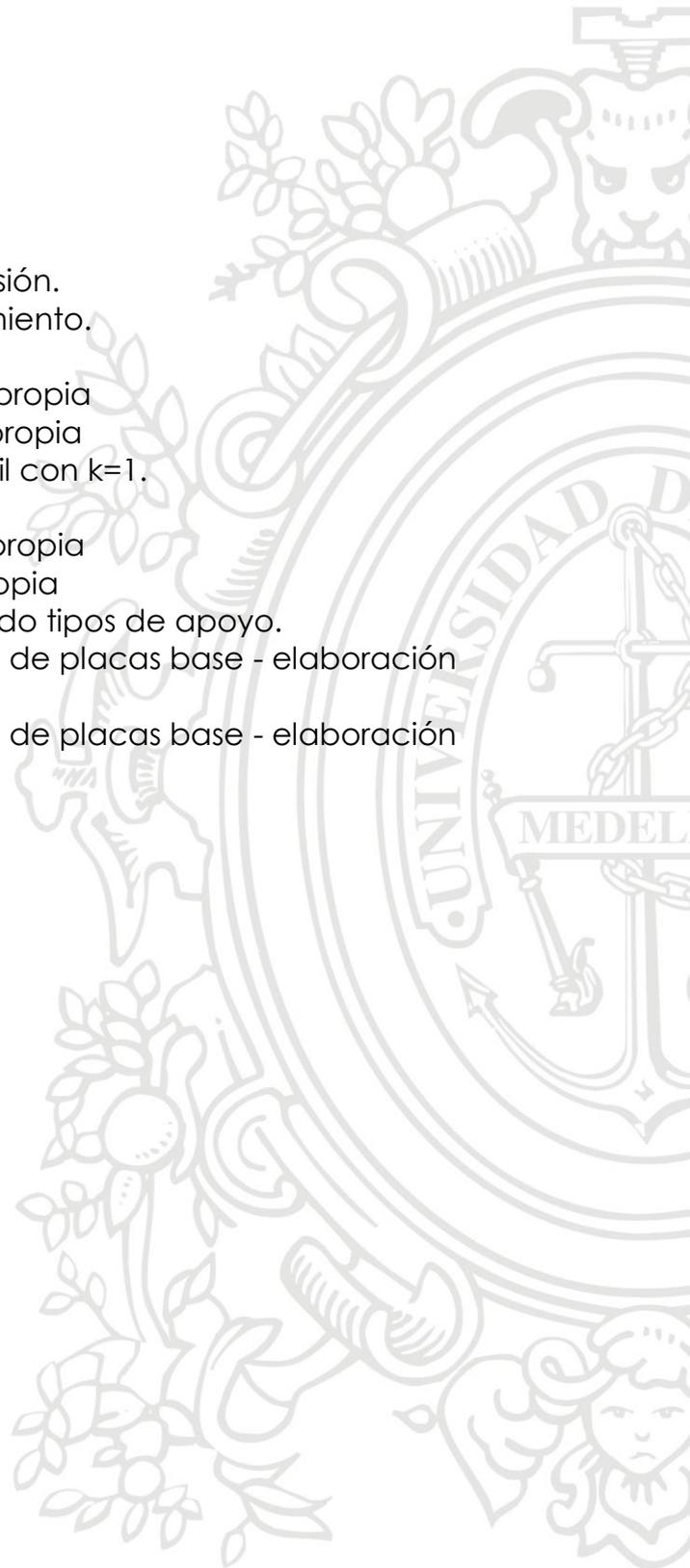
Figura 31. Diagrama para la verificación del área mínima de la placa base.

Figura 32. Diagrama para el cálculo del espesor mínimo de la placa base.

Figura 33. Registro fotográfico de la visita inicial a la bodega existente.

Figura 34. Detalle vigas típicas de cercha - Elaboración propia.

- Figura 35. Isométrico estructura metálica nueva - Elaboración propia.
- Figura 36. Detalles generales – Elaboración propia.
- Figura 37. Apoyos para la viga W16x26.
- Figura 38. Perfil y clasificación del perfil.
- Figura 39. Combinación de carga.
- Figura 40. Cumplimiento por flexión.
- Figura 41. Cumplimiento por cortante.
- Figura 42. Deflexión límite
- Figura 43. Combinación de carga.
- Figura 44. Metodología de diseño.
- Figura 45. Cumplimiento del perfil a compresión.
- Figura 46. Verificación de área por aplastamiento.
- Figura 47. Espesor mínimo requerido.
- Figura 48. Columna con  $k=0,5$ - elaboración propia
- Figura 49. Columna con  $K=1$  – elaboración propia
- Figura 50. Diseño de columna sobre eje débil con  $k=1$ .
- Figura 51. Solicitud por flexión con  $L_b=L=6m$ .
- Figura 52. Viga con  $L_b=1,5 m$  - Elaboración propia
- Figura 53. Viga con  $L_b=6 m$  - Elaboración propia
- Figura 54. Evaluación de deflexión cambiando tipos de apoyo.
- Figura 55. Áreas de consideración en diseño de placas base - elaboración propia.
- Figura 56. Áreas de consideración en diseño de placas base - elaboración propia



# APOYO TÉCNICO EN EL PREDISEÑO Y SUPERVISIÓN DE INSTALACIONES DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES METÁLICOS PARA LA EMPRESA ESTRUCTURAS Y PROYECTOS JV SAS

---

## 3 Resumen

En este trabajo se han desarrollado tres herramientas que contribuyeron a la mejora de la fase prediseño y cotización, y mejora de la fase de fabricación y montaje de estructuras metálicas de acero.

Se implementó un programa para el chequeo de la resistencia de los principales elementos que conforman las estructuras de acero que cotiza y/o construye la empresa Estructuras y Proyectos JV SAS. El algoritmo se desarrolló en visual basic for applications (VBA), asociado a diferentes controles de formulario de un libro de MS Excel, para el diseño de vigas y columnas de acero estructural y para el diseño de placas base, este código se creó en base a lo especificado en la AISC 360-16 (American institute of Steel Construcción) y en el título F de la norma colombiana de diseño de estructuras sismo resistentes NSR-10. El código se aplicó a la construcción de una cubierta en estructura metálica de una bodega en el centro de Medellín, Antioquia. Con resultados satisfactorios, se pudo verificar el cumplimiento por servicio y resistencia de las vigas y columnas, para las cuales se definió un perfil tipo W16x26 y se verificó la placa base en lámina de acero de dimensiones 400 mm x 600 mm y de  $\frac{3}{4}$ " de espesor. Se comprobó la importancia del uso de esta herramienta por parte de la empresa en cada una de sus construcciones, no solo para chequear los elementos estructurales, sino para establecer fases de construcción por módulos rígidos que garanticen la estabilidad de una estructura durante el proceso.

También se propuso la presentación de un plano esquemático de cotización mediante modelos renderizadas con el software Autodesk Revit ®; esto complementó positivamente las propuestas de construcción dirigidas al cliente, la adjudicación de la obra presentada como caso de estudio, se vio influenciada por la presentación entregada.

Y se ha mejorado el proceso de construcción, mediante el desarrollo de una metodología de supervisión de estructuras metálicas, para las fases de fabricación y montaje, estableciendo criterios de revisión.

## 4 Introducción

Estructuras y Proyectos JV SAS es una empresa cuya actividad principal es la construcción de viviendas, edificaciones, mezzanines, pérgolas y demás estructuras metálicas. El funcionamiento de la empresa se puede resumir en dos grandes fases, la primera es una fase previa a la adjudicación de la construcción de una estructura metálica, y la segunda es una fase posterior a la adjudicación de la misma.

En la primera fase, el cliente solicita una cotización, enviando planos estructurales y/o arquitectónicos o solicitando una visita a campo para notificar sus requerimientos y/o necesidades. Cuando el cliente no cuenta con diseño estructural, la empresa desarrolla una propuesta estructural, que se realiza de forma empírica por parte de un ingeniero con más de 19 años de experiencia en la construcción de estructuras metálicas y obras civiles. Con esta propuesta se realiza la cotización formal dirigida al cliente.

La segunda fase, es luego de la adjudicación del contrato, cuando el cliente aprueba la cotización y se acuerda el inicio de la construcción de la estructura metálica. En esta fase, se solicita el diseño estructural o el aval de un ingeniero especialista y con este diseño se procede a la modelación de los planos de taller o de fabricación, a la compra de los materiales y finalmente a la construcción de la estructura metálica.

El presente trabajo se realizó con el fin de mejorar la fase inicial de cotización de estructuras metálicas, desarrollando un código en VBA para el diseño de los principales elementos estructurales que componen una estructura metálica, que son vigas, columnas y placas base, a partir de lo especificado en la AISC 360-16 (American institute of Steel Construcción) y en el título F de la norma NSR-10. De modo que haya una herramienta para chequear el cumplimiento de la estructura cotizada. Además, se buscó establecer una metodología de supervisión en la fase de construcción.

En este documento se registra la metodología utilizada para crear cada interfaz del programa de chequeo de elementos estructurales y todo el proceso de investigación, con una aplicación final a un proyecto de instalación de la estructura metálica para la cubierta de una bodega ubicada en Medellín, Antioquia.

## 5 Planteamiento del problema

La empresa Estructuras y Proyectos JV SAS realiza con mucha frecuencia cotizaciones de construcción de estructuras metálicas que no cuentan con diseño estructural, algunos clientes solicitan a la empresa cotizar alguna propuesta en base a planos arquitectónicos o alguna visita al terreno. Actualmente, las propuestas se realizan en base a un pre-dimensionamiento de elementos estructurales que hace un ingeniero de la empresa de forma empírica, debido a sus más de 19 años de experiencia en la construcción de estructuras metálicas. Sin embargo, no es diseñador estructural, por lo tanto, no hay un procedimiento para dimensionar basado directamente en las metodologías de diseño de la NSR-10 o la AISC 360-16.

En las cotizaciones el cliente no tiene forma de visualizar un modelo de cómo quedaría su estructura en caso de adjudicar el contrato a la empresa Estructuras y Proyectos JV SAS.

Y en la fase constructiva, La empresa no contiene una metodología registrada de control y supervisión de las estructuras, se realizan visitas verificando que la instalación esté conforme a los planos de diseño.

Para la solución de las problemáticas, se pretende implementar una herramienta para el chequeo rápido de la resistencia de los elementos estructurales. actualmente, es preciso aplicar un lenguaje de programación a los procesos y/o actividades, para evitar que, en la medida de las posibilidades, estas dependan únicamente de la presencia de uno de los miembros de la empresa. Por esto se pensó en el lenguaje de programación en VBA.

Así mismo, la supervisión de una construcción, debe tener un procedimiento registrado para advertir al encargado de esta actividad sobre la importancia de algunos procedimientos en campo, es preciso investigar y registrar algunas definiciones y tolerancias en la fabricación y montaje de estructuras de acero.

Y para la visualización de un plano esquemático dirigido al cliente, se plantea el software Revit, por la calidad de sus imágenes renderizadas y la fácil interpretación de sus modelos.

## 6 Objetivos

### 6.1 Objetivo general:

Caracterizar una metodología para el prediseño y supervisión de elementos estructurales metálicos, a través de la Implementación de un código en VBA (Visual Basic), contribuyendo a la empresa una herramienta en el prediseño de los elementos estructurales para una correcta cotización que se asemeje al diseño estructural definitivo.

### 6.2 Objetivos específicos:

- implementar un código en VBA que permita calcular los elementos estructurales requeridos en diferentes obras según las especificaciones establecidas por la norma NSR – 10 y/o la AISC 360, para mejorar el desarrollo de las cotizaciones con un prediseño cercano al diseño final.
- Presentar una metodología de supervisión de obras, estableciendo criterios de control y revisión en el momento de la fabricación, y en la ejecución.
- Mejorar el proceso de presentación de las cotizaciones con la implementación de modelos en el software Revit, a partir de los cuales se pueda presenciar el prediseño estructural.

## 7 Marco Teórico

### 7.1 Lenguaje de programación en VBA:

Visual basic es un lenguaje de programación orientado a objetos creado por Microsoft. Este lenguaje incorpora todas las herramientas necesarias para la creación de cualquier aplicación para Windows. Con este lenguaje se puede crear desde una simple calculadora hasta un procesador de texto de la talla de Word, o una hoja de cálculo como Excel, o bien, cualquier aplicación que se le ocurra al programador.

En visual Basic 6.0 es posible crear todo tipo de aplicación para Windows, pudiendo incorporar todas las características y elementos de un programa típico de Windows (C. Rodriguez, 2008)

Algunos programas toman mucho más tiempo que otros para su realización, algunos toman meses, otros años, o simplemente días. (C. Rodriguez, 2008)

A continuación, se describen algunos términos y/o elementos básicos para la realización de una aplicación sencilla

**7.1.1 Formularios o ventanas:** Son la interfaz de trabajo del usuario que va a utilizar el programa, "se puede considerar como un contenedor de los controles de una aplicación." Una aplicación puede tener uno o varios formularios dependiendo de las necesidades a desarrollar.

**7.1.2 Controles de aplicación:** Son los controles a través de los cuales el usuario ejecuta las acciones programadas, "son los objetos que se colocan en un formulario". Estos controles tienen propiedades, métodos y eventos. Y también cada control cumple una función dentro de la programación. Estos controles se pueden aplicar a una hoja de Excel por medio de la opción insertar, dentro de la pestaña de Desarrollador o programador de Excel. Algunos de estos controles son los siguientes:

**7.1.2.1 Check box:** ofrece la alternativa de elegir entre dos posibles respuestas, Falso o Verdadero, cuando este control está marcado, devuelve un valor de verdadero y lo contrario sucede cuando No está marcado. Permite establecer comportamientos específicos en una hoja de cálculo o en un formulario. (Gonzales, 2017)

**7.1.2.2 List box:** es un control en el que se pueden mostrar varios registros o líneas, teniendo uno o varios de ellos seleccionado(s). Si en la lista hay más registros de los que se pueden mostrar al mismo tiempo, se añade automáticamente una scrollBar. (Garcia, 1999)

**7.1.2.3 Command Button:** Es el "botón" dentro de un formulario o una hoja de cálculo, se caracteriza por el evento click, con el que se puede asociar una rutina.

**7.1.2.4 Label:** este control es la etiqueta dentro de un formulario, sirve brindar información al usuario o para nombrar algún área dentro del formulario o la hoja de Excel.

**7.1.2.5 Option Button:** Es un tipo de control semejante al Check box, a diferencia que el Option button trabaja en grupo y permite elegir una opción dentro de un grupo determinado. (Gonzales, 2017)

**7.1.2.6 Shape o Text box:** funciona como casilla o celda de información dentro de un formulario o una hoja de Excel. Sirve como medio de entrada para almacenar datos o para mostrar datos como resultado de una consulta.

**7.1.2.7 Cuadro combinado:** permite desplegar una serie de opciones, de las cuales el usuario puede elegir una opción.

**7.1.2.8 Cuadro de grupo o frame:** Permite agrupar o diferenciar diferentes controles contenidos en un formulario o una hoja de Excel.

**7.1.2.9 Propiedades, clase y estado de objetos:** las propiedades son las características o cualidades propias de un objeto o control de formulario. Estas propiedades hacen referencia a la apariencia física del mismo. El estado de un objeto o control, hace referencia a los valores que poseen dichas propiedades. Reconociendo estos términos, es posible modificarle propiedades a un objeto dentro del código de programación, como por ejemplo el color. Y la clase, hace referencia a la entidad genérica a la que pertenece el objeto.

**7.1.3 Procedimientos:** representa la definición o declaración de un objeto. Estos contienen el conjunto de instrucciones que se ejecutan cuando el usuario realiza algún evento sobre el objeto, o cuando estos son llamados por su nombre.

Para definir un procedimiento, se utiliza la palabra clave Sub, seguida del nombre del procedimiento y los argumentos en caso que se requiera. (C. Rodriguez, 2008)

**7.1.4 Eventos:** Son las acciones que realiza el usuario sobre un objeto, los eventos típicos son el evento click y el evento doble click.

**7.1.5 Editor de código en VBA:** Es el entorno en el que se registra el código de programación.

**7.1.6 Tipos de datos en VBA:** Son los distintos objetos de información con los que trabaja una aplicación en VBA.

Todos los datos tienen un tipo asociado con ellos. Cualquier tipo de datos estará definido dentro de la siguiente clasificación: tipos enteros (Byte, Integer, Long), tipos reales (Single, Double, Currency), tipos

cadena (String), tipos lógicos (Boolean), tipos fecha (Date) y tipos variados (Variant).

**7.1.7 Variables:** estas son utilizadas con el fin de almacenar temporalmente valores durante la ejecución de una aplicación. Las variables se declaran para indicarle al programa el lugar donde se deben almacenar los datos desconocidos, nivel de alcance, nombre y tipo de datos asociado.

**7.1.8 Expresiones lógicas:** Es una combinación de variables, constantes, valores literales, funciones y operadores de relación que dan como resultado un valor único, verdadero o falso. Se pueden clasificar como expresiones lógicas simples y expresiones lógicas compuestas. Las simples son aquellas compuestas por una única expresión lógica (<, +, -, , =) y las compuestas son aquellas que contienen varias expresiones lógicas relacionadas mediante operadores lógicos (and, or, not). En estas expresiones se debe diferenciar tres tipos de operadores: los operadores aritméticos (+, -, /, x), los operadores de relación (<, >, >=) y los operadores lógicos (and, or, not).

## 7.2 Metodologías de diseño de elementos estructurales de acero:

### 7.2.1 Diseño de vigas:

En el diseño de vigas de acero se aborda la metodología de diseño de miembros sometidos a flexión, miembros sometidos a cortante y verificación de deflexiones límite.

#### 7.2.1.1 Diseño de miembros sometidos a flexión:

“Esta condición se da cuando las cargas actúan en un plano que es paralelo a uno de los ejes principales y dicho plano pasa por el centro de corte de la sección o, alternativamente, cuando el miembro está restringido contra la torsión en los puntos de aplicación de las cargas y en los apoyos.” (AIS, 2010b)

La resistencia de diseño a la flexión es igual a la multiplicación entre el factor de reducción de resistencia ( $\Phi_b$ ), cuyo valor es de 0,9, y la Resistencia nominal a la flexión ( $M_n$ ). El diseño de miembros a flexión consiste en verificar que el momento último actuante sea menor que la resistencia de diseño a flexión.

$$M_u \leq \Phi_b M_n$$

Ecuación 1

El valor de la resistencia nominal a la flexión se determinará de acuerdo al tipo de perfil y al tipo de sección, según su clasificación, ya sea una sección compacta, una sección no compacta o una sección con elementos esbeltos. Esta clasificación depende del valor de los siguientes términos:

$\lambda$ : Relación ancho-espesor.

$\lambda_b$  : Límite para determinar si una sección es compacta.

$\lambda_r$  : Límite para determinar si una sección es esbelta.

De acuerdo con estas definiciones, se especifica que una sección es compacta si cumple lo siguiente:

$$\lambda \leq \lambda_b$$

Ecuación 2

La sección se define como No compacta cuando satisface lo siguiente:

$$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$$

Ecuación 3

Y una sección se define como Esbelta cuando cumple la siguiente expresión:

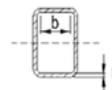
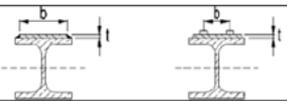
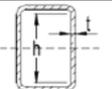
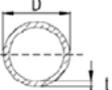
$$\lambda_r < \lambda$$

Ecuación 4

Los valores de estos términos definidos, se calculan mediante la Tabla 1, tomada de la NSR-10, Sección F.2.2.4.

