



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

## **CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURAS INDUSTRIALES DE ACERO DE LA MINERÍA DEL COBRE EN CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PABLO IGNACIO ROSENBAUM FUENTES

**PROFESOR GUÍA:**  
RAMÓN MONTECINOS CONCHA

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:**  
ALEJANDRO VERDUGO PALMA  
RICARDO HERRERA MARDONES

SANTIAGO DE CHILE  
2018

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL  
TÍTULO DE: INGENIERO CIVIL  
POR: PABLO IGNACIO ROSENBAUM FUENTES  
FECHA: AGOSTO DE 2018  
PROFESOR GUÍA: RAMÓN MONTECINOS CONCHA**

## **CARACTERIZACIÓN DE ESTRUCTURAS INDUSTRIALES DE ACERO DE LA MINERÍA DEL COBRE EN CHILE**

A partir de los años 40 en Chile comenzaron a desarrollarse estructuras industriales de acero, hoy comúnmente relacionadas con las industrias de la minería y la celulosa. Desde sus inicios, la forma de diseñar estas estructuras ha tenido ciertas características influenciadas por la carencia de grandes herramientas de cálculo, como son la sencillez estructural, la prudencia y el pensar mucho, de manera de reducir tanto como se pudiese el uso de herramientas analíticas. Estos diseños fueron validándose con el pasar de los años y de los frecuentes terremotos que ponían a prueba este tipo de estructuras, dando origen a la norma chilena Nch2369.

Una forma de caracterizar numéricamente estas estructuras es a través de las esbelteces de sus miembros en compresión. Para esto se observaron las columnas, diagonales en elevación y diagonales en planta de 17 estructuras de 11 proyectos reales a partir de 2008 y hasta 2016, es decir, después de la fecha de oficialización de la norma. Los resultados de las esbelteces tanto globales como locales fueron separados por tipo de miembro en capítulos distintos. Dentro de cada capítulo se muestran gráficos de distribución general, separados por tipo de estructura a la cual pertenecen y por tipo de perfil utilizado; además de valores promedio y porcentajes de participación.

La estadística mostró una tendencia en torno al promedio de esbeltez global, el cual para columnas, diagonales y diagonales en planta es de 40, 70 y 76, respectivamente. Mientras que los rangos entre los cuales se mueve dicha esbeltez son de 10-80, 30-120 y 50-100, respectivamente. Por otro lado, para el caso de la esbeltez local de los elementos que forman los perfiles se optó por expresarla en forma del valor de la razón entre la relación ancho-espesor con respecto a su esbeltez límite según la norma, obteniéndose una tendencia al límite 1, llegando a 0.83 para columnas 0.73 para diagonales en elevación y 0.81 para diagonales en planta.

En cuanto a las diferencias por tipo de estructura o tipo de perfil, se encontraron diferencias principalmente cuando se cambia el tipo de marco utilizado, reflejado en el caso del tipo de estructura en las diferencias entre naves y estructuras de soporte de silos.

Se ha encontrado que, en el diseño de elementos comprimidos, a pesar de hacerse para el miembro más solicitado, hay una clara tendencia a ubicarse intuitivamente cerca del óptimo. Vale la pena mencionar que, dada la simplificación de utilizar perfiles típicos, son pocos los elementos que realmente quedan cerca de los límites establecidos en la norma. De esta forma, dichos límites no están siendo utilizados en la práctica, encontrando rara vez elementos con esbeltez global mayor a 120.

*Vio Dios cuanto había hecho, y  
todo estaba muy bien.*  
Genésis 1, 31

*A mis padres se destina,  
por su amor ilimitado,  
este escrito terminado  
de esta etapa que termina.  
Por la educación divina  
y por las ciencias igual.  
Por la libertad total,  
por guiar y sugerir,  
para poder elegir:  
ingeniero estructural.*

# AGRADECIMIENTOS

Primero que todo, gracias a Dios por darme la vida y entregarme una vocación a las ciencias y a la ingeniería civil.

A mis padres, por habérselas jugado por mí siempre. Por nunca perder la esperanza, por sacarse la cresta trabajando y por dármele todo para que pudiera salir adelante. Gracias papá por hacerme clases particulares en enseñanza básica y por insistir en que los estudios siempre eran la prioridad. Gracias mamá por tu incansable cariño y consejos que necesité cuando estaba perdido.