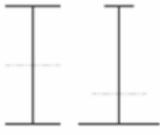
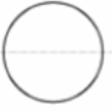
Tabla 1. Valores límite para clasificación de tipo de sección a flexión. (AIS, 2010b)

Caso	Descripción del Elemento	Relación Ancho a Espesor	Valores límite de la relación ancho/espesor		Ejemplos
			$\lambda_p$ (compacto/no compacto)	$\lambda_r$ (no compacto/Esbelto)	
Elementos No Atiesados	10 Aletas de perfiles laminados en I, canales y secciones en T	$b/t$	$0.38\sqrt{E/F_y}$	$1.0\sqrt{E/F_y}$	
	11 Aletas de perfiles armados en I, de simetría doble o simple	$b/t$	$0.38\sqrt{E/F_y}$	$0.95\sqrt{k_c E/F_L}$ (a) (b)	
	12 Aletas de ángulos sencillos	$b/t$	$0.54\sqrt{E/F_y}$	$0.91\sqrt{E/F_y}$	
	13 Aletas de todo tipo de perfiles en I y canales en flexión sobre su eje menor	$b/t$	$0.38\sqrt{E/F_y}$	$1.0\sqrt{E/F_y}$	
Elementos Atiesados	14 Almas de secciones en T	$d/t$	$0.84\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.03\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	15 Almas de perfiles en I de simetría doble y canales	$h/t_w$	$3.76\sqrt{E/F_y}$	$5.70\sqrt{E/F_y}$	
	16 Almas de perfiles en I de simetría simple <sup>(c)</sup>	$h_c/t_w$	$\frac{h_c}{b_p} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ $\left(0.54 \frac{M_p}{M_y} - 0.09\right)^2 \leq \lambda_r$	$5.70\sqrt{E/F_y}$	

Caso	Descripción del Elemento	Relación Ancho a Espesor	Valores límite de la relación ancho/espesor		Ejemplos
Elementos Atiesados	17 Aletas de perfiles tubulares estructurales (PTE) y perfiles en cajón, de sección rectangular y espesor uniforme	$b/t$	$1.12\sqrt{E/F_y}$	$1.40\sqrt{E/F_y}$	
	18 Cubreplacas de aleta y platinas de diafragma entre líneas de conectores o soldaduras	$b/t$	$1.12\sqrt{E/F_y}$	$1.40\sqrt{E/F_y}$	
	19 Almas de perfiles tubulares estructurales (PTE) y perfiles en cajón, de sección rectangular	$b/t$	$2.42\sqrt{E/F_y}$	$5.70\sqrt{E/F_y}$	
	20 Perfiles tubulares estructurales (PTE) de sección circular	$D/t$	$0.07E/F_y$	$0.31E/F_y$	

Una vez se clasifica la sección de acuerdo según su relación ancho-espesor, y teniendo en cuenta el tipo de perfil a diseñar, la resistencia nominal a la flexión será la menor entre los estados límites especificados en la Tabla 2, tomada de la NSR-10 sección F.2.6.

Tabla 2. Estados límite aplicados a cada sección. (AIS, 2010b)

Numeral Aplicable	Sección Transversal	Esbeltez de la aleta	Esbeltez del alma	Estados límites
F.2.6.2		C	C	F, PLT
F.2.6.3		NC, E	C	PLT, PLA
F.2.6.4		C, NC, E	NC	F, PLT, PLA, FAT
F.2.6.6		C, NC, E	N/A	F, PLA
F.2.6.7		C, NC, E	C, NC	F, PLA, PLa
F.2.6.8		N/A	N/A	F, PL

F.2.6.9		C, NC, E	N/A	F, PLT, PLA
F.2.6.10		N/A	N/A	F, PLT, PLAL
F.2.6.11		N/A	N/A	F, PLT
F.2.6.12	Formas no simétricas	N/A	N/A	Todos los estados límites
<b>Nomenclatura:</b> F= Fluencia, PLT= Pandeo lateral-torsional, PLA= Pandeo local de la aleta, PL= Pandeo local del alma, FAT= Fluencia de la aleta a tensión, PLAL= Pandeo local de la aleta de un perfil angular, PL= Pandeo local, C = Compacta, NC = No compacta, E= Esbelta.				

**7.2.1.1.1 Estado límite de fluencia:** En este caso la resistencia nominal a la flexión es igual al momento plástico ( $M_p$ ), el cual se puede calcular con alguna de las siguientes ecuaciones especificadas por la NSR-10: F.2.6.2-1, F.2.6.4-1, F.2.6.5-1, F.2.6.6-1, F.2.6.7-1, F.2.6.8-1, F.2.6.9-1, F.2.6.10-1, F.2.6.11-1. Dependiendo del tipo de perfil estructural.

**7.2.1.1.2 Pandeo Lateral Torsional:** Para la aplicación de este estado, se deben definir 3 términos de longitud:

**L<sub>b</sub>:** Longitud comprendida entre dos puntos que están arriostrados, ya sea contra el desplazamiento lateral de la aleta a compresión o contra la torsión de la sección transversal.

**L<sub>p</sub>:** es el límite de la longitud no arriostrada para el estado límite de fluencia de la aleta a compresión.

**L<sub>r</sub>:** Máxima longitud sin arriostramiento lateral para la cual se alcanza el estado límite de pandeo lateral torsional.

Cuando  $L_b$  es menor o igual a  $L_p$ , no se aplica el estado límite de pandeo lateral-torsional.

Cuando  $L_b$  es mayor que  $L_p$  y menor o igual a  $L_r$  para calcular la resistencia nominal a flexión se utiliza alguna de las siguientes ecuaciones de la NSR-10: F.2.6.2-2, F.2.6.4-2, F.2.6.9-4 ó F.2.6.10-2 según el tipo de perfil, la tabla 2 sirve de guía.

**7.2.1.1.3 Pandeo local de la aleta:** el cálculo de la resistencia nominal a la flexión para este estado límite depende si la sección presenta aletas no compactas o aletas esbeltas. Para secciones con aletas no compactas se utiliza alguna de las siguientes ecuaciones de la NSR-10: la F.2.6.3-1, F.2.6.4-12, F.2.6.5-7, F.2.6.7-2, F.2.6.9-6.

**7.2.1.1.4 Pandeo local del alma:** el cálculo de la resistencia nominal a flexión para este estado límite se aplica solo para secciones con almas no compactas con la siguiente ecuación F.2.6.7-5 tomada de la NSR-10:

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

Ecuación 5

Donde,

$F_y$ : esfuerzo de fluencia mínimo especificado (MPa).

$S_x$ : módulo de sección elástico alrededor del eje x (mm<sup>3</sup>).

$h$ : ancho de un elemento a compresión (mm).

$t_w$ : espesor del alma (mm).

$E$ : Módulo de elasticidad del acero (MPa).

**7.2.1.1.5 Fluencia de la aleta a tensión:** Para el cálculo de la resistencia nominal en este estado límite, se debe conocer el valor del módulo de sección elástico referido a la aleta a tensión ( $S_{xt}$ ) y el valor del módulo de sección elástico referido a la aleta a compresión ( $S_{xc}$ ). Este estado límite aplica cuando  $S_{xt}$  es menor que  $S_{xc}$  y la resistencia se puede calcular mediante alguna de las siguientes ecuaciones especificadas por la NSR-10: F.2.6.4-14, F.2.6.5-10, dependiendo del tipo de perfil.

**7.2.1.1.6 Pandeo local:** El cálculo de la resistencia nominal para este estado límite aplica para secciones circulares huecas no compactas o esbeltas. Para una sección no compacta la ecuación a utilizar es la 6 ( F.2.6.8-2 especificada por la NSR-10), esta es la siguiente:

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

Ecuación 6

Donde,

**D**: diámetro de la sección del perfil (mm).

**S**: módulo de sección elástico (mm<sup>3</sup>).

**t**: espesor de la sección (mm).

Si la sección es esbelta, la ecuación a utilizar es la 7:

$$M_n = F_{cr} S$$

Ecuación 7

**F<sub>cr</sub>**: esfuerzo crítico de pandeo y se calcula con la siguiente expresión:

$$F_{cr} = \frac{0.33 E}{D/t}$$

Ecuación 8

### 7.2.1.2 Diseño de miembros sometidos a fuerza cortante:

La resistencia de diseño a cortante es igual a la multiplicación entre el factor de reducción de resistencia ( $\Phi_v$ ), cuyo valor es de 0,9, y la Resistencia nominal a cortante ( $V_n$ ). El diseño de miembros a cortante consiste en verificar que el cortante último actuante sea menor que la resistencia de diseño a cortante. (AIS, 2010b)

$$V_u \leq \phi_v V_n$$

Ecuación 9

La resistencia nominal a cortante,  $V_n$ , para los estados límites de fluencia por cortante y pandeo por cortante, se calcula mediante la ecuación 10 (F.2.7.2-1 de la NSR-10):

$$V_n = 0.60 F_y A_w C_v$$

Ecuación 10

Donde,

**A<sub>w</sub>**: área del alma, producto del peralte de una sección por el espesor del alma,  $d \cdot t_w$ , (mm<sup>2</sup>).

**C<sub>v</sub>**: coeficiente de cortante en el alma.

Para el diseño de miembros por cortante también es importante definir:

**h**: Para perfiles laminados, la distancia libre entre aletas menos el filete o radio de la unión alma-aleta (mm).

**h**: Para perfiles armados con soldadura, la distancia libre entre aletas (mm).

**h**: Para perfiles armados con pernos, la distancia libre entre líneas de conectores (mm).

**t<sub>w</sub>**: espesor del alma (mm).

**K<sub>v</sub>**: coeficiente de pandeo del alma, el cual, tomará un valor de 5.0 para almas sin rigidizadores transversales con **h/t<sub>w</sub>** menor a 260.

El valor del coeficiente de cortante en el alma (**C<sub>v</sub>**) depende del tipo de perfil y de la relación altura (h) – Espesor del alma (t<sub>w</sub>), según el capítulo F.2.7 de la NSR-10:

Para almas de miembros en perfiles laminados de sección en I que cumplan lo siguiente:

$$\frac{h}{t_w} \leq 2.24 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Ecuación 11

El coeficiente de cortante en el alma (**C<sub>v</sub>**) es igual a 1.0. En este caso, el factor de reducción de resistencia ( $\Phi_v$ ) tomará el valor de 1.0.

Para almas de todos los miembros que satisfacen lo siguiente:

$$\frac{h}{t_w} \leq 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

Ecuación 12

El coeficiente  $C_v$  también tomará el valor de 1.0.

Para almas de todos los miembros que cumplan lo siguiente:

$$1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

Ecuación 13

$$C_v = \frac{1.10 \sqrt{k_v E / F_y}}{h / t_w}$$

Ecuación 14

$$\frac{h}{t_w} > 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

Ecuación 15

El coeficiente  $C_v$  se calcula con la ecuación 14 (F.2.7.2-4 de la NSR-10):

Para almas de todos los perfiles que satisfacen la siguiente ecuación:

El coeficiente  $C_v$  se Calcula con la ecuación 16 (F.2.7.2-5 de NSR-10):

$$C_v = \frac{1.51 k_v E}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_y}$$

Ecuación 16

### 7.2.1.3 Verificación de las deflexiones límite:

Para un adecuado funcionamiento de una estructura por servicio, las deflexiones de un elemento estructural no deben exceder los valores límite que propone la Tabla 3 ( F.5.3.4-1 de la NSR-10):

Tabla 3. Deflexiones límite (AIS, 2010b)

Elemento	Deflexión límite recomendada (véase nota)
Voladizos que soportan pisos	L/180
Vigas con acabado de yeso u otro material frágil	L/360
Viguetas y rieles de cubiertas	
(a) carga muerta únicamente	L/200
(b) bajo la peor combinación de carga muerta, impuesta, viento y nieve	L/100
Largueros y travesaños de paredes cortina	
(a) vidrio sencillo	L/175
(b) vidrio doble	L/250
Parte superior de columnas: deflexión horizontal	L/300

NOTA

L es la longitud entre apoyos.

### 7.2.2 Diseño de columnas:

La resistencia de diseño a la compresión es igual a la multiplicación entre el factor de reducción de resistencia ( $\Phi_c$ ), cuyo valor es de 0,9, y la Resistencia nominal a compresión ( $P_n$ ). El diseño de miembros a compresión consiste en verificar que el momento último actuante sea menor que la resistencia de diseño a compresión. (AISC, 2016)

$$P_u \leq \phi_c P_n$$

Ecuación 17

La resistencia de diseño a compresión ( $P_n$ ) es la menor entre los valores obtenidos para los estados límites de pandeo por flexión (FB), pandeo por torsión (TB) y pandeo por flexo-torsión (FTB).

El valor de la resistencia nominal a la flexión se determinará de acuerdo al tipo de perfil y al tipo de sección, según su clasificación, ya sea una sección con elementos esbeltos o una sección sin elementos esbeltos. Esta clasificación depende del valor de los siguientes términos:

$\lambda$  : Relación ancho-espesor.

$\lambda_r$  : Límite para determinar si una sección es con elementos esbeltos o sin elementos esbeltos.

Se especifica que una sección es sin elementos esbeltos, si cumple:

$$\lambda \leq \lambda_r$$

Ecuación 18

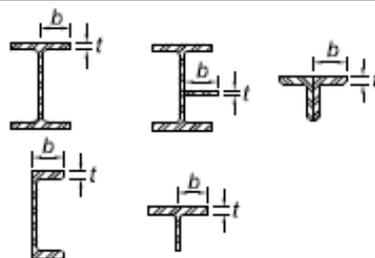
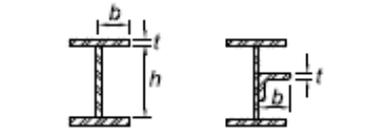
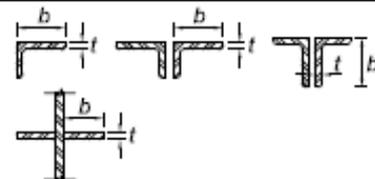
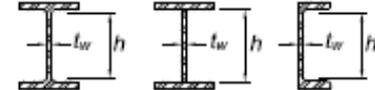
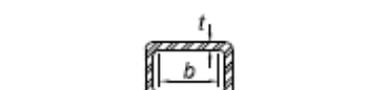
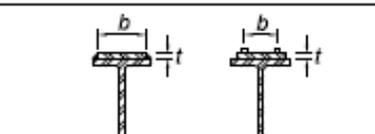
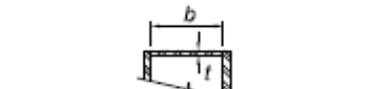
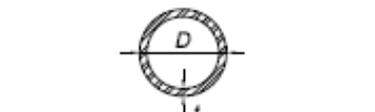
Una sección con elementos esbeltos se especifica si:

$$\lambda > \lambda_r$$

Ecuación 19

Las ecuaciones para calcular estos límites se especifican en la tabla 4 (B4.1a de la AISC 360-16):

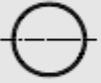
Tabla 4. Valores límite para la selección del tipo de sección. (AISC, 2016)

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

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

Una vez se clasifica la sección de acuerdo según su relación ancho-espesor, y teniendo en cuenta el tipo de perfil a diseñar, la resistencia nominal a compresión será la menor entre los estados límites especificados en la Tabla 5, tomada de la AISC 360-16 (Tabla E1.1):

Tabla 5. Selección de los estados límite a aplicar. (AISC, 2016)

Cross Section	Without Slender Elements		With Slender Elements	
	Sections in Chapter E	Limit States	Sections in Chapter E	Limit States
	E3 E4	FB TB	E7	LB FB TB
	E3 E4	FB FTB	E7	LB FB FTB
	E3	FB	E7	LB FB
	E3	FB	E7	LB FB
	E3 E4	FB FTB	E7	LB FB FTB
	E6 E3 E4	FB FTB	E6 E7	LB FB FTB
	E5		E5	
	E3	FB	N/A	N/A
Unsymmetrical shapes other than single angles	E4	FTB	E7	LB FTB

Donde, FB: pandeo por flexión; TB: pandeo por torsión; FTB: pandeo por flexo-torsión; LB: pandeo local.

**7.2.2.1 Pandeo por flexión para sección sin elementos esbeltos:** en este caso, la resistencia nominal a compresión se calcula mediante la ecuación 20 ( E3-1 de la AISC 360-16):

$$P_n = F_{cr} A_g$$

Ecuación 20

$$\frac{L_c}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Ecuación 21

$$\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$$

Ecuación 22

Donde,  $F_{cr}$ : esfuerzo crítico (MPa).  $A_g$ : área bruta de la sección del perfil (mm<sup>2</sup>). El valor del esfuerzo crítico se calcula como así:

Si se cumple alguna de las siguientes expresiones:

El esfuerzo crítico se calcula con la ecuación 23 (E3-2 de la AISC 360-16):

$$F_{cr} = \left( 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \right) F_y$$

Ecuación 23

Donde,

**L<sub>c</sub>**: longitud efectiva del miembro (mm).

**r**: radio de giro (mm).

**F<sub>e</sub>**: esfuerzo elástico de pandeo (MPa).

Ahora, si se cumple alguna de las siguientes expresiones:

$$\frac{L_c}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

Ecuación 24

$$\frac{F_y}{F_e} > 2.25$$

Ecuación 25

El esfuerzo crítico de se calcula con la ecuación 26 (E3-3):

$$F_{cr} = 0.877 F_e$$

Ecuación 26

**F<sub>e</sub>**: esfuerzo elástico de pandeo (MPa)

**7.2.2.2 Pandeo por torsión y flexo-torsión para sección sin elementos esbeltos:** en este caso, la resistencia nominal a compresión se calcula mediante la ecuación 27 (E4-1 de la AISC 360-16):

$$P_n = F_{cr} A_g$$

Ecuación 27

El esfuerzo crítico ( $F_{cr}$ ) se determina de acuerdo a la ecuación 26. Usando el esfuerzo de pandeo torsional o flexo-torsional, que se determina así:

Para miembros doblemente simétricos alrededor de su centro de corte, se calcula con la ecuación 28 (E4-2 de la AISC 360-16):

$$F_e = \left( \frac{\pi^2 E C_w}{L_{cz}^2} + GJ \right) \frac{1}{I_x + I_y}$$

Ecuación 28

**C<sub>w</sub>**: constante de deformación (mm<sup>6</sup>).

**L<sub>cz</sub>**: longitud efectiva del miembro de pandeo sobre el eje longitudinal (mm).

**I<sub>x</sub>, I<sub>y</sub>**: momento de inercia en el plano X e Y, respectivamente (mm<sup>4</sup>).

**G**: módulo de elasticidad cortante del acero (MPa)

**J**: constante torsional (mm<sup>4</sup>).

Para miembros simétricos simples que se retuerzan alrededor del centro de corte donde Y es el eje de simetría, se calcula con la Ecuación 29 (E4-3 de la AISC 360-16):

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

Ecuación 29

**H**: constante flexural, se calcula mediante la ecuación E4-8 de la AISC 360-16.

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{L_{cy}}{r_y} \right)^2}$$

Ecuación 30

$$F_{ez} = \left( \frac{\pi^2 E C_w}{L_{cz}^2} + GJ \right) \frac{1}{A_g \bar{r}_o^2}$$

Ecuación 31

**7.2.2.3 Diseño de miembros con elementos esbeltos:** la resistencia nominal a compresión se calcula mediante la ecuación 32 (E7-1 de la AISC 360-16):

$$P_n = F_{cr} A_e$$

Ecuación 32

**A<sub>e</sub>**: suma de las áreas efectivas de la sección transversal basada en efecto reducido, anchos efectivos (mm<sup>2</sup>).

**F<sub>cr</sub>**: esfuerzo crítico (MPa).

El valor de **A<sub>e</sub>** depende del tipo de perfil y la clasificación de la sección:

Para perfiles de sección hueca circular que cumplan la siguiente expresión:

$$\frac{D}{t} \leq 0.11 \frac{F}{F_y}$$

Ecuación 33

**D**: diámetro; **t**: espesor.

**A<sub>e</sub>** es igual al área bruta (**A<sub>g</sub>**) de la sección del miembro.

Para perfiles de sección hueca circular que cumplan con la siguiente expresión:

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

Ecuación 34

Ae se obtiene mediante la ecuación 35 (E7-7 de la AISC 360-16):

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

Ecuación 35

Para los demás perfiles de sección con elementos esbeltos que cumplan la siguiente igualdad:

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

Ecuación 36

Ae depende de un ancho efectivo ( $b_e$ ) que en este caso es igual al ancho  $b$

Para los demás perfiles de sección con elementos esbeltos que cumplan la siguiente igualdad:

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

Ecuación 37

Ae también depende del ancho efectivo ( $b_e$ ), que se calcula mediante la ecuación 38 (E7-3 de la AISC 360-16):

$$b_e = b \left( 1 - C_1 \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} \right)$$

Ecuación 38

donde  $C_1$  es un coeficiente que se determina de acuerdo a la tabla E7.1 de la AISC 360-16.

## 7.2.3 Diseño de placas base:

**7.2.3.1 Resistencia al aplastamiento:** Para conocer el área mínima de acero requerida para evitar falla por aplastamiento sobre el concreto de la base, se determina la resistencia para el estado límite de aplastamiento (fluencia local a compresión), esta es igual a la multiplicación entre el factor de reducción ( $\Phi_c$ ), cuyo valor es de 0.65, y la Resistencia nominal al aplastamiento ( $P_p$ ). El diseño consiste en verificar que la carga última ( $P_u$ ) que recibe a platina, sea menor que la resistencia de diseño al aplastamiento. (AIS, 2010b)

$$P_u \leq \Phi_c P_p$$

Ecuación 39

El valor de  $P_p$  para un apoyo en concreto cargado en toda su área se calcula mediante la ecuación 40 (F.2.10.8-1 de la NSR-10):

$$P_p = 0.85 f'_c A_1$$

Ecuación 40

Ahora, sobre un apoyo en concreto cargado solo en parte de su área, se calcula con la ecuación 41 (F.2.10.8-2 de la NSR-10):

$$P_p = 0.85f'_c A_1 \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} \leq 1.7f'_c A_1$$

Ecuación 41

donde,

**A1:** área de acero que se apoya concéntricamente sobre una base de concreto (mm<sup>2</sup>).

**A2:** área máxima de una zona de la superficie de apoyo geoméricamente similar y concéntrica con el área cargada (mm<sup>2</sup>).

**f'c:** resistencia a compresión mínima especificada para el concreto (MPa).

**7.2.3.2 Espesor mínimo requerido:** En 1990, W. A. Thornton combinó tres de estos métodos en un solo procedimiento aplicable a placas base fuerte o ligeramente cargadas. (McCormac & Cernak, 2012)

Se propone un valor de espesor mínimo requerido  $t$ , con la siguiente ecuación:

$$t_{req} = \ell \sqrt{\frac{2 Pu}{0.9 F_y B N}}$$

Ecuación 42

Donde,

**ℓ:** mayor valor entre  $m$ ,  $n$ ,  $n'$ .

**Pu:** Peso último sobre la platina.

**B:** Ancho de placa base.

**N:** Largo de la placa base.

Los valores  $m$ ,  $n$  y  $n'$  se obtienen a partir de las dimensiones de la sección de la columna  $d$  y  $bf$ :

$$m = \frac{N - 0.95d}{2}$$

Ecuación 43

$$n = \frac{B - 0.8bf}{2}$$

Ecuación 44

$$n' = \frac{\sqrt{dbf}}{4}$$

Ecuación 45

### 7.3 Fabricación y montaje de estructuras metálicas:

**7.3.1 Cortes y perforaciones:** Generalmente los cortes de miembros de acero, se realizan con sierra, cizalla, dicso o máquina de oxicorte.

**7.3.2 Soldadura:** “Es un proceso de fabricación en donde se realiza la unión de dos materiales, usualmente logrado a través de la fusión, en la cual las piezas son soldadas fundiendo ambas y agregando un material de relleno fundido” (Corzo, 2010)

#### Patologías en soldaduras:

**7.3.2.1 Deformaciones y/o alabeos:** Son deformaciones y defectos en la geometría definitiva de las dos caras soldadas. (H. Rodríguez, 2020)

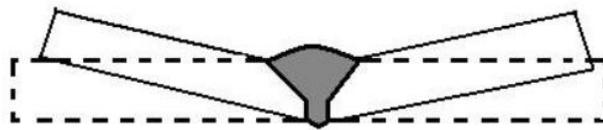


Figura 1. Alabeo en soldadura. (H. Rodríguez, 2020)

**7.3.2.2 Falta de alineación:** Esto sucede cuando las piezas a unir no conservan el mismo plano, es decir, no tiene continuidad. Ver Figura 2.

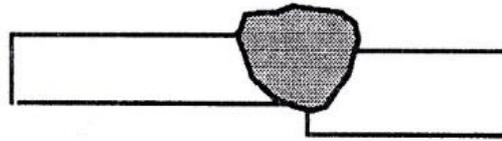


Figura 2. Falta de alineación en soldadura. (H. Rodríguez, 2020)

**7.3.2.3 Defectos superficiales:** Estos tipos de defectos superficiales son las mordeduras, cráteres y poros. Las mordeduras, generalmente se producen por emplear una intensidad elevada de corriente eléctrica, velocidad incorrecta en el uso del electrodo, o manejo incorrecto de la pinza-porta electrodo (ver Figura 3). Los cráteres son discontinuidades en el cordón de soldadura debidos a la interrupción y paso de un cordón a otro. Y los poros son pequeños agujeros debido a las discontinuidades internas, entre cordones de soldadura interiores y superiores.

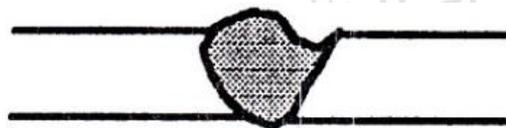


Figura 3. Mordeduras en soldadura. (H. Rodríguez, 2020)

**7.3.2.4 Descuelgues:** Son producidos por el exceso de fusión del baño de soldadura y se ilustra en la Figura 4:

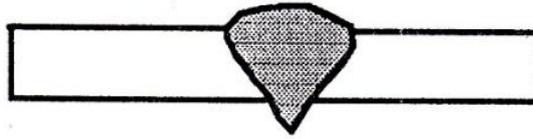


Figura 4. descuelgues en soldadura. (H. Rodríguez, 2020)

**7.3.2.5 Grietas:** son discontinuidades producidas por rotura localizada, debido a las tensiones locales. Pueden ser transversales o longitudinales:

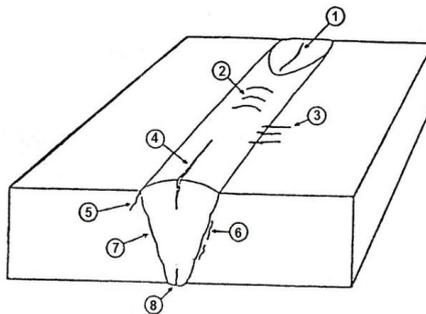


Figura 5. grietas en soldadura. (H. Rodríguez, 2020)

**7.3.3 Tolerancias en el montaje:** Las siguientes tolerancias en el montaje, son tomadas en base al documento de seguridad estructural de acero del código CTE (Ministerio de Fomento, 2008):

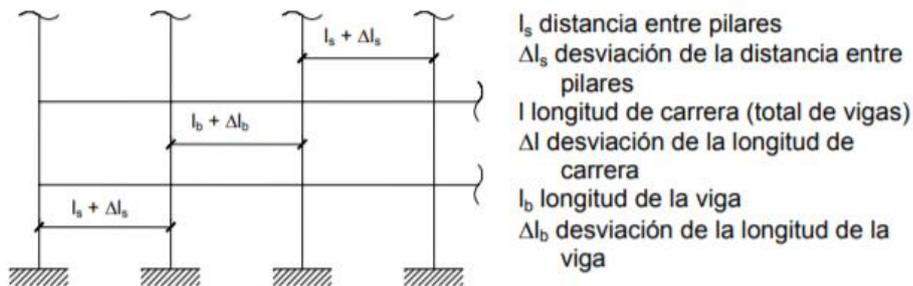


Figura 6. Holgura en columnas 2. (Ministerio de Fomento, 2008)

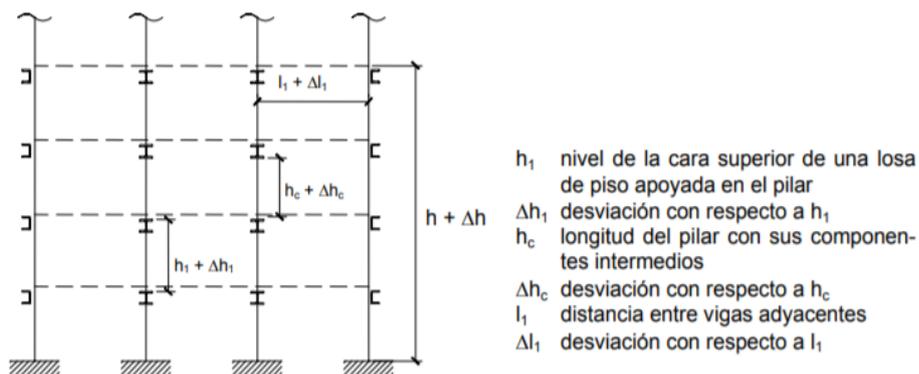


Figura 7. Holgura en columnas. (Ministerio de Fomento, 2008)

**7.3.3.1 Holgura en columnas:** De acuerdo a la Figura 6, es recomendable que la desviación de la longitud de carrera, para longitudes de carrera menores o iguales a 30m sea máximo de 20mm. Y para longitudes entre 30 y 210 m, esta desviación será de máximo  $(20+0,25(l-30))$  mm. Para la altura del edificio utilizar el mismo criterio, en este caso  $h$  toma los valores de la longitud de carrera. La desviación entre pilares adyacentes no debe exceder los 15 mm.

**7.3.3.2 Holgura en altura de edificaciones:** la desviación con respecto al nivel de la cara superior de una losa de piso apoyada en la columna será de máximo 10mm en el caso de elementos de forjado en que no exista margen para la nivelación. Y de 5mm para los demás casos. la desviación entre vigas adyacentes de cualquier sección no debe exceder los 20mm.

**7.3.3.3 Deflexión lateral de una viga:** de acuerdo con la Figura 8, el CTE recomienda que la flecha no supere el valor de 0.0015 veces la longitud.

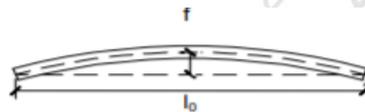


Figura 8. Flecha máxima en vigas. (Ministerio de Fomento, 2008)

**7.3.3.4 Excentricidad del apoyo de una viga:** se recomienda que, por seguridad, esta excentricidad ( $e_0$ ), no supere un valor de 5mm

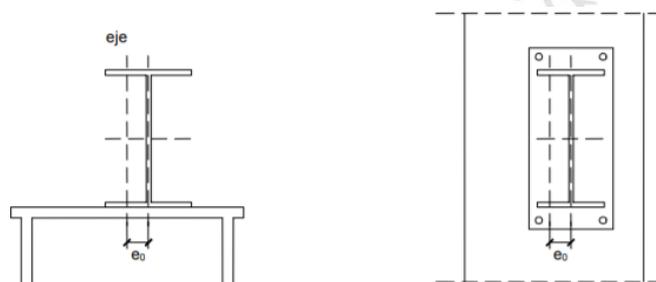


Figura 9. Excentricidad máxima en apoyo. (Ministerio de Fomento, 2008)

**7.3.3.5 Excentricidad de la base de una columna:** Se recomienda que esta excentricidad no exceda los 5mm en cualquier sentido.

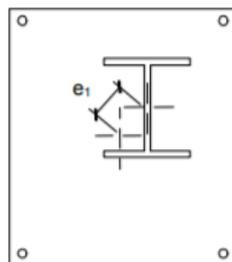


Figura 10. Excentricidad máxima en placa base. (Ministerio de Fomento, 2008)

## 8 Metodología

### 8.1 Lenguaje de programación VBA y Excel avanzado:

Como primer paso se investigó acerca de los principales elementos de una aplicación, los cuales son: formularios, controles, procedimientos, métodos, objetos y eventos. Adicional a esto, se consultó acerca del manejo de algunas fórmulas avanzadas de Excel.

### 8.2 Consulta de metodologías de diseño

Luego de la investigación acerca de la metodología para programar de manera sencilla con códigos en Visual Basic, se consultó sobre las metodologías de diseño de los elementos principales de la construcción de estructuras en acero, es decir, vigas, columnas y placas base para columnas. Para esto, se utilizaron como referencias las normas NSR-10 y la AISC 360-16. Estas metodologías de diseño están registradas en el marco teórico.

### 8.3 Desarrollo de código en VBA

El desarrollo de la programación se dividió en 3 partes, la primera hoja para el diseño de vigas de acero, la segunda hoja para el diseño de columnas o elementos a compresión, y una tercera hoja para el chequeo de área y espesores de platinas de anclaje de columnas o placas base.

Además, se creó una hoja de "inicio" sencilla, para que el usuario se pueda dirigir a cada una de las demás hojas según requiera. Para ello se insertaron botones según las hojas necesarias para el diseño, para el fondo se modeló un render mediante el software revit con la estructura del caso de estudio descrito en el presente trabajo y se le incluyó el logo de la empresa. Esta hoja de inicio se ilustra en la Figura 11.



Figura 11. Interfaz de inicio en VBA

### 8.3.1 Diseño de vigas de acero:

Para la programación del diseño de vigas, se tuvo como guía lo especificado en el capítulo F.2.6 de la NSR-10, este proceso se dividió en 6 paneles de cálculo o 6 cuadros de grupo como lo muestra la Figura 12. El primer cuadro de grupo se llama tipos de apoyos, que tiene el fin de elegir los apoyos en los extremos de la viga para una carga distribuida. El segundo cuadro de grupo llamado perfil con el objetivo de seleccionar el tipo de perfil a utilizar, calcular su esbeltez y verificar si la sección del perfil a utilizar es compacta, no compacta o esbelta. El tercer paso denominado combinación de carga, que tiene el fin de obtener la carga última que recibe la viga. El cuarto paso se llama verificación de solicitud por flexión que tiene el objetivo de calcular el momento actuante y momento nominal y verificar el cumplimiento del perfil. El quinto cuadro de grupo llamado verificación de solicitud por cortante, que tiene el fin de calcular la resistencia nominal y actuante al corte y verificar si este perfil es suficiente o no cumple. Y finalmente, se creó un sexto cuadro de grupo llamado verificación de deflexiones límite para calcular la deflexión que sufriría la viga y conocer si cumple por servicio.

The image shows a software interface for steel beam design, divided into six numbered panels:

- Panel 1: TIPO DE APOYOS** - Selection of support type (Articulado - Articulado) with a diagram of a simply supported beam under a distributed load  $q$ .
- Panel 2: PERFIL** - Selection of profile (PT8 250X100X5,0) and a table of properties:
 

Peso perfil (Kg/m):	26,18	Zx (cm <sup>3</sup> ):	259
Área (cm <sup>2</sup> ):	33,36	fy (Kg/cm <sup>2</sup> ):	3234
d (mm):	250	E (Kg/cm <sup>2</sup> ):	2100000
tw (mm):	0,00	lx (cm <sup>4</sup> ):	2554
bf (mm):	0	Sx (cm <sup>3</sup> ):	204
tf (mm):	0,0	Iy (cm <sup>4</sup> ):	609,85
b (mm):	100	ry (mm):	42,80
t (mm):	5	rtx (cm):	0,00
d inf (mm):	240,00	J (mm <sup>4</sup> ):	16,26
b inf (mm):	90,00		
h (mm):	0,0		

 A cross-section diagram shows dimensions  $d$ ,  $b$ ,  $t$ ,  $X$ , and  $Y$ .
- Panel 3: COMBINACION DE CARGA** - Input of load values:
 

Carga muerta D (Kg/m <sup>2</sup> )	180
Carga viva L (Kg/m <sup>2</sup> )	50
Carga granizo G (Kg/m <sup>2</sup> )	100
Le (m)	1,7
Longitud de la viga (m):	6,5

 Service load: 0,58718 Ton/m; Ultimate load: 0,755616 Ton/m.
- Panel 4: VERIFICACIÓN SOLICITUD POR FLEXION** - Input of length  $L_b$  and verification of limits (Fluencia, Pandeo lateral torsional, Pandeo local de la aleta, Fluencia de la aleta a tensión).
 

El momento nominal es: Mn (Ton-m):	
El momento actuante es: Ma (Ton-m):	
- Panel 5: VERIFICACIÓN SOLICITUD POR CORTANTE** - Verification of shear resistance.
 

Aw (cm <sup>2</sup> ):		Cv:	
El valor de la resistencia nominal al cortante es: Vn (Ton):		El valor de la resistencia actuante al cortante es: Va (Ton):	
- Panel 6: VERIFICACIÓN DEFLEXIONES LÍMITE** - Selection of deflection limit type (Vigas con acabado de yeso o otro material frágil) and verification of deflection.
 

Deflexión límite recomendada por la norma:	L/360
Deflexión admisible (mm):	
Deflexión actuante (mm):	

Figura 12. Interfaz de usuario para el diseño de vigas en VBA.

### 8.3.1.1 Tipos de apoyos:

Este panel de cálculo permite elegir los apoyos de la viga en los extremos, para lograrlo se insertó un control de formulario llamado "cuadro combinado", que despliega una lista de 4 opciones, que son: Articulado-Articulado, Empotrado-Articulado, Empotrado-Empotrado y Empotrado-Libre. Cuando el usuario selecciona una de estas opciones, se muestra una imagen que ilustra la viga. Para esto, se insertó en una hoja adicional las figuras, y se utilizó la función "índice" y "coincidir" para mostrar la imagen relacionada al tipo de elección que hace el usuario en el cuadro combinado. Este procedimiento se ilustra en la Figura 13.

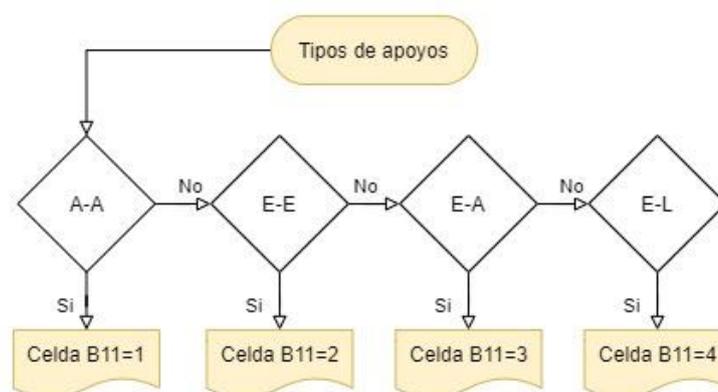


Figura 13. Diagrama para escoger los tipos de apoyos.

### 8.3.1.2 Perfil:

Este panel de cálculo se creó con el fin de verificar si el perfil seleccionado por el usuario clasifica como uno de sección compacta, no compacta o esbelta. Lo primero a realizar es seleccionar el tipo de perfil que se quiere utilizar como viga o elemento a flexión, para ello se insertó un control de formulario llamado "cuadro combinado", que despliega una lista de perfiles estructurales. Cuando el usuario selecciona el perfil, se muestran las propiedades principales y una imagen que ilustra la sección y sus dimensiones. Para lograr esto, lo primero que se hizo fue digitar, en una hoja adicional, las propiedades de 554 perfiles estructurales de acero de diferentes secciones, tomadas del manual AISC 360-16 y los catálogos publicados por la empresa de suministro de elementos de acero llamada G y J. y se utilizó la fórmula "Buscar V" en cada celda, para cruzar los valores almacenados en la hoja adicional con las propiedades de los perfiles. Y para lograr cambiar la imagen con la sección de acuerdo al perfil seleccionado, se insertó en una hoja adicional los tipos de sección de cada uno, y se utilizó la función

“índice” y “coincidir” para mostrar la imagen relacionada al perfil que se va a diseñar.

Luego de que el usuario seleccione el perfil a utilizar, puede continuar con el procedimiento presionando click izquierdo a uno de los 3 botones que se muestran, estos son “Verificar”, “Limpiar” y “Ayuda”. Para ello se insertaron 3 controles llamados Command button, cuya función y desarrollo son los siguientes:

Al presionar el botón de “Ayuda” se muestra una ventana con la Tabla F.2.2.4-1b de la NSR-10, con la cual el usuario puede ver las ecuaciones utilizadas como criterio para determinar el tipo de sección del perfil que se quiere utilizar como viga. Este procedimiento se ilustra mediante la Figura 14, para lo cual se creó una ventana o User form en la que se insertó la tabla y un control tipo Command button con la opción de que el usuario la cierre.

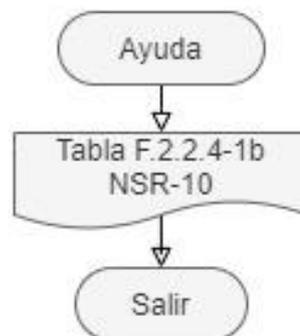


Figura 14. Esquema para la consulta del perfil mediante el comando Ayuda.