Al profesor Ramón Montecinos por su disponibilidad, motivación por el tema y por facilitarme su base de datos que hizo posible este trabajo. Gracias por transmitirme que ser calculista se trata más de pensar que de calcular.

A todos los profesores de los que me tocó aprender, tanto de la universidad como del colegio, por todas las enseñanzas que iban más allá de la materia y que me hicieron crecer como persona y como profesional.

A mi hermano y padrino de confirmación, el Dr. Andrés Rosenbaum, por ser para mí un ejemplo de fe y de estudio.

A mi abuela Ana por el cariño y apoyo en todos estos años. Gracias por estar siempre abierta a recibirme en tu casa y por siempre tener tiempo para mí.

A mis amigos de siempre por hacerme salir cuando era más cómodo quedarse en la casa. Gracias por enseñarme el valor de la amistad, la lealtad y por sus consejos precisos.

A mis compañeros de universidad que hicieron de mi etapa universitaria algo menos traumático de lo que se dice de Beauchef. Gracias por la amistad, tiempo, horas de estudio y almuerzos juntos.

Al Colegio San Anselmo y al Movimiento Apostólico Manquehue, por toda la formación, acogida y amistad durante todos los años como alumno y exalumno. Por la oportunidad de entregar Vida y Esperanza a otras personas y por anunciarme a Cristo resucitado, presente y actuando aquí y ahora.

# TABLA DE CONTENIDO

<b>Capítulo 1 : INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 ALCANCE .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
1.2.1 Objetivos generales .....	3
1.2.2 Objetivos específicos .....	3
<b>1.3 ALCANCES POR CAPÍTULO .....</b>	<b>3</b>
<b>Capítulo 2 : MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 PROYECTO DE INGENIERÍA .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 PROCESOS PRODUCTIVOS MINEROS .....</b>	<b>6</b>
2.2.1 Línea de producción de óxidos .....	7
2.2.2 Línea de producción de sulfuros .....	8
<b>2.3 CLASIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS INDUSTRIALES .....</b>	<b>9</b>
2.3.1 Naves .....	10
2.3.2 Edificios Industriales .....	10
2.3.3 Naves de Molienda .....	11
2.3.5 Estructuras de soporte de silos o tolvas .....	12
<b>2.4 CONCEPTOS SOBRE DISEÑO ESTRUCTURAL.....</b>	<b>13</b>
2.4.1 Definiciones de miembros.....	13
2.4.2 Principios básicos del diseño estructural.....	14
2.4.3 Principales esfuerzos en miembros y modos de falla generados .....	15
2.4.4 Principales propiedades de una sección .....	16
2.4.5 Principales secciones utilizadas en acero .....	17
2.4.6 Estados límite de falla considerados en el diseño de miembros de acero en compresión	20
2.4.7 Resumen del subcapítulo.....	25
<b>Capítulo 3 : ESTADÍSTICA PARA DIMENSIONES Y TIPOLOGÍAS DE ELEMENTOS EN GENERAL .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1 ALCANCE .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2 BASES DE CÁLCULO .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3 METODOLOGÍA.....</b>	<b>27</b>
<b>3.4 PROCEDIMIENTO.....</b>	<b>28</b>
<b>3.5 RESULTADOS .....</b>	<b>31</b>
3.5.1 Cantidad total de miembros .....	31
3.5.2 Cantidad de miembros por tipo de estructura.....	32
3.5.3 Cantidad de miembros por tipo de perfil y alturas y luces promedio.....	33
3.5.4 Estadística de la razón entre la altura de la sección y la luz de pandeo. ....	33
<b>3.6 DISCUSIÓN.....</b>	<b>35</b>
<b>Capítulo 4 : ESTADÍSTICA PARA ESBELTECES GLOBALES Y LOCALES DE COLUMNAS .....</b>	<b>37</b>
<b>4.1 ALCANCE .....</b>	<b>37</b>
<b>4.2 BASES .....</b>	<b>37</b>