Cuando el usuario da click izquierdo en el botón de “Verificar”, Aparece en un Text box un mensaje advirtiéndole si la sección es compacta, no compacta o esbelta. Este procedimiento se explica en la Figura 15, para ello, el código calcula la relación “ancho/espesor” y la compara con los dos valores límite especificados por la norma (F.2.2.4-1b NSR-10), para las aletas y para las almas de la sección. Para mostrar estos valores al usuario se crearon 6 controles de formulario tipo Text Box con un fondo de color amarillo pálido, estos valores se comparan mediante condicionales tipo “IF” y dependiendo del resultado se especifica al usuario el mensaje con el resultado del tipo de sección. Además, para almacenar el resultado se creó una nueva variable llamada “condición”, para detectar en los demás cuadros de grupo que tipo de sección es la que se seleccionó. El valor de esta variable se guardó en una celda de la hoja de Excel.

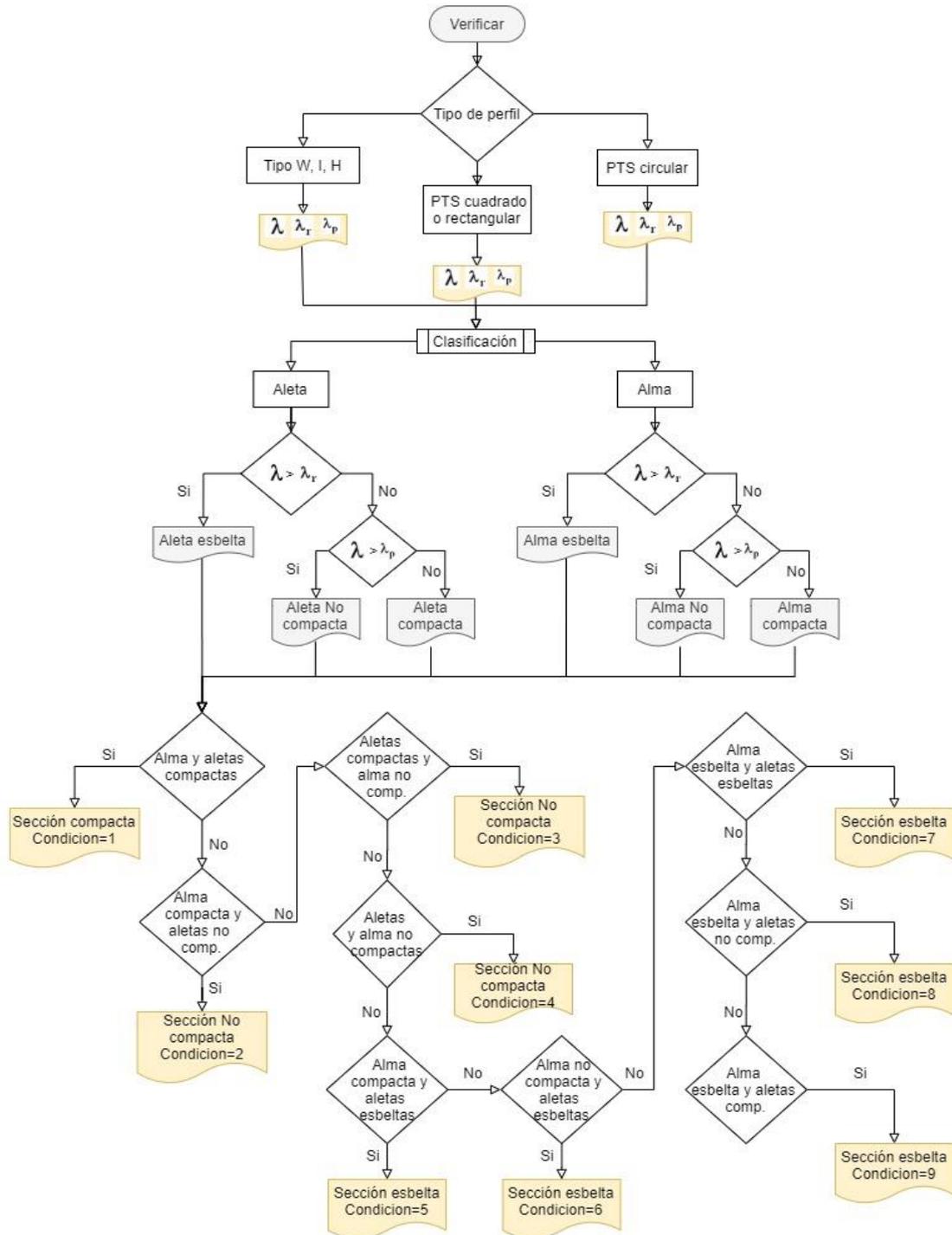


Figura 15. Diagrama para la clasificación del tipo de perfil según su sección

Al presionar el botón "limpiar" se eliminan los valores que haya en los Text Box insertados en este panel de cálculo.

### 8.3.1.3 Combinación de carga:

El panel de cálculo de combinación de carga tiene como fin calcular la carga total que llega a la viga. Para ello el usuario debe ingresar los valores de carga muerta, carga viva y carga de granizo.

Así como la longitud efectiva o longitud del área aferente y la longitud de la viga. Para almacenar estos valores se insertó para cada uno un control llamado Text box.

Luego de que el usuario ingrese los datos solicitados, puede continuar con el procedimiento dando click izquierdo a uno de los 3 botones que se muestran, estos son "Aplicar", "Limpiar" y "Ayuda". Para ello se insertaron 3 controles llamados Command button, cuya función y desarrollo se explican a continuación:

El control llamado "limpiar" sirve para borrar los datos que haya en todos los Text box.

El control denominado "aplicar" sirve para calcular la carga total que llega al perfil, su procedimiento se ilustra mediante el diagrama de la Figura 16, lo primero que se hizo en el código fue un filtro mediante el condicional "IF" para verificar que el usuario no ingrese valores negativos, si hay algún número negativo, se muestra un mensaje advirtiéndolo la corrección de estos datos. Si estos valores son positivos o iguales a cero, el programa verifica del cuadro de grupo número 1 si el usuario quiere utilizar una combinación de carga por el método de esfuerzos admisibles o por factores de carga y resistencia y dependiendo del caso calcula la carga última mediante las ecuaciones recomendadas en el título B la NSR-10. Para mostrar el resultado en Kg y Toneladas se insertaron dos Text box adicionales con un fondo amarillo pálido. (AIS, 2010a)

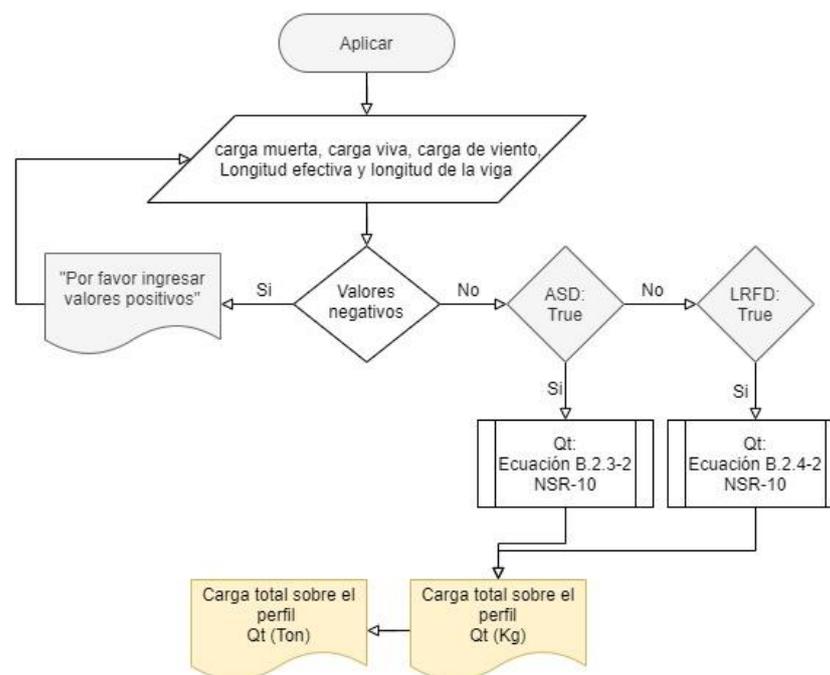


Figura 16. Diagrama para el cálculo de la carga total sobre el perfil

Finalmente, el control llamado "Ayuda" sirve para guiar al usuario en el ingreso de los valores de carga viva, carga muerta y longitud efectiva, además muestra al usuario la combinación de carga que se está utilizando. Su procedimiento se muestra en el diagrama de la Figura 17, el código permite mostrar una ventana al dar click izquierdo sobre este control, esta ventana presenta las siguientes preguntas: ¿Qué valores de carga viva utilizar? y ¿Qué valores de carga muerta utilizar?, ¿Qué es longitud efectiva? Y ¿Qué combinación de carga se está utilizando?, al frente de cada pregunta se insertó en la ventana un Command button llamados "Mostrar", los cuales, al presionar click izquierdo, permiten visualizar la Tabla B.4.2.2-1 y B.4.2.2-2 de la NSR-10 para el caso de carga viva, y la Tabla B.4.2.1-1 de la NSR-10 para el caso de carga muerta. Al presionar click izquierdo en "mostrar" al frente de la pregunta acerca de la longitud efectiva, muestra un esquema que lo explica. Y al presionar click izquierdo al frente de la pregunta sobre la combinación de carga muestra las ecuaciones que se utilizan según el método seleccionado del paso 1.

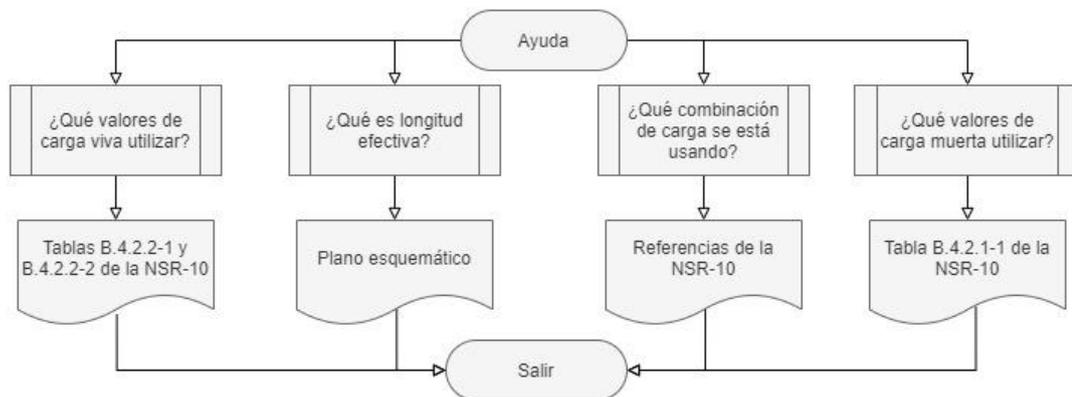


Figura 17. Diagrama de ayuda en el ingreso de valores

#### 8.3.1.4 Verificación de solicitud por flexión:

Este panel de cálculo tiene como objetivo verificar que la resistencia a la flexión del perfil seleccionado como viga sea mayor a la actuante en el elemento. Inicialmente, el usuario ingresa el valor de la longitud  $L_b$ , Luego de esto puede continuar dando click izquierdo a uno de los 3 botones que se muestran, estos son "Verificar", "Limpiar" y "Ayuda". Para ello se insertaron 3 controles llamados Command button, cuya función y desarrollo se explican a continuación:

Con el control llamado "limpiar" se eliminan todos los valores existentes en todos los Text Box del cuadro de grupo.

El botón llamado "Ayuda" sirve para guiar al usuario en el ingreso del valor de  $L_b$  y para conocer cómo calcula el programa el valor de  $L_r$ . Su procedimiento se muestra en el Figura 18, el código permite mostrar una ventana al dar click izquierdo sobre este control, esta ventana presenta las siguientes preguntas: ¿Qué es  $L_b$ ? y ¿Qué es  $L_r$ ?, al frente de cada pregunta se insertó en la ventana dos Command

button llamados “Mostrar”, los cuales, al presionar click izquierdo, permiten visualizar lo especificado en el título de la NSR-10.



Figura 18. Diagrama de ayuda para profundizar en los términos Lb y Lp.

Para el control de formulario llamado “Verificar” se realizó una serie de filtros mediante condicionales “IF”, mediante los cuales el código calcula los valores de Momento nominal según el tipo de perfil y el tipo de sección clasificada con el cuadro de grupo anterior, las ecuaciones se toman del capítulo F.2.6 de la NSR-10. También se crearon controles tipo Text Box para mostrar al usuario los valores de momento nominal, momento actuante y los principales valores con los que se calculan los mismos. En el código se comparan los momentos mediante un condicional “IF” y el cumplimiento de la resistencia requerida a flexión se muestra en un control creado tipo Text Box cuyo fondo cambia como muestra el diagrama de la Figura 19.

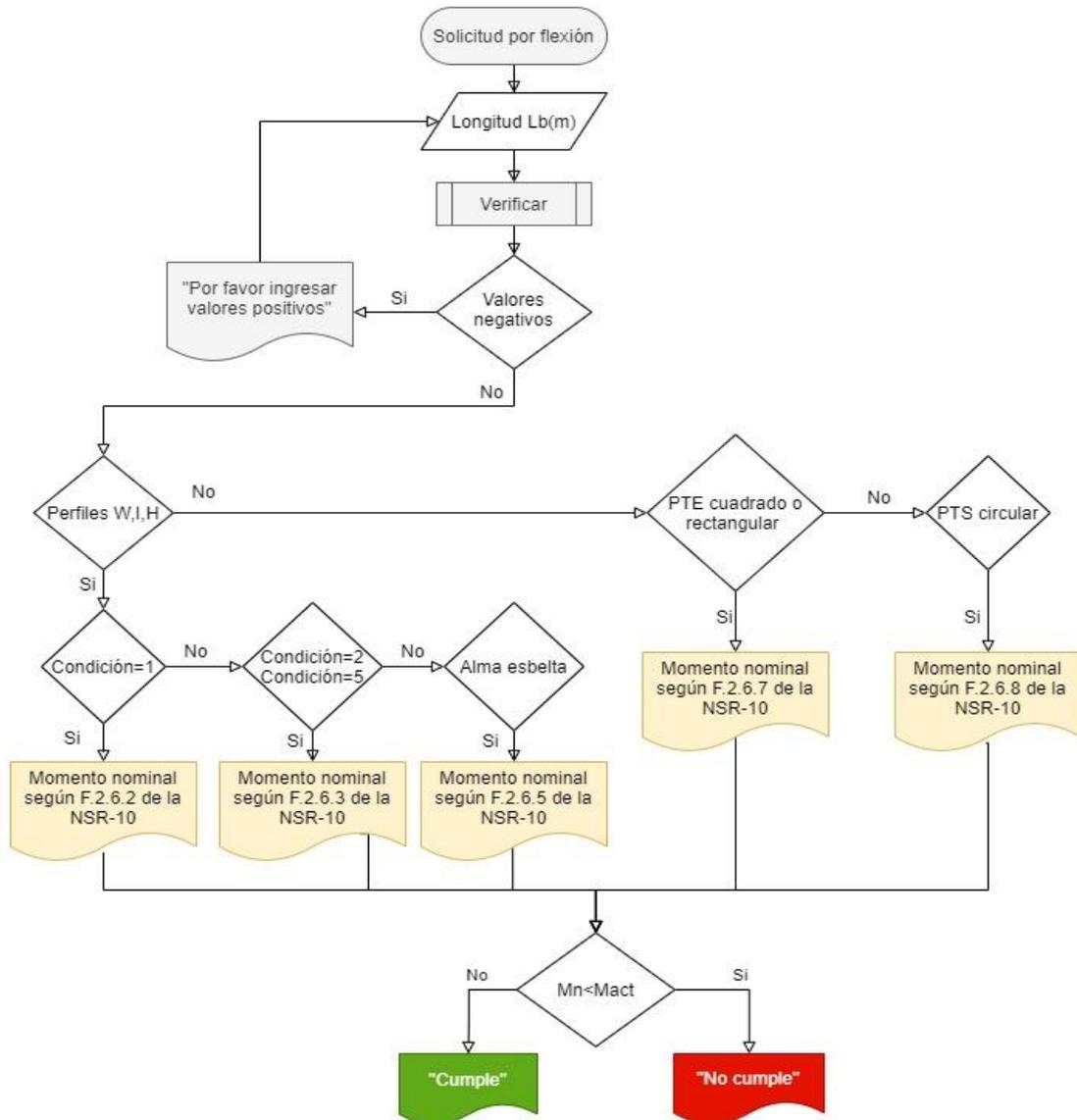


Figura 19. Diagrama para el diseño del elemento por flexión.

### 8.3.1.5 Verificación de solicitud por cortante:

Este panel de cálculo tiene como objetivo verificar que la resistencia al cortante del perfil seleccionado como viga sea mayor a la actuante en el elemento. Inicialmente, el usuario tiene la posibilidad de dar click izquierdo a uno de los 3 botones que se muestran, estos son "Verificar", "Limpiar" y "Ayuda". Para ello se insertaron 3 controles llamados Command button, cuya función y desarrollo se explican a continuación:

Con el control llamado "limpiar" se eliminan todos los valores existentes en todos los Text Box del cuadro de grupo.

El botón llamado "Ayuda" sirve para informar al usuario en las ecuaciones utilizadas. Su procedimiento se muestra en el Figura 20, el código permite mostrar una ventana al dar click izquierdo sobre este

control, esta ventana presenta lo especificado en el capítulo F.2.7 de la NSR-10.



Figura 20. Esquema de ayuda para profundizar en las ecuaciones utilizadas

Para el control de formulario llamado “Verificar” se realizó una serie de filtros mediante condicionales “IF”, mediante los cuales el código calcula los valores de la resistencia nominal al cortante según el tipo de perfil, las ecuaciones se toman del capítulo F.2.7 de la NSR-10. También se crearon controles tipo Text Box para mostrar al usuario los valores de cortante nominal, actuante y los principales valores con los que se calculan los mismos. En el código se comparan los resultados mediante un condicional “IF” y el cumplimiento de la resistencia requerida a flexión se muestra en un control creado tipo Text Box cuyo fondo cambia como muestra la Figura 21.

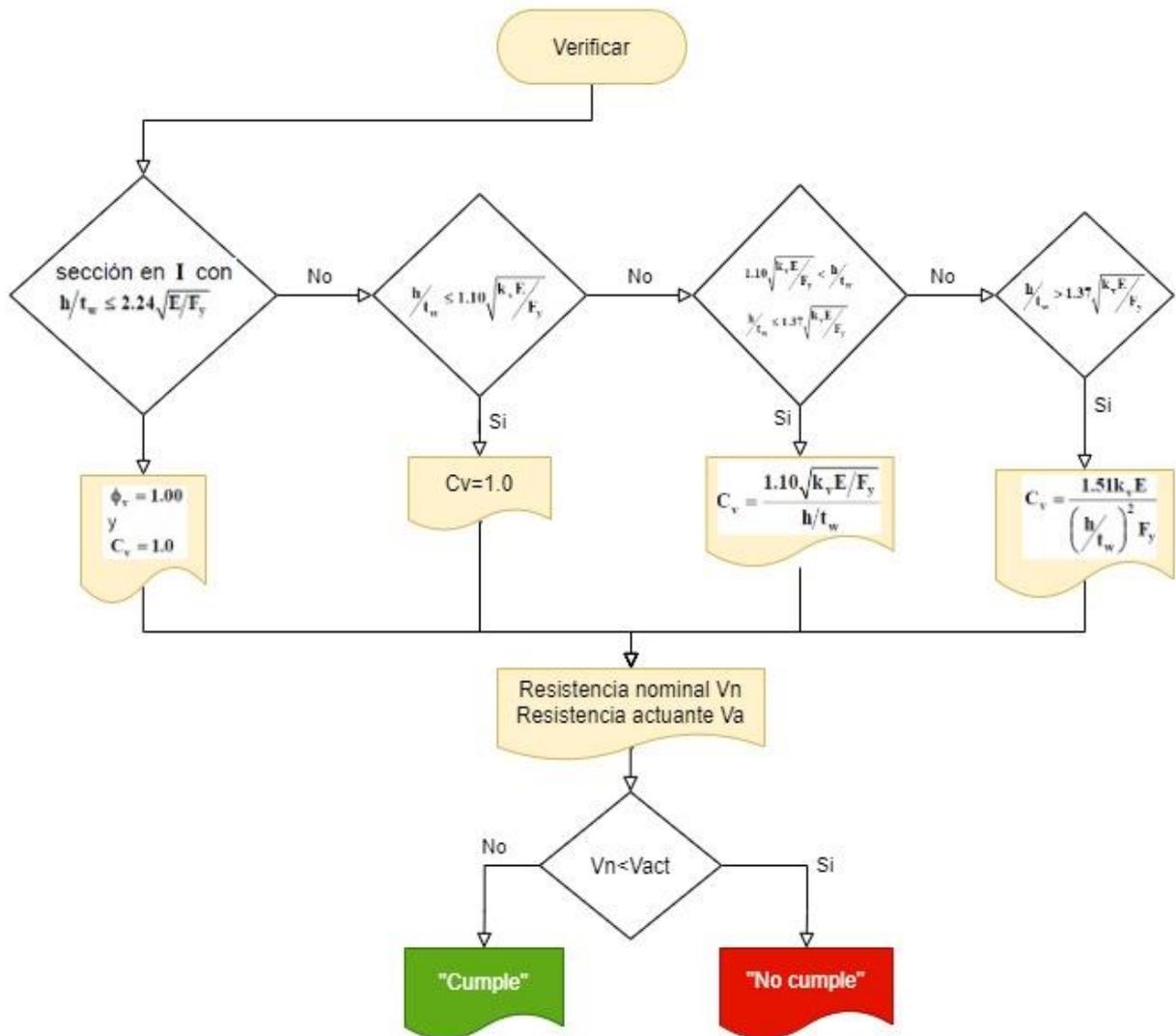


Figura 21. Diagrama para el diseño de elementos por cortante.

### 8.3.1.6 Verificación deflexiones límite:

La verificación de las deflexiones límite se creó con el fin de chequear que la deflexión del elemento no sea mayor al límite especificado por la NSR-10. Lo primero a realizar es seleccionar el tipo de elemento o función de la viga, para ello se insertó un control de formulario llamado "cuadro combinado", que despliega una lista de opciones según la Tabla F.5.3.4-1 de la NSR-10. Cuando el usuario selecciona el tipo, se muestra la ecuación de la deflexión límite utilizada. Para lograr esto, lo primero que se hizo fue digitar, en una hoja adicional, las opciones según la referencia y se utilizó la fórmula "Buscar V" en cada celda, para cruzar los valores almacenados en la hoja adicional con las ecuaciones. Luego de que el usuario seleccione el tipo de elemento, puede continuar con el procedimiento presionando click izquierdo a uno de los 3 botones que se muestran, estos son "Verificar", "Limpiar" y "Ayuda". Para ello se insertaron 3

controles llamados Command button, cuya función y desarrollo son los siguientes:

Con el control llamado "limpiar" se eliminan todos los valores existentes en todos los Text Box del cuadro de grupo.

El botón llamado "Ayuda" sirve para informar al usuario en las ecuaciones utilizadas según la función que haya elegido en el cuadro combinado. Su procedimiento se muestra en el Figura 22, el código permite mostrar una ventana al dar click izquierdo sobre este control, esta ventana presenta la Tabla F.5.3.4-1 de la NSR-10.

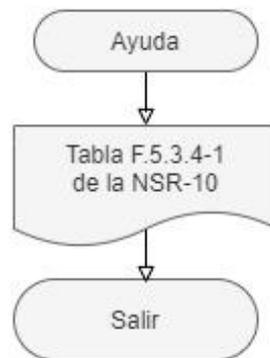


Figura 22. Diagrama para la guía al usuario sobre las ecuaciones utilizadas.

Para el control de formulario llamado "Verificar" se realizó una serie de filtros mediante condicionales "IF", mediante los cuales el código calcula los valores de la deflexión actuante y la deflexión límite según la especificación de la Tabla F.5.3.4-1 de la NSR-10. También se crearon controles tipo Text Box para mostrar al usuario los valores de deflexión límite, deflexión actuante y la ecuación usada para la deflexión límite según el caso. En el código se comparan los resultados mediante un condicional "IF" y el cumplimiento de la resistencia requerida a flexión se muestra en un control creado tipo Text Box cuyo fondo cambia como muestra el Figura 23.

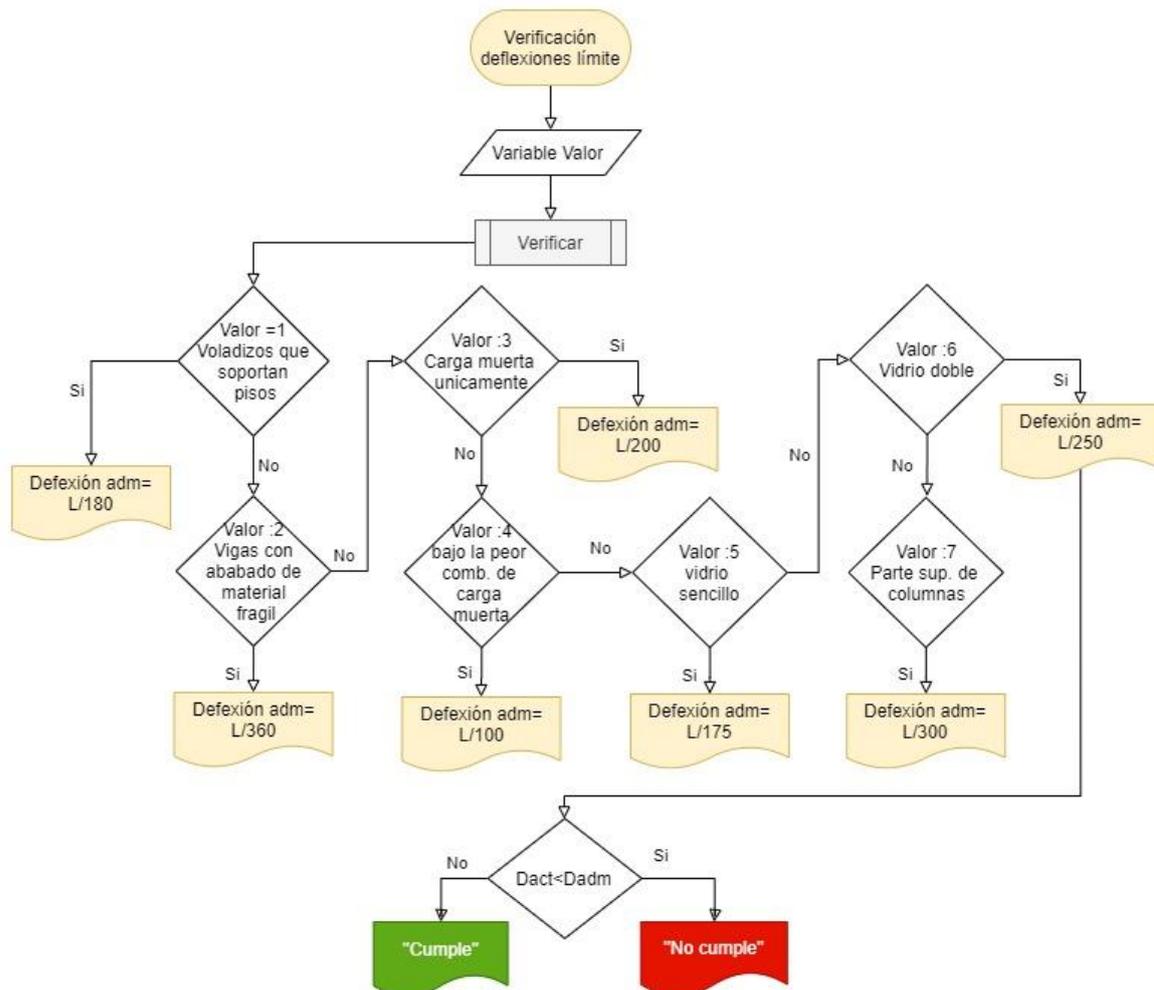


Figura 23. Diagrama para la verificación de las deflexiones límite.

### 8.3.2 Diseño de columnas

Para la programación del diseño de columnas se utilizó lo especificado en el título C de la AISC 360-16 y el título F.2.5 de la NSR-10, la verificación del cumplimiento a compresión se dividió en 3 pasos ó 3 cuadros de grupo ilustrados en la Figura 24. El primero llamado combinación de carga, que tiene el fin de obtener la carga última que llega a la columna. El segundo llamado Perfil, con el fin de seleccionar el tipo de perfil a utilizar, calcular su esbeltez y verificar si es un perfil de sección esbelta o No esbelta. Y el tercer cuadro de grupo llamado resistencia a la compresión, el cual sirve para calcular la carga nominal que puede resistir la columna y verificar si es mayor que la carga que llega al perfil de acuerdo al paso inicial.

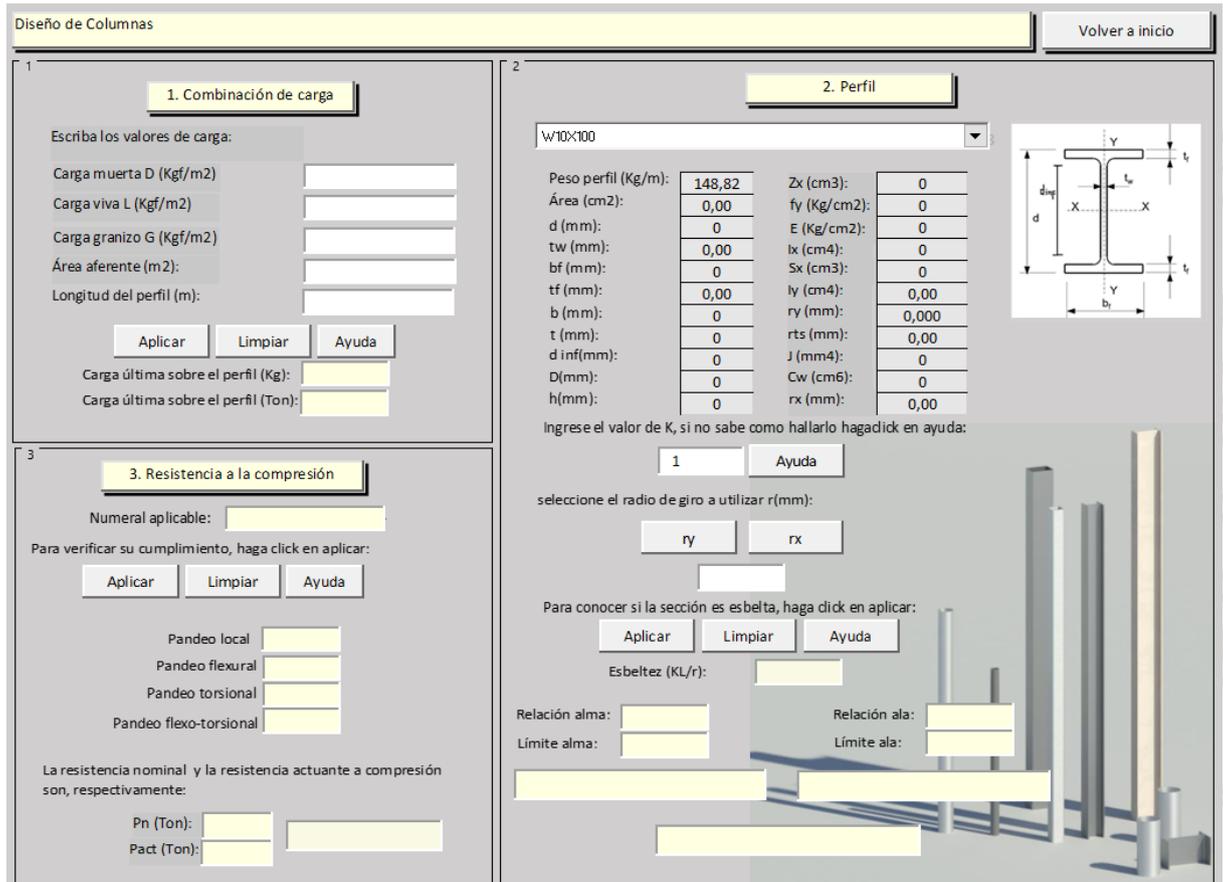


Figura 24. Interfaz de usuario para el diseño de columnas en VBA.

### 8.3.2.1 Combinación de carga

Este panel de cálculo tiene como objetivo calcular la carga total que llega a la columna. Para ello el usuario debe ingresar los valores de carga muerta, carga viva y carga de granizo. Así como el área aferente del elemento y su longitud. Para almacenar estos valores se insertó para cada uno un control llamado Text box.

Luego de que el usuario ingrese los datos solicitados, puede continuar con el procedimiento dando click izquierdo a uno de los 3 botones que se muestran, estos son "Aplicar", "Limpiar" y "Ayuda". Para ello se insertaron 3 controles llamados Command button, cuya función y desarrollo se explican a continuación:

El control llamado "limpiar" sirve para borrar los datos que haya en todos los Text box.

El control denominado "aplicar" sirve para calcular la carga total que llega al perfil, su procedimiento se ilustra mediante el diagrama de la Figura 25, lo primero que se hizo en el código fue un filtro mediante el condicional "IF" para verificar que el usuario no ingrese valores negativos, si hay algún número negativo, se muestra un mensaje advirtiendo la corrección de estos datos. Si estos valores son positivos o iguales a cero, el programa calcula la carga última

mediante la ecuación B.2.4-2 tomada del título B de la NSR-10. Para mostrar el resultado en Toneladas por metro lineal, se insertaron dos Text box adicionales con un fondo amarillo decolorado.

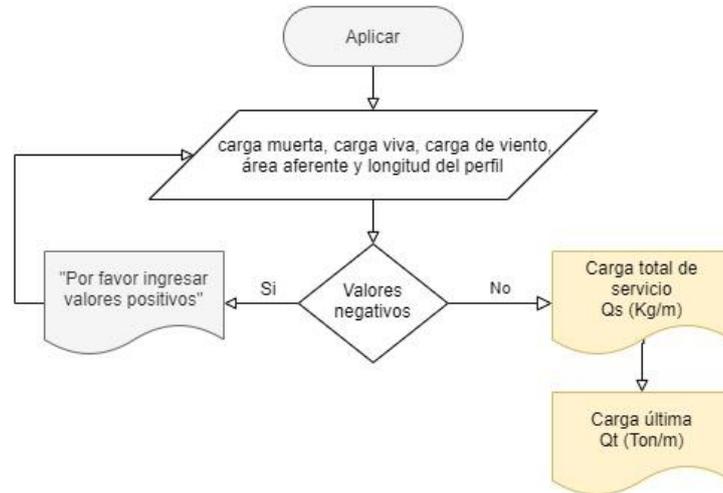


Figura 25. Diagrama para el cálculo de la carga total.

Finalmente, el control llamado “Ayuda” sirve para guiar al usuario en el ingreso de los valores de carga viva y carga muerta. Su procedimiento se muestra en el Figura 26, el código permite mostrar una ventana al dar click izquierdo sobre este control, esta ventana presenta las siguientes preguntas: ¿Qué valores de carga viva utilizar? y ¿Qué valores de carga muerta utilizar?, al frente de cada pregunta se insertó en la ventana dos Command button llamados “Mostrar”, los cuales, al presionar click izquierdo, permiten visualizar las Tablas B.4.2.2-1 y B.4.2.2-2 de la NSR-10 para el caso de carga viva, y la Tabla B.4.2.1-1 de la NSR-10 para el caso de carga muerta, estas tablas presentan los valores mínimos recomendados por la NSR-10.

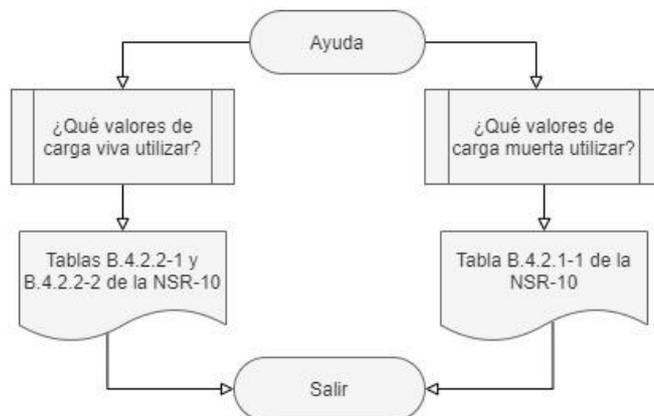


Figura 26. Diagrama para la ayuda en el ingreso de valores de carga.

### 8.3.2.2 Perfil:

Este panel de cálculo tiene como objetivo verificar si el perfil seleccionado por el usuario clasifica como uno de sección con

elementos esbeltos o de sección sin elementos esbeltos. Lo primero a realizar es seleccionar el tipo de perfil que se quiere utilizar como columna, para ello se insertó un control de formulario llamado "cuadro combinado", que despliega una lista de perfiles estructurales. Cuando el usuario selecciona el perfil, se muestran las propiedades principales y una imagen que ilustra la sección y sus dimensiones. Para lograr esto, lo primero que se hizo fue digitar, en una hoja adicional, las propiedades de 554 perfiles estructurales de acero de diferentes secciones, tomadas del manual AISC 360-16 y los catálogos publicados por la empresa de suministro de elementos de acero llamada G y J. y se utilizó la fórmula "Buscar V" en cada celda, para cruzar los valores almacenados en la hoja adicional con las propiedades de los perfiles. Y para lograr cambiar la imagen con la sección de acuerdo al perfil seleccionado, se insertó en una hoja adicional los tipos de sección de cada uno, y se utilizó la función "índice" y "coincidir" para mostrar la imagen relacionada al perfil que se va a diseñar. Lo segundo a realizar en este cuadro de grupo es ingresar el valor del factor de longitud efectiva para la columna (K), el cual depende de los tipos de apoyo que tenga la misma, este procedimiento se ilustra en el Figura 27 para esto se insertó un Text box y un Command button llamado Ayuda, que permite al usuario visualizar los valores recomendados para el factor de longitud efectiva, al dar click izquierdo en "Ayuda" aparece una ventana con la Tabla C.A.7-1 tomada de la AISC 360-16.

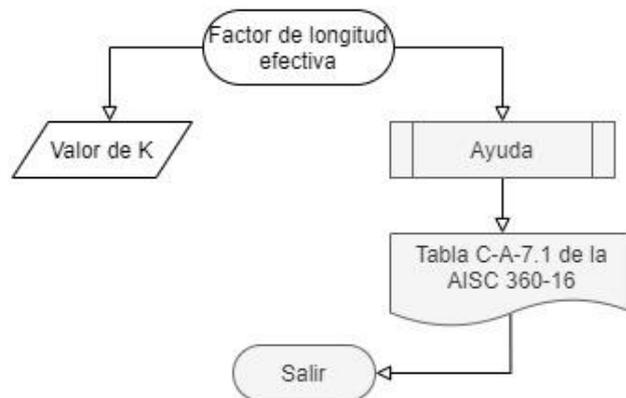


Figura 27. Diagrama para la ayuda y el ingreso del factor de longitud efectiva.

Luego de que el usuario ingrese el factor de longitud efectiva, puede continuar con el procedimiento presionando click izquierdo a uno de los 3 botones que se muestran, estos son "Aplicar", "Limpiar" y "Ayuda". Para ello se insertaron 3 controles llamados Command button, cuya función y desarrollo son los siguientes:

El botón llamado "limpiar" sirve para borrar los valores existentes en todos los Text Box del cuadro de grupo, a excepción de K, donde se

deja un valor por defecto de 1. Los procedimientos desarrollados con los botones llamados “Aplicar” y “Ayuda” se ilustran en el Figura 28. El botón “Ayuda” muestra una ventana con la Tabla F.2.2.4-1a de la NSR-10, con la que se informa al usuario el criterio utilizado para clasificar la sección al dar click en “Ayuda”.

El botón denominado “Aplicar” sirve para determinar la esbeltez de la sección, clasificarla como una sección con o sin elementos esbeltos, y mostrar los valores que se comparan para definir esta clasificación. Para este procedimiento, el código calcula la esbeltez, luego detecta el tipo de perfil al buscar en una celda un valor y relacionarlo con un intervalo de valores según la lista de las propiedades de los perfiles. Este valor se diferencia en el código con la ayuda de un condicional “IF” para cada tipo de perfil, una vez se diferencia el tipo se calculan los valores de la relación de esbeltez y el valor límite según la tabla F.2.2.4-1 a de la NSR-10, mediante un condicional “IF” se comparan estos dos valores y se determina si la sección es con o sin elementos esbeltos, estos datos se muestran mediante un Text box para cada uno y se muestra en un Text box del tercer cuadro de grupo el numeral a aplicar según sea el caso. Para saber reconocerlo se guarda en una celda el valor de una variable llamada “Caso” que puede tener un valor de 1 a 6 y me define que procedimiento seguir en el tercer cuadro de grupo. Cuando Caso=1, es un perfil tubular estructural cuadrado o rectangular sin elementos esbeltos. Cuando Caso=2, se trata de un PTS o PTE (perfil tubular estructural) cuadrado o rectangular con elementos esbeltos. Cuando Caso=3, se trata de un perfil tipo Wf, IP o un perfil tipo H sin elementos esbeltos. Cuando Caso=4, es un perfil tipo Wf, IP o un perfil tipo H con elementos esbeltos. Si Caso=5, se trata de un perfil tipo PTS circular sin elementos esbeltos. Si Caso=6, es un perfil PTS circular con elementos esbeltos.

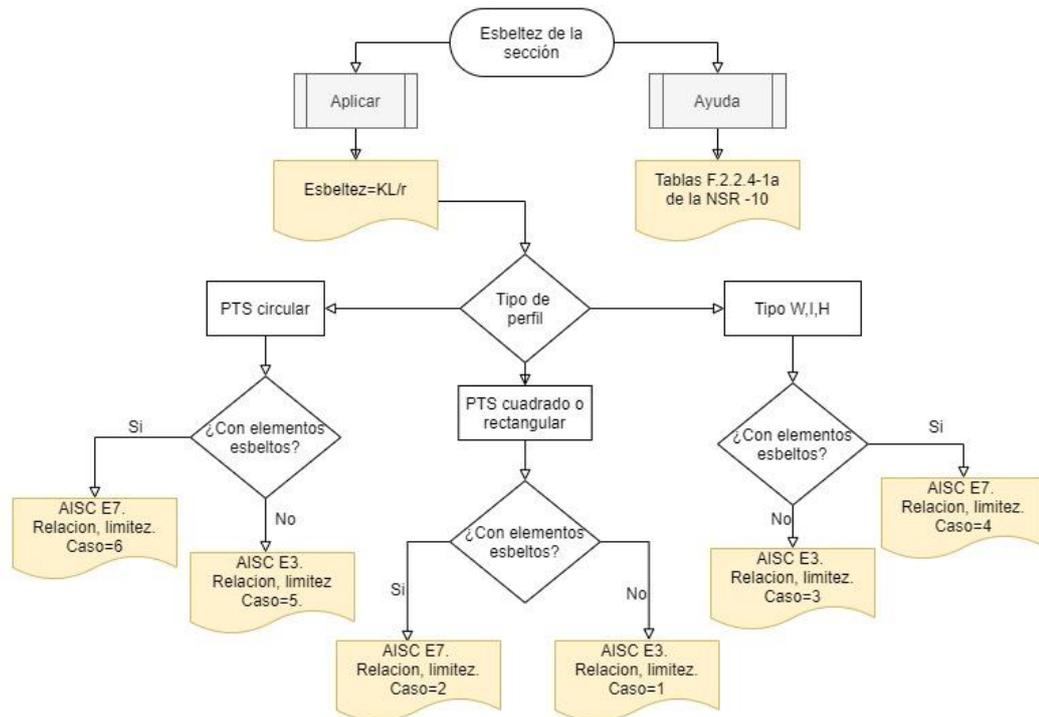


Figura 28. Diagrama para la clasificación del perfil según su sección

### 8.3.2.3 Resistencia a la compresión:

Este panel de cálculo tiene como objetivo verificar que la resistencia a compresión del perfil seleccionado como columna sea mayor a la carga última a compresión que recibe. El proceso se ilustra en el Figura 29, para lograr esto se hizo lo siguiente: En el procedimiento anterior se creó una variable llamada Caso, cuyo valor se almacenó en una celda de Excel, en base al valor que tenga se calcula la resistencia según las ecuaciones especificadas en los numerales E.3 y E.7 de la AISC 360-16. Se creó un botón llamado "Aplicar", cuando el usuario le da click izquierdo, el código calcula las ecuaciones, aplicándolas según sea el caso. También se crearon controles tipo Text Box para mostrar al usuario los valores de resistencia nominal, resistencia última y los principales valores con los que se calcula la resistencia del elemento. En el código se comparan las resistencias mediante un condicional "IF" y el cumplimiento de la resistencia requerida a compresión se muestra en un control creado tipo Text Box cuyo fondo cambia como muestra el diagrama.

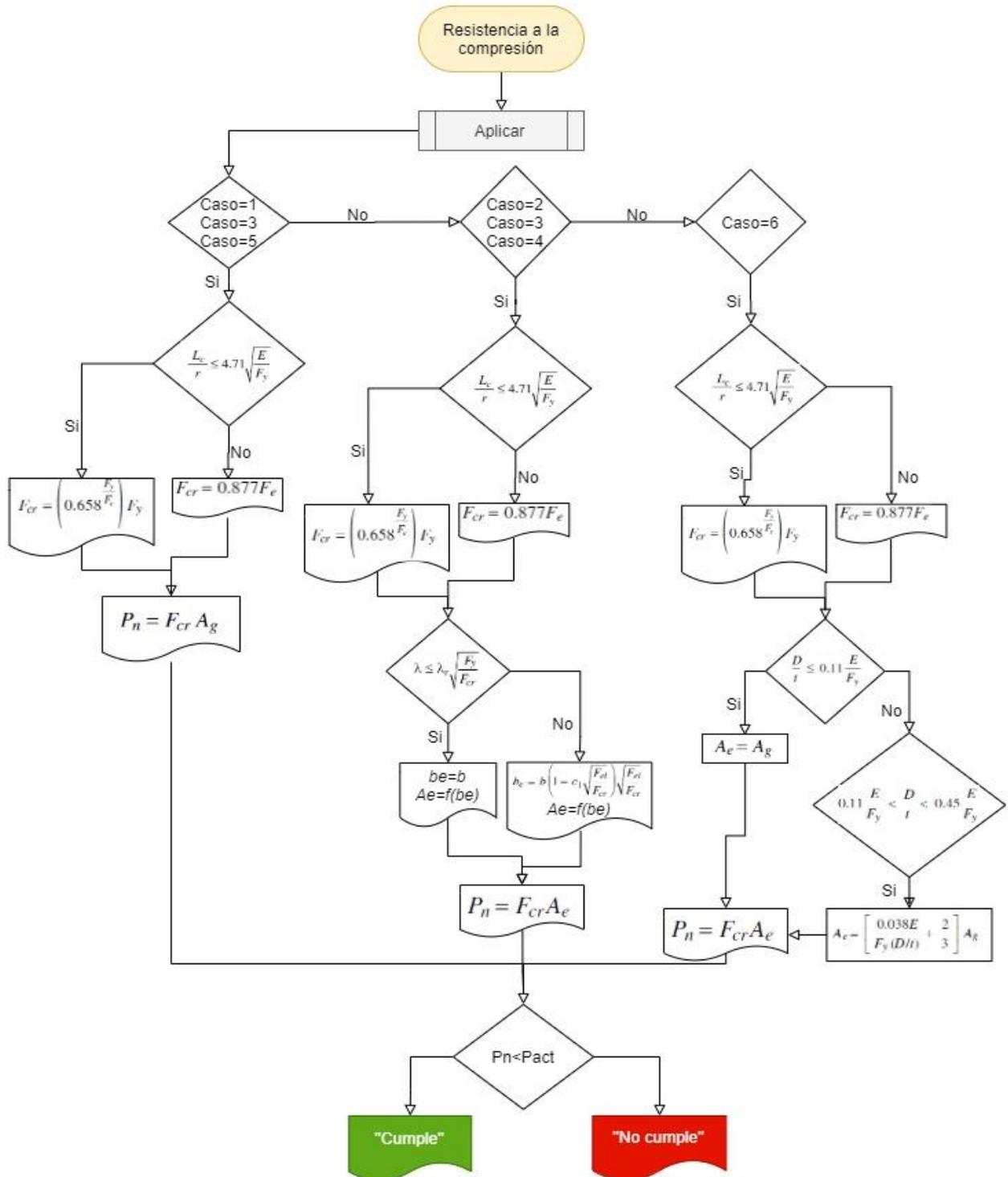


Figura 29. Diagrama para el diseño de elementos a compresión.

### 8.3.3 Diseño de placas base:

La programación para el diseño de las placas base, se dividió dos partes para el cálculo de las dimensiones básicas de una placa base, que son el área mínima y el espesor mínimo requerido. Para cada uno

de estos se diseñó un cuadro de grupo y se insertó una imagen de una placa base mediante el software Autodesk Revit®. Ver Figura 30.

Figura 30. Interfaz de usuario para el diseño de placas base en VBA.

### 8.3.3.1 Área mínima por aplastamiento de la base

Este panel de cálculo tiene como fin verificar que el área mínima de la placa base para que no se produzca falla por aplastamiento en el concreto de contacto con la misma, para ello se utilizó lo especificado en el capítulo F.2.10.8 de la NSR-10. El desarrollo de este procedimiento se ilustra en la Figura 31. Para almacenar las dimensiones de la platina a verificar, la resistencia del concreto y la carga última a recibir por la platina, se insertaron comandos tipo Text box. Este mismo tipo de comandos se utilizaron para los valores de salida que son el área mínima, el área existente y otro Text box para arrojar un mensaje de cumplimiento. Para desarrollar el cálculo se creó un botón llamado “aplicar”. También se insertó un botón de “limpiar” para eliminar todo el contenido de los Text box, y se crearon dos botones de “Ayuda”, uno muestra una ventana o formulario con información acerca de la ecuación utilizada y su referencia. Y el otro botón de “ayuda” muestra información acerca de los parámetros de entrada, como guía al usuario para pre dimensionar la placa base.

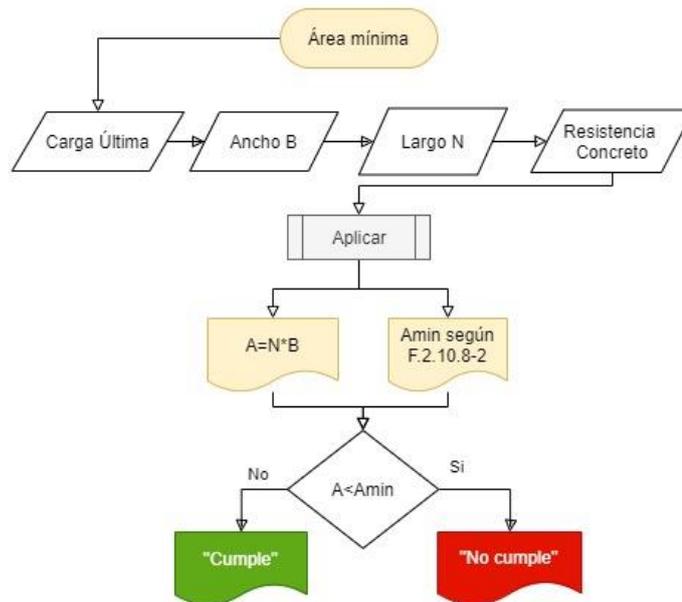


Figura 31. Diagrama para la verificación del área mínima de la placa base.

### 8.3.3.2 Espesor de la placa base:

Este panel de cálculo se realizó con el fin de calcular el espesor mínimo requerido de la platina base para columnas. Se utilizó lo especificado en el capítulo 7 del libro de diseño de estructuras metálicas de acero (McCormac & Csernak, 2012). Se insertó dos controles tipo Text box para que el usuario ingrese las dimensiones de la sección de la columna utilizada. Se insertaron 3 controles tipo botón: uno llamado "Limpiar" con el fin de eliminar la información existente en todos los objetos tipo Text box del cuadro de grupo; otro botón llamado "ayuda" con el fin de mostrar una ventana con información de las ecuaciones utilizadas y su referencia. Y un tercer botón llamado "aplicar" para ejecutar el procedimiento y mostrar los resultados en otros 4 controles de formulario tipo Text box. Este cuadro de grupo se ilustra mediante el diagrama de la Figura 32.

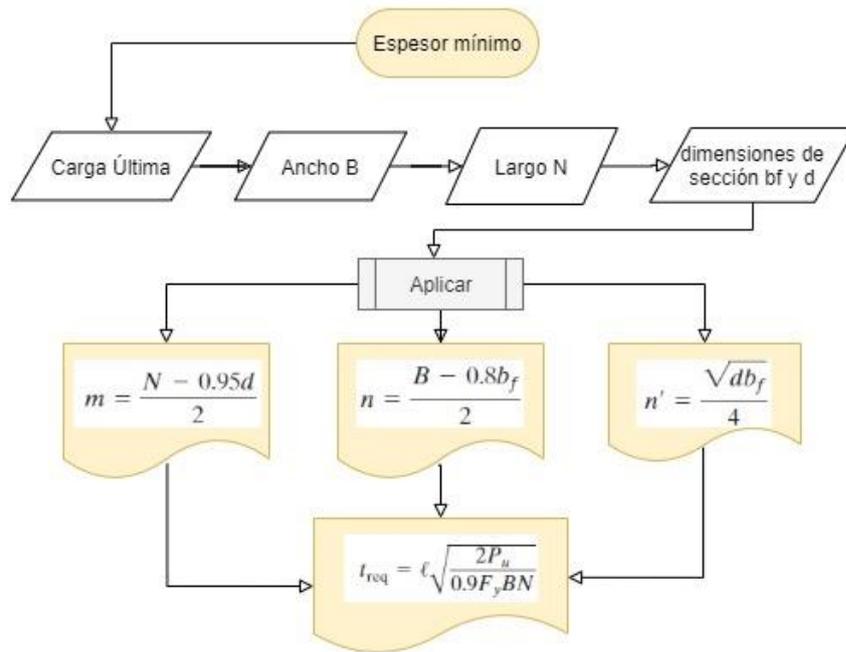


Figura 32. Diagrama para el cálculo del espesor mínimo de la placa base.

#### 8.4 Presentación de plano esquemático de cotización:

Se plantea la posibilidad de modelar las estructuras en el software Revit para acompañar la cotización formal de las estructuras metálicas. La propuesta se adjunta en el ANEXO A

#### 8.5 Procedimiento de supervisión en fabricación y montaje de estructuras de acero:

Luego de implementar la programación para mejorar el proceso previo a la adjudicación de un proyecto, se desarrolló un procedimiento básico de guía para la supervisión de la fase de fabricación y montaje de una estructura metálica. Utilizando las definiciones y los criterios establecidos en el marco teórico se estableció una guía para una adecuada supervisión.

## 9 Caso de estudio

La aplicación de la programación se realizó con la verificación de los elementos estructurales de una cubierta en estructura metálica solicitada para una bodega de 682 m<sup>2</sup>, ubicada en la ciudad de Medellín, Antioquia. En este caso, el cliente solicitó una propuesta para el cambio de la cubierta existente, como remodelación para una futura renta. La conformada por columnas y cerchas compuestas por barras lisas de diferentes diámetros, que sostenían un techo de tejas onduladas de fibrocemento, como lo muestra Figura 33.

La bodega tiene 52.4 m de longitud y 13 m de anchura, la cual estaba construida con pendientes en el sentido longitudinal, y también comprendía columnas atravesadas en el centro de la bodega. Por eso, el ingeniero encargado pensó en dimensionar una nueva estructura para cargar una cubierta a dos aguas con las canoas en el sentido de los 52.4m y con el fin de ubicar las columnas cerca a los muros existentes en mampostería.



Figura 33. Registro fotográfico de la visita inicial a la bodega existente.

Para el predimensionamiento, se modeló la estructura con columnas y vigas de cerchas en perfiles de alma llena tipo W16x26, con perlines en perfil tipo PHR (tipo C laminado en frío) 305x80x2.0mm y con placas base de platina en espesor de 3/4", además, vigas de amarre del mismo perfil utilizado en columnas y cerchas. Se plantearon 7 cerchas en los 52,4m con luces de

máximo 10m entre las mismas. El cliente quiso que se cofizara teja standing Seam doble capa, tipo sanduche con poliuretano. La propuesta presentada se ilustra en la Figura 34. Esta se modeló con el software Autodesk Revit®.



Figura 34. Detalle vigas típicas de cercha - Elaboración propia.

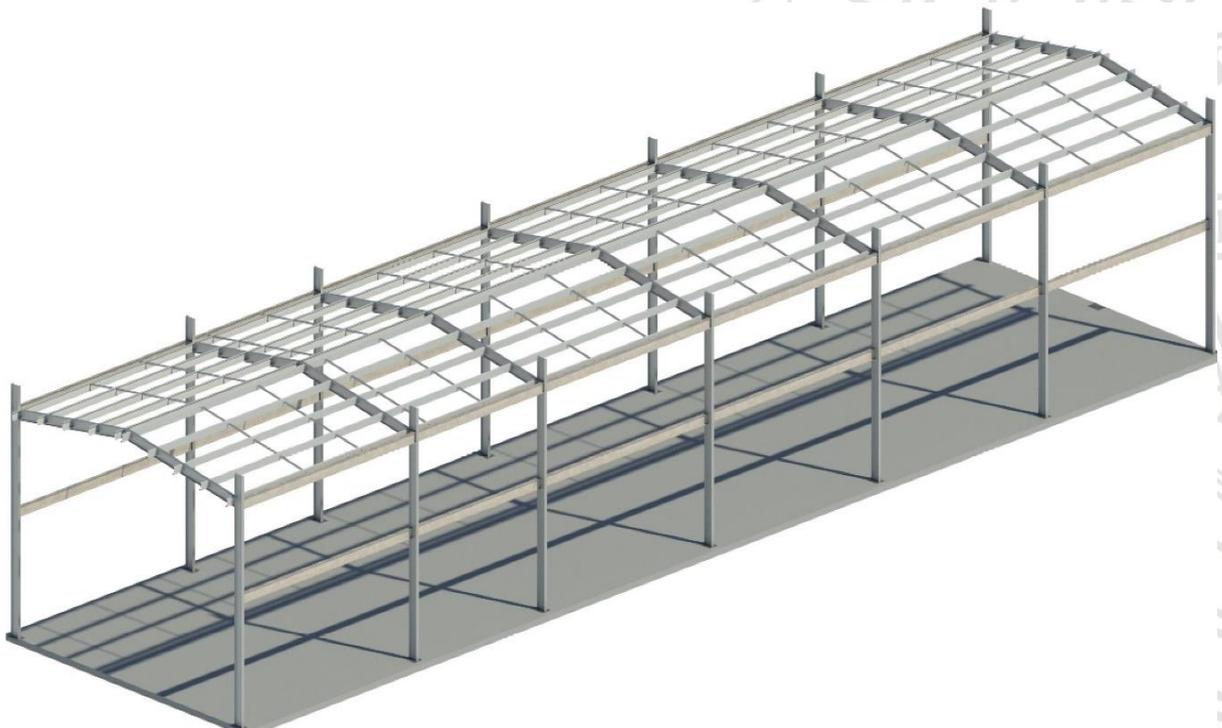
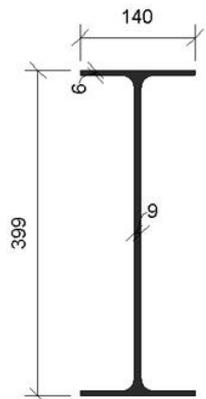
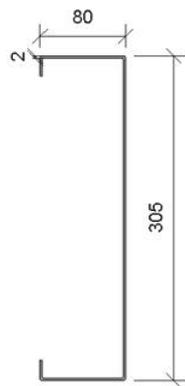


Figura 35. Isométrico estructura metálica nueva - Elaboración propia.

A continuación, se muestra la sección de los perfiles utilizados en el predimensionamiento y el detalle de la placa base de la columna:



W16x26



PHR 305x80x2.0mm

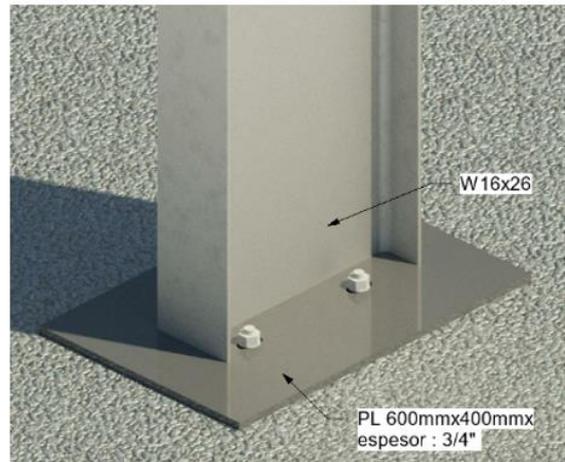


Figura 36. Detalles generales – Elaboración propia.

## 10 Resultados

### 10.1 Aplicación del programa de diseño:

Chequeo de los elementos principales de la estructura metálica para el caso de estudio.

#### 10.1.1 Chequeo de las vigas W16x26:

**10.1.1.1 Tipos de apoyos:** Empotrado-articulado, puesto que en la conexión viga columna se propone continuar los patines de la viga con platina para establecer restricción a momento. Ver Figura 37.

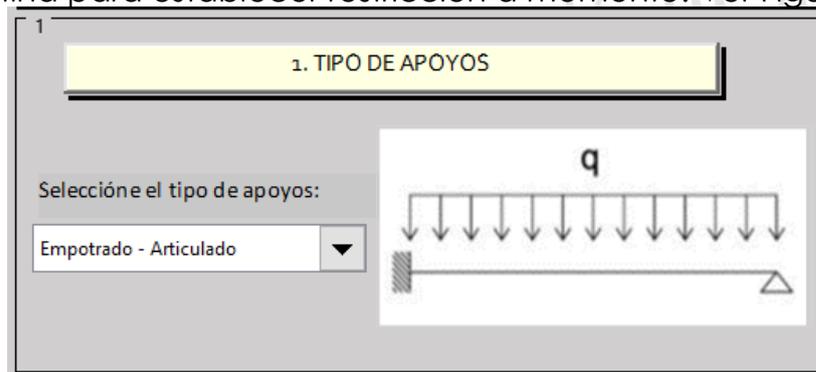


Figura 37. Apoyos para la viga W16x26.

**10.1.1.2 Selección del perfil:** En la Figura 38, se observa que el perfil W16x26 clasifica como una sección compacta:

2

2. PERFIL

W16X26

Peso perfil (Kg/m):	38,74	Zx (cm3):	724
Área (cm2):	49,50	fy (Kg/cm2):	3515
d (mm):	399	E (Kg/cm2):	2038700
tw (mm):	6,35	Ix (cm4):	12500
bf (mm):	140	Sx (cm3):	629
tf (mm):	8,9	Iy (cm4):	399,17
b (mm):	0	ry (mm):	28,45
t (mm):	0	rts (mm):	3,51
d inf(mm):	381,28	J (mm4):	109053
b inf(mm):	0,00		
h(mm):	360,7		

Para conocer si la sección es Compacta, No compacta o Esbelta, a continuación haga click en verificar:

Verificar    Limpiar    Ayuda

Lambda (ala):	7,9006772	Lambda (alma):	60,044094
Lambda p:	9,1516118	Lambda p:	90,552791
Lambda r:	24,083189	Lambda r:	137,27417

Ala compacta    Alma compacta

Sección compacta

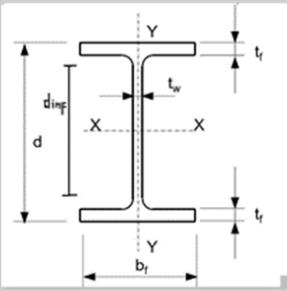
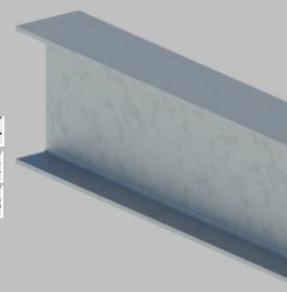



Figura 38. Perfil y clasificación del perfil.

**10.1.1.3 Combinación de carga:** Para la carga viva se utiliza 50 kgf/m<sup>2</sup> por metro cuadrado, la mínima recomendada por la NSR-10 en la tabla B.4.2.2-2, para cubiertas de 15 grados o menos de pendiente. Para carga muerta se usa 160 kg por metro cuadrado, lo mínimo especificado por la NSR-10 en la Tabla B.4.2.2-1. En carga de granizo se utiliza lo especificado en el capítulo B.4.8.3.2. Esto se ilustra en la Figura 39.

3

3. COMBINACION DE CARGA

Escriba los valores de carga:

Carga muerta D (Kgf/m2)	160
Carga viva L (Kgf/m2)	50
Carga granizo G (Kgf/m2)	100
Le (m)	9
Longitud de la viga (m):	6

Aplicar    Limpiar    Ayuda

Carga de servicio (Ton/m)	2,82874
Carga última (Ton/m)	3,664488

Figura 39. Combinación de carga.

**10.1.1.4 Solicitud por flexión:** Para esta verificación, se utiliza una longitud comprendida entre dos puntos que están arriostrados de 1,5m. En la Figura 40 se observa el cumplimiento.

4. VERIFICACIÓN SOLICITUD POR FLEXION

Ingrese el valor de Lb en metros, los decimales con coma ",":

Lb (m): 1,5

Verificar Limpiar Ayuda

Los valores de Lp y Lr son, respectivamente:

Lp (m): 1,2058086

Lr (m): 3,4240044

Estados límite:

Fluencia 25,4486

Pandel lateral torsional 24,126042

Pandel local de la aleta No aplica

Pandeo local del alma No aplica

Fluencia de la aleta a tensión No aplica

El momento nominal es:

Mn (Ton-m): 21,713437

El momento actuante es:

Ma (Ton-m): 16,490196

Cumple por solicitud de momento

Figura 40. Cumplimiento por flexión.

**10.1.1.5 Solicitud por cortante:** En la Figura 41 se puede observar el cumplimiento del perfil por fuerza cortante:

5. VERIFICACIÓN SOLICITUD POR CORTANTE

Para verificar si el perfil cumple por resistencia al corte haga click en verificar:

Verificar Limpiar Ayuda

Aw (cm2): 22,90318 Cv: 1

El valor de la resistencia nominal al cortante es:

Vn (Ton): 43,472525

El valor de la resistencia actuante al cortante es:

Va (Ton): 13,74183

Cumple por solicitud de cortante

Figura 41. Cumplimiento por cortante.

**10.1.1.6 Deflexiones límite:** En este paso se chequeó la máxima restricción que se propone para una deflexión mínima, esto es en el caso de vigas que sostienen algún material frágil. Se ilustra en la Figura 42.

6. VERIFICACIÓN DEFLEXIONES LÍMITE

Seleccione a continuación el tipo de función de la viga y haga click en verificar para saber si cumple:

Vigas con acabado de yeso u otro material fragil

Deflexión límite recomendada por la norma: L/360

Verificar Limpiar Ayuda

Deflexión admisible (mm): 16,666666

Deflexión actuante (mm): 7,7761202

Cumple

## 10.1.2 Chequeo de columnas W16x26:

**10.1.2.1 Combinación de carga:** Para la carga viva se utiliza  $50 \text{ kgf/m}^2$ , la mínima recomendada por la NSR-10 en la Tabla B.4.2.2-2, para cubiertas de 15 grados o menos de pendiente. Para carga muerta se usa  $160 \text{ kgf/m}^2$ , lo mínimo especificado por la NSR-10 en la tabla B.4.2.2-1. Y a esto se le suma el peso de las vigas y perlines que

Figura 42. Deflexión límite

soporta. En carga de granizo se utiliza lo especificado en el capítulo B.4.8.3.2. El área aferente de la estructura es  $54 \text{ m}^2$  y las columnas son de 9 m de altura:

The screenshot shows a software window titled "1. Combinación de carga". It contains a form with the following fields and values:

Escriba los valores de carga:	
Carga muerta D (Kgf/m2)	191
Carga viva L (Kgf/m2)	50
Carga granizo G (Kgf/m2)	100
Área aferente (m2):	54
Longitud del perfil (m):	9

Below the input fields are three buttons: "Aplicar", "Limpiar", and "Ayuda".

Carga total sobre el perfil (Kg):	23716,8
Carga total sobre el perfil (Ton):	23,7168

Figura 43. Combinación de carga.

**8.2.1.2. Perfil:** En la Figura 44, se puede ver que el perfil se clasifica como un perfil de sección con elementos esbeltos:

2

**2. Perfil**

W16X26

Peso perfil (Kg/m):	38,74	Zx (cm3):	724
Área (cm2):	49,50	fy (Kg/cm2):	3515
d (mm):	399	E (Kg/cm2):	2038700
tw (mm):	6,35	Ix (cm4):	12500
bf (mm):	140	Sx (cm3):	629
tf (mm):	8,86	Iy (cm4):	399,17
b (mm):	0	ry (mm):	28,448
t (mm):	0	rts (mm):	3,51
d inf (mm):	381	J (mm4):	109053
D (mm):	0	Cw (cm6):	151723
h (mm):	361	rx (mm):	159,00

Ingrese el valor de K, si no sabe como hallarlo hagadick en ayuda:

0,5

seleccione el radio de giro a utilizar r (mm):

28,448

Para conocer si la sección es esbelta, haga click en aplicar:

Esbeltez (KL/r): **158,18335**

Relación alma:	60,044094	Relación alca:	7,9006772
Límite alma:	35,883951	Límite alca:	13,486585

Figura 44. Metodología de diseño.

**8.2.1.3. Resistencia a la compresión:** En la Figura 45, se observa que la columna resiste la carga de solicitud a compresión.

3

**3. Resistencia a la compresión**

Numeral aplicable:

Para verificar su cumplimiento, haga click en aplicar:

Pandeo local

Pandeo flexural

Pandeo torsional

Pandeo flexo-torsional

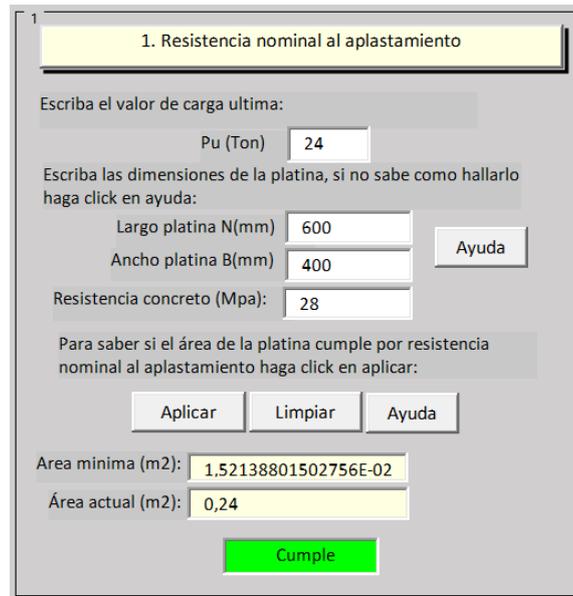
La resistencia nominal y la resistencia actuante a compresión son, respectivamente:

Pn (Ton):	<input type="text" value="27,6503"/>	<input type="button" value="Cumple"/>
Pact (Ton):	<input type="text" value="23,7168"/>	

Figura 45. Cumplimiento del perfil a compresión.

### 10.1.3 Diseño de la placa base:

**10.1.3.1 Resistencia nominal al aplastamiento:** La Figura 46 muestra el cumplimiento del área, se utilizó el mismo valor de carga última utilizado en las columnas y sumándole el peso propio de la columna, teniendo en cuenta que el peso por metro lineal de un perfil W16x26 es de 38,74 Kgf/m<sup>2</sup>.



1

#### 1. Resistencia nominal al aplastamiento

Escriba el valor de carga ultima:

Pu (Ton)

Escriba las dimensiones de la platina, si no sabe como hallarlo haga click en ayuda:

Largo platina N(mm)

Ancho platina B(mm)

Resistencia concreto (Mpa):

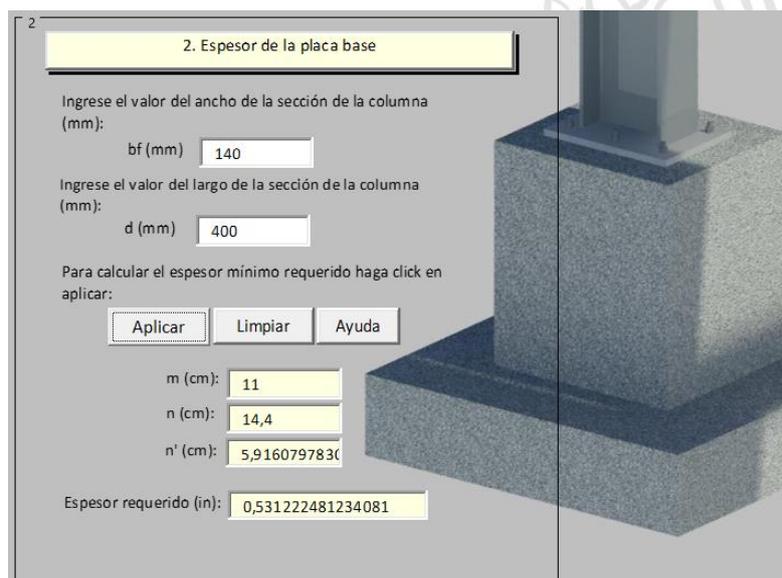
Para saber si el área de la platina cumple por resistencia nominal al aplastamiento haga click en aplicar:

Area minima (m2):

Área actual (m2):

Figura 46. Verificación de área por aplastamiento.

**10.1.3.2 Espesor mínimo requerido:** En la Figura 47 se muestra el resultado de la verificación del espesor mínimo requerido para la placa base, el cuál es de 0,53 in. Teniendo en cuenta que en se pre diseñó con un espesor de  $\frac{3}{4}$ " , es decir 0,75 in. Se cumple con el espesor requerido.



2

#### 2. Espesor de la placa base

Ingrese el valor del ancho de la sección de la columna (mm):

bf (mm)

Ingrese el valor del largo de la sección de la columna (mm):

d (mm)

Para calcular el espesor mínimo requerido haga click en aplicar:

m (cm):

n (cm):

n' (cm):

Espesor requerido (in):

Figure 47. Espesor mínimo requerido.

## **10.2 Procedimiento de supervisión de fabricación y montaje de estructura.**

Con la ayuda de algunos criterios especificados en el código de construcción de estructuras metálicas AISC 303-16, y la instrucción de acero estructural del ministerio de fomento de España, se desarrolló un procedimiento básico de control y supervisión para el montaje de una estructura para una adecuada entrega de servicio.

### **10.2.1 Fabricación:**

**10.2.2 Conformado de las piezas:** Se deben eliminar los defectos provenientes de la empresa que suministra los perfiles y láminas.

**10.2.3 Enderezado:** Se deben corregir las desviaciones provenientes del material, mediante doblado o plegado en frío o en caliente, en caso de requerirse.

**10.2.4 Cortes y perforaciones:** Es importante observar que se elimine el óxido adherido, las rebabas y estrías generadas por el corte hecho con oxicorte.

Supervisar que los cortes de vigas se realicen conservando las dimensiones especificadas en los planos de taller y evitando el desperdicio de los materiales.

**10.2.5 Armado de los elementos prefabricados:** Comprobar la disposición de los elementos de conexión prefabricados en taller, los ejes de simetría y verificar la disposición de las perforaciones según los planos de taller.

**10.2.6 Preparación de la superficie y pintura anticorrosiva:** supervisar que, si se haya hecho una adecuada limpieza previa, para asegurar una buena adherencia de la pintura. Revisar los certificados de pintura y hacer control de espesor eficaz. Las superficies metalizadas deben ser tratadas con una imprimación anticorrosiva especial, de naturaleza sellante y tapa poros para evitar formación de ampollas antes de revestirse de pintura. (Ministerio de Fomento, 2012)

### **10.2.7 Montaje de estructura:**

**10.2.8 Establecimiento de fases de construcción:** Se debe verificar que la instalación se haga por módulos terminados, esto garantiza la estabilidad que haya establecido el diseñador estructural lo más pronto posible. En caso de no ser posible, se debe verificar, la

instalación por módulos rígidos. Puede servir de ayuda el programa utilizado para establecer prioridades de construcción a los elementos estructurales. (Ministerio de Fomento, 2012)

**10.2.9 Supervisión de instalación:** Comparación con planos de taller las dimensiones de todos los elementos de la estructura. La disposición de las uniones. El diámetro de los agujeros de los tornillos, la forma y las dimensiones de las uniones soldadas, etc.

**10.3 Inspección visual de desviaciones:** Se debe observar, en la medida de las posibilidades, que las tolerancias definidas en el marco teórico para la fase de montaje, no excedan los límites especificados. Distancia entre columnas, distancia entre pisos, flecha lateral en vigas.

**10.4 Inspección visual soldadura:** Verificar la existencia y situación de todos los cordones de soldadura, que tenga continuidad y el espesor sea uniforme a lo largo de su longitud. Verificar que no tengan alabeos, fallas en la alineación, cebados, descuelgues y defectos superficiales tales como poros, mordeduras y cráteres, estas patologías se describen en el marco teórico.

## 11 Discusión de resultados

- En el diseño de columnas, analizando el factor de longitud efectiva ( $k$ ), se observa que entre mayor sea el valor que tome, mayor es la esbeltez de la columna. En el caso de estudio, se utilizó un valor de  $k$  igual a 0,5 (ver Figura 44 y 47) debido a la viga de amarre intermedia que se modeló. Para conocer la importancia de estas vigas, se ejecutó el programa diseñando la columna con un valor de  $k$  igual a 1 (ver Figura 48), es decir, sin restricción lateral en el medio de su longitud. El resultado se ilustra en la Figura 49, se observa que la columna no cumple por pandeo flexionante. Cabe resaltar que esto se hizo con el fin de analizar el peligro de construir una fase considerable de la estructura sin las vigas intermedias, por eso para este caso se tuvo en cuenta únicamente la carga muerta de la estructura de acero y una carga viva simulando los trabajadores en el proceso de instalación.

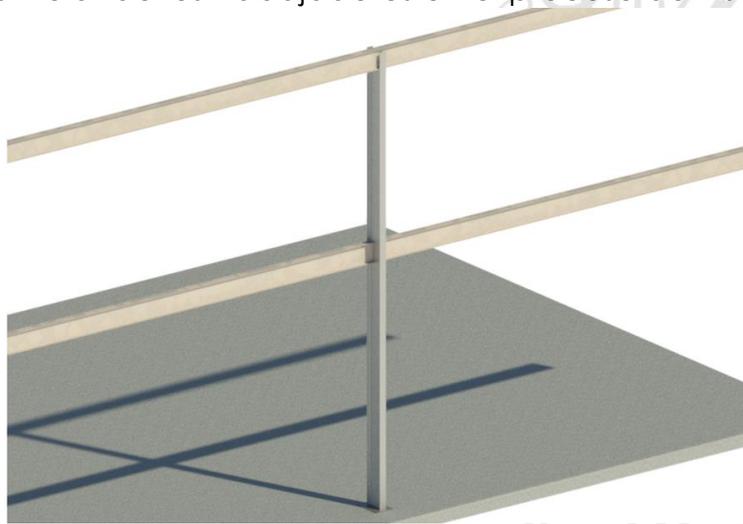


Figura 48. Columna con  $k=0,5$ - elaboración propia

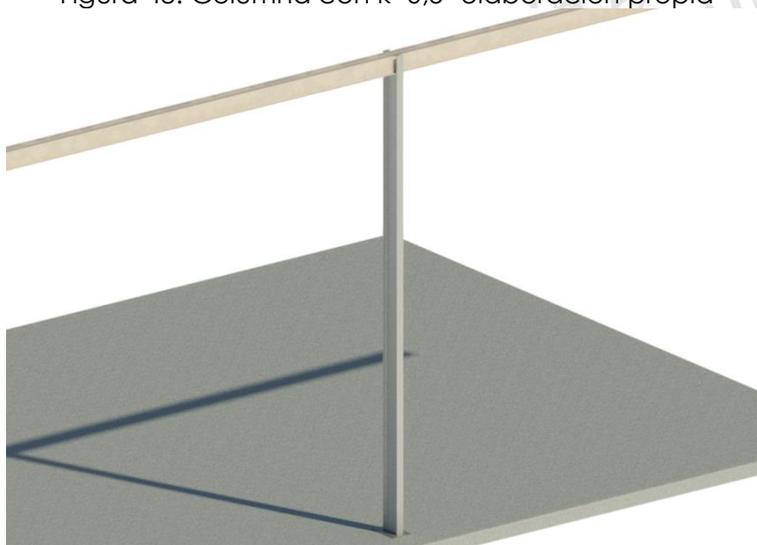


Figura 49. Columna con  $K=1$  – elaboración propia

Diseño de Columnas Volver a inicio

### 1. Combinación de carga

Escriba los valores de carga:

Carga muerta D (Kgf/m2): 17,3

Carga viva L (Kgf/m2): 50

Carga granizo G (Kgf/m2): 0

Área aferente (m2): 54

Longitud del perfil (m): 9

Aplicar Limpiar Ayuda

Carga última sobre el perfil (Kg): 5441,04

Carga última sobre el perfil (Ton): 5,44104

### 2. Perfil

w16x26

Peso perfil (Kg/m):	38,74	Zx (cm3):	724
Área (cm2):	49,50	fy (Kg/cm2):	3515
d (mm):	399	E (Kg/cm2):	2038700
tw (mm):	6,35	Ix (cm4):	12500
bf (mm):	140	Sx (cm3):	629
tf (mm):	8,86	Iy (cm4):	399,17
b (mm):	0	ry (mm):	28,448
t (mm):	0	rts (mm):	3,51
d inf (mm):	381	J (mm4):	109053
D (mm):	0	Cw (cm6):	151723
h (mm):	361	rx (mm):	159,00

Ingrese el valor de K, si no sabe como hallarlo hagadick en ayuda:

1 Ayuda

seleccione el radio de giro a utilizar r (mm):

ry rx

28,448

Para conocer si la sección es esbelta, haga click en aplicar:

Aplicar Limpiar Ayuda

Esbeltez (KL/r): 316,36674

Relación alma: 60,044094 Relación ala: 7,9006772

Límite alma: 35,883951 Límite ala: 13,486585

Alma esbelta Aletas compactas

Sección con elementos esbeltos

### 3. Resistencia a la compresión

Numeral aplicable: AISC E7

Para verificar su cumplimiento, haga click en aplicar:

Aplicar Limpiar Ayuda

Pandeo local: Aplica

Pandeo flexural: 5,567472

Pandeo torsional: 8,658372

Pandeo flexo-torsional: No aplica

La resistencia nominal y la resistencia actuante a compresión son, respectivamente:

Pn (Ton): 5,56747 No cumple, esbéltez

Pact (Ton): 5,44104

Figura 50. Diseño de columna sobre eje débil con  $k=1$ .

- En el diseño de elementos a flexión se observa que la forma de abordarlo depende del valor  $L_b$ , que es la longitud comprendida entre dos puntos que están arriostrados, cuanto este supera el valor límite de  $L_p$ , se debe evaluar el pandeo lateral torsional. En el caso de estudio, no se evalúa este estado límite debido al arriostramiento lateral de la viga con perlines tipo PHR cada 1,5 m (ver Figura 40 y 51). Sin embargo, durante la construcción, es posible que se presente una fase, donde la viga no este arriostrada y reciba una carga que genere un momento superior al límite de pandeo lateral torsional hace que la viga falle si no tiene una adecuada restricción lateral. se simuló la viga sin arriostramiento lateral, es decir con  $L_b$  igual a la longitud de la viga (ver Figura 52), es decir, seis metros. En la Figura 50 se observa que no cumpliría dada esta situación. Durante la fase de construcción de algunos proyectos, ha sucedido que algunos perfiles no puedan ser suministrados con anticipación, instalar en serie módulos que no contengan algunos elementos esenciales de arriostramiento es un riesgo importante, sería posible fijar un arriostramiento temporal.

4. VERIFICACIÓN SOLICITUD POR FLEXIÓN

Ingrese el valor de Lb en metros, los decimales con coma ",":

Lb (m):

Verificar Limpiar Ayuda

Los valores de Lp y Lr son, respectivamente:

Lp (m):

Lr (m):

Estados límite:

Fluencia	<input type="text" value="25,4486"/>
Pandel lateral torsional	<input type="text" value="6,2570451"/>
Pandel local de la aleta	<input type="text" value="No aplica"/>
Pandeo local del alma	<input type="text" value="No aplica"/>
Fluencia de la aleta a tensión	<input type="text" value="No aplica"/>

El momento nominal es:

Mn (Ton-m):

El momento actuante es:

Ma (Ton-m):

**No cumple por solicitud de momento**

Figura 51. Solicitud por flexión con  $L_b=L=6\text{m}$ .

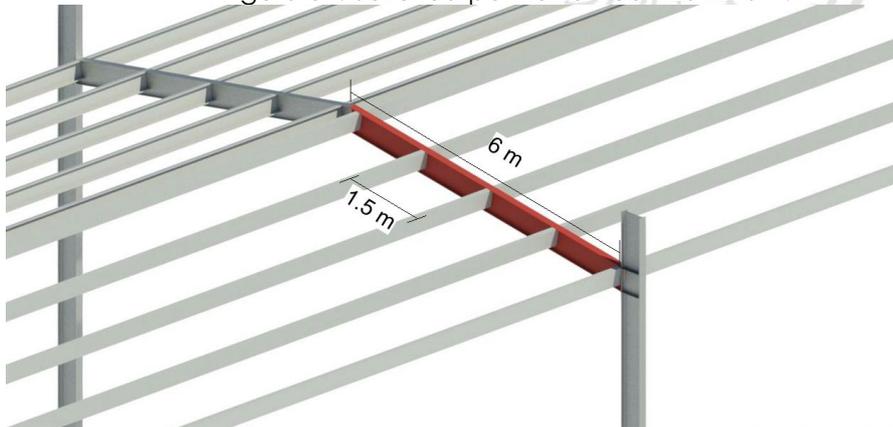


Figura 52. Viga con  $L_b=1,5\text{ m}$  - Elaboración propia

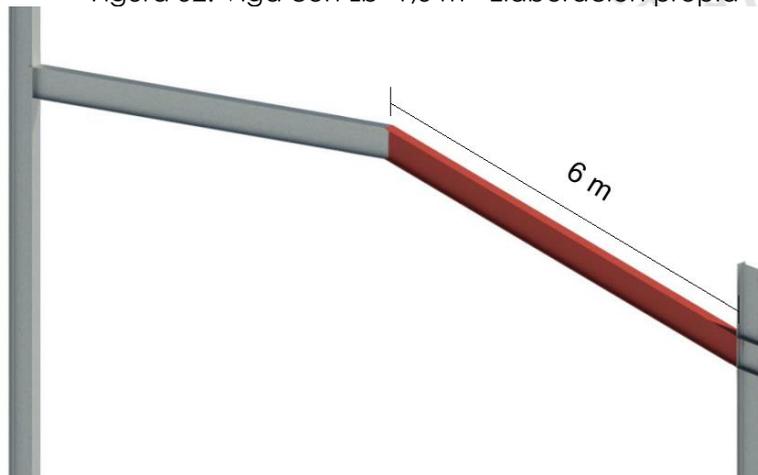


Figura 53. Viga con  $L_b=6\text{ m}$  - Elaboración propia

- En el diseño de elementos sometidos a flexión, las solicitaciones básicas por resistencia son debidas al momento y fuerza cortante, generadas por las cargas que recibe el elemento. Sin embargo, también se debe diseñar para garantizar serviciabilidad, en este caso, verificar también

que las deflexiones no sean significativas según la tabla definida por la NSR-10. Es posible entonces, que en muchas ocasiones un elemento sometido a flexión cumpla por resistencia (cortante y momento), pero no por deflexiones límite. Es muy probable también que haya diseños estructurales, en los que el ingeniero estructural no haya considerado una deflexión significativa y su decisión este amparada por la norma; sin embargo, hay muchas decisiones que el arquitecto constructor o el cliente pueda tomar sobre la marcha. Un ejemplo de esto podría ser cuando el arquitecto toma la decisión de instalar una ventana de vidrio bajo algún elemento sometido a flexión y el ingeniero estructural no lo haya tenido en cuenta en el diseño, pues no haya considerado la viga como un dintel sobre una puerta o ventana de vidrio. Es probable que por ser el vidrio un material tan frágil, ante una deflexión significativa de la viga se fracture.

Con el código de diseño desarrollado, es posible chequear las deflexiones que vaya a tener un elemento sometido a flexión, y advertir o tomar decisiones ante cualquier anomalía.

Para ilustrar esto en el caso de estudio, se presenta la siguiente situación: en la Figura 53 se muestra el resultado de la verificación de deflexiones límite en caso de considerar apoyos empotrados en los extremos y una cubierta de vidrio o algún material frágil. Se observa que no cumple dada esta situación.

Figura 54. Evaluación de deflexión cambiando tipos de apoyo.

- En el diseño de placas base hay dos áreas a tener en cuenta: A1 y A2; a primera es el área de la placa base, y la segunda es A1 proyectada sobre la zapata, es decir, es el área máxima de una zona de la superficie de apoyo (ver Figura 54). Generalmente, en las construcciones que se

llevan a cabo por parte de la empresa Estructuras y proyectos JV SAS se ha notado que la placa base se instala directamente en la losa de concreto, ha sido una constante en los diseños estructurales debido a la gran cantidad de estructuras que se instalan sobre un piso existente. Es por eso que en la mayoría de los casos  $A1=A2$ . La relación entre  $A2/A1$  se deja por defecto tomando el valor de 1. Ver Figura 30.

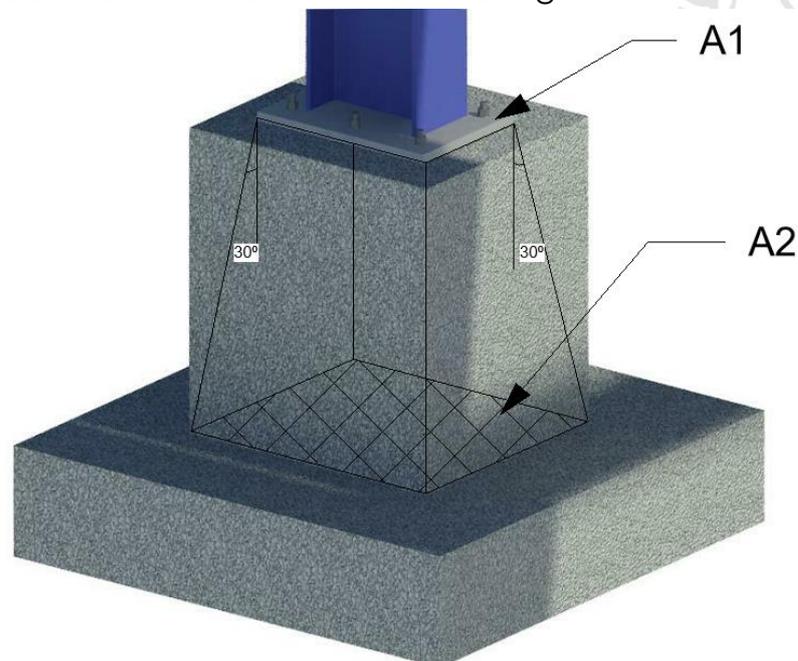


Figura 55. Áreas de consideración en diseño de placas base - elaboración propia.

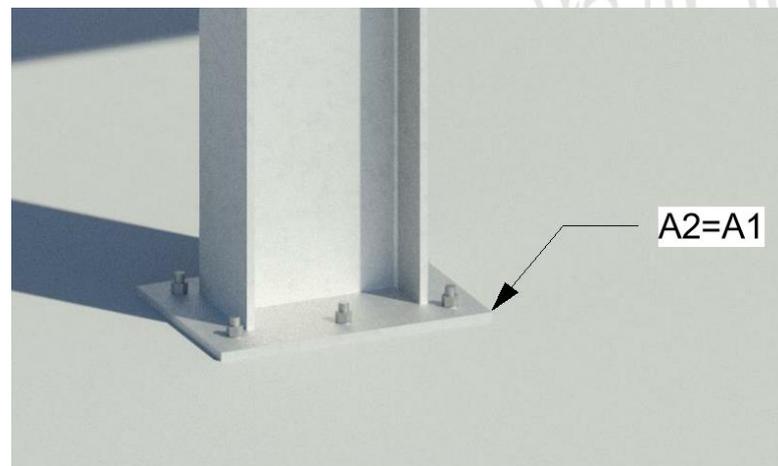


Figura 56. Áreas de consideración en diseño de placas base - elaboración propia

- Para acompañar la cotización del caso de estudio, se modeló la estructura mediante el software Autodesk Revit®, con imágenes renderizadas de la propuesta. En una reunión inicial con el cliente, se presentó la cotización de la construcción acompañada de dos planos esquemáticos, que por las ventajas del software se modeló

rápidamente. No es frecuente que las empresas envíen una propuesta esquemática debido al tiempo que exige hacerlo, sin embargo, lo que se presenta visualmente impacta y motiva al cliente. Es posible que si todas a las cotizaciones emitidas por la empresa, se les anexa un modelo en 3D de la estructura, este favorezca a la adjudicación de los contratos.

## 12 Conclusiones

- El código de diseño realizado en el presente estudio, sirve para advertir a la empresa de posibles colapsos de la estructura si no se tiene en cuenta un adecuado cuidado en las fases de construcción. Con el diseño de la columna W16x26, se pudo observar la importancia de las vigas de amarre intermedias, esto certifica, para el caso de estudio, la importancia de ir construyendo por módulos rígidos que garanticen estabilidad.
- Cuando el perfil utilizado como columna clasifica por tener una sección con elementos esbeltos y la edificación es de gran altura, se debe priorizar, para la fase constructiva, el arriostramiento lateral que tengan las columnas en el diseño.
- Cuando el momento nominal de una viga está determinado por el límite de pandeo lateral torsional, se debe calcular el valor de la longitud límite no arriostrada ( $L_p$ ). En la fase de construcción, luego de instalar dicha viga, se debe arriostrar lateralmente, con un intervalo que no supere esta longitud, evitando así una falla por resistencia.
- En la interfaz de diseño de placas base en el código de diseño elaborado, la raíz del área de la platina entre el área de proyección sobre el concreto se asume de 1, esto debido a la suposición de que la platina reposa directamente sobre la losa de concreto. En caso de existir pedestal y zapata, se debe modificar este valor, de acuerdo con la Figura 48.
- El modelo esquemático realizado en Autodesk Revit®, permitió exponer de manera clara y contundente la propuesta de cotización, puesto que favoreció una adecuada interpretación del cliente y permitió a la empresa detectar posibles errores.
- El código de diseño realizado, acompañado de un modelo en 3D de la estructura metálica mejora notablemente el rendimiento de la empresa estructuras y proyectos JV SAS. El modelo permite hacer modificaciones rápidas y oportunas. Y este código también permite respaldar estas decisiones mediante un chequeo estructural de los elementos.

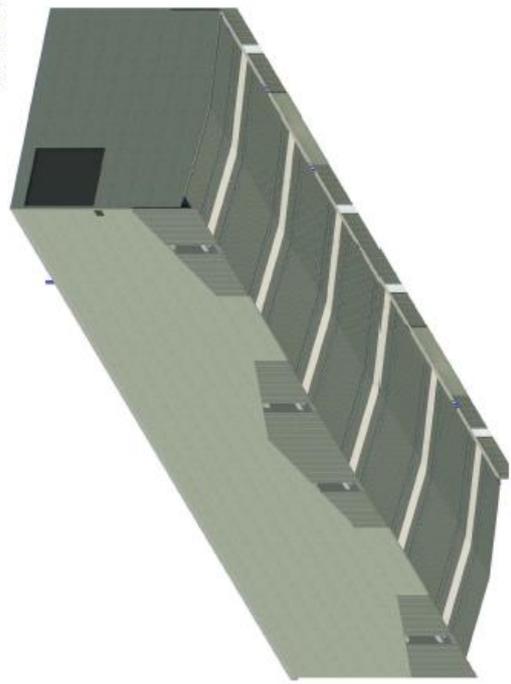
- En el procedimiento de supervisión en la fabricación y montaje, se registra un inventario de elementos básicos para inspeccionar una visita en campo, con este se logra tener un control ordenado porque abarca los elementos básicos de una supervisión.

### 13 Referencias Bibliográficas

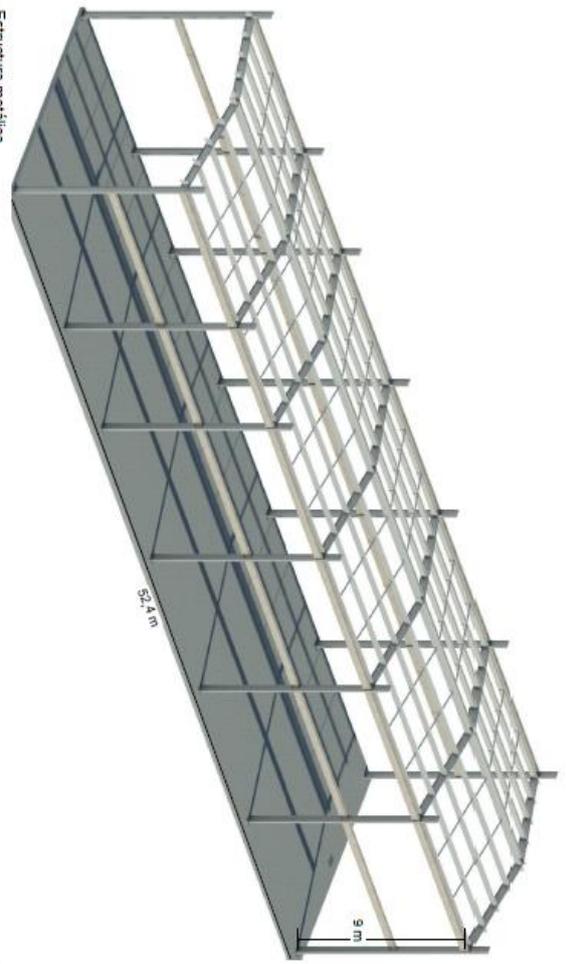
- AIS. (2010a). Título B - Cargas. In *Reglamento Colombiano de construcción sismoresistente*. Bogotá.
- AIS. (2010b). Título F - Estructuras metálicas. In A. C. Ingeniería Sísmica (Ed.), *Reglamento Colombiano de construcción sismoresistente* (2nd ed.). Bogotá.
- AISC. (2016). *Specification for Structural Steel Buildings 360* (15th ed.). Chicago.
- Corzo, M. A. (2010). *Manual de control de calidad de procedimientos en la elaboración de estructuras metálicas*. Tecnológico Nacional de México.
- García, J. (1999). *Aprenda visual basic 6.0 como si estuviera en primero*. Universidad de Navarra.
- Gonzales, O. (2017). Excel y mas. Retrieved from Controles active X website: <https://www.youtube.com/watch?v=zuw3-adhY94&t=12s>
- McCormac & Csernak. (2012). *Diseño de estructuras de acero* (5th ed.; Alfaomega, Ed.). México: Angeles, Luz.
- Ministerio de Fomento. (2008). Documento básico de la seguridad estructural. In *Código Técnico de la edificación*. España.
- Ministerio de Fomento. (2012). *Instrucción de acero estructural* (3rd ed.). España: Secretaría general técnica.
- Rodríguez, C. (2008). *Visual Basic 6.0 orientado a bases de datos* (2nd ed.; B. Grupo experto, Ed.). Hilario, Edgar.
- Rodríguez, H. (2020). IngeMecánica. Retrieved March 29, 2020, from Patologías en las uniones soldadas website: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn55.html>

### 14 Anexos

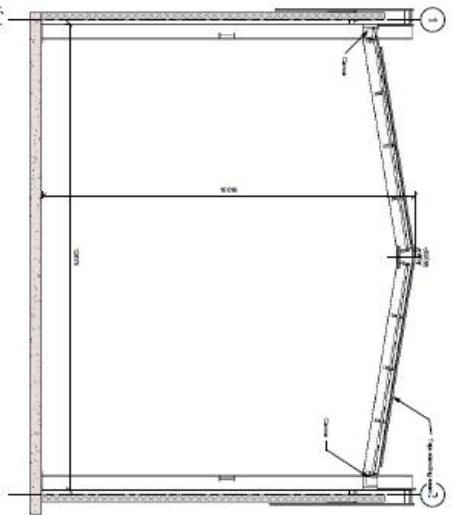
ANEXO A – Plano esquemático de cotización.



1 General - 3D  
1:1



2 Estructura metálica  
1:1



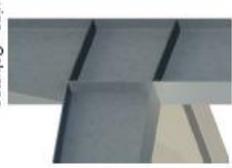
4 Cercha típica  
1:50



3 Detalle de andaje  
1:1



8 Conexión viga - Perlin  
1:1



5 Conexión viga - Columna  
1:1

Plano esquemático  
Bodega Casa Ferreira