<b>4.3 RESULTADOS PARA ESBELTEZ GLOBAL</b> .....	<b>38</b>
4.3.1 Resultados en general .....	38
4.3.2 Resultados separados por tipo de estructura .....	39
4.3.3 Resultados separados por tipo de perfil .....	41
<b>4.4 RESULTADOS PARA ESBELTEZ LOCAL</b> .....	<b>42</b>
<b>4.5 DISCUSIÓN</b> .....	<b>43</b>
4.5.1 Esbelteces globales .....	43
4.5.2 Esbelteces locales .....	44
<b><u>Capítulo 5 : ESTADÍSTICA PARA ESBELTECES GLOBALES Y LOCALES DE DIAGONALES EN ELEVACIÓN</u></b> .....	<b>45</b>
<b>5.1 ALCANCE</b> .....	<b>45</b>
<b>5.2 BASES</b> .....	<b>45</b>
<b>5.3 RESULTADOS PARA ESBELTEZ GLOBAL</b> .....	<b>46</b>
5.3.1 Resultados en general .....	46
5.3.2 Resultados separados por tipo de estructura .....	46
5.3.3 Resultados separados por tipo de perfil .....	49
<b>5.4 RESULTADOS PARA ESBELTEZ LOCAL</b> .....	<b>52</b>
<b>5.5 DISCUSIÓN</b> .....	<b>53</b>
5.5.1 Esbelteces globales .....	53
5.5.2 Esbelteces locales .....	54
<b><u>Capítulo 6 : ESTADÍSTICA PARA ESBELTECES GLOBALES Y LOCALES DE DIAGONALES EN PLANTA</u></b> .....	<b>56</b>
<b>6.1 ALCANCE</b> .....	<b>56</b>
<b>6.2 BASES</b> .....	<b>56</b>
<b>6.3 RESULTADOS PARA ESBELTEZ GLOBAL</b> .....	<b>57</b>
6.3.1 Resultados en general .....	57
6.3.2 Resultados separados por tipo de estructura .....	57
6.3.3 Resultados separados por tipo de perfil .....	60
<b>6.4 RESULTADOS PARA ESBELTEZ LOCAL</b> .....	<b>63</b>
<b>6.5 DISCUSIÓN</b> .....	<b>64</b>
6.5.1 Esbelteces globales .....	64
6.5.2 Esbelteces locales .....	65
<b><u>Capítulo 7 : DETERMINACIÓN DE UNA ESBELTEZ GLOBAL ÓPTIMA</u></b> .....	<b>66</b>
<b>7.1 ESBELTEZ ÓPTIMA</b> .....	<b>66</b>
<b>7.2 PARÁMETROS DE COLUMNAS</b> .....	<b>67</b>
<b>7.3 PARÁMETROS DE DIAGONALES EN ELEVACIÓN</b> .....	<b>70</b>
<b>7.4 PARÁMETROS PARA DIAGONALES EN PLANTA</b> .....	<b>72</b>
<b>7.5 PARÁMETROS PARA UNA SECCIÓN HN CUALQUIERA</b> .....	<b>75</b>
<b>7.6 OBTENCIÓN DE ESBELTEZ ÓPTIMA MEDIANTE REDUCCIÓN DE <math>\tau</math></b> .....	<b>76</b>
7.6.1 Para columnas .....	76
7.6.2 Para diagonales en elevación .....	77
7.6.3 Para diagonales en planta .....	77
7.6.4 Para una sección HN cualquiera.....	78

<b>Capítulo 8 : CONCLUSIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>8.1 CONCLUSIONES .....</b>	<b>79</b>
<b>8.2 FUTURAS INVESTIGACIONES .....</b>	<b>81</b>
<b>Capítulo 9 : BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>82</b>
<b>Apéndice A: TABLAS DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE FIGURAS .....</b>	<b>83</b>
<b>Apéndice B: BASE DE DATOS EXTRAÍDOS DE PLANOS.....</b>	<b>94</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Valores de $\lambda r$ para distintos tipos de perfil utilizados en la memoria extraídos de la tabla 8.1 de NCh2369 Of.2003. ....	24
Tabla 3-1: Proyectos y respectivas estructuras que se observarán a lo largo de todo el trabajo. ....	28
Tabla 3-2: Distribución general de miembros observados.....	31
Tabla 3-3: Distribución general de miembros observados en peso.....	31
Tabla 3-4: Total de miembros observados por estructura y clasificación. ....	32
Tabla 3-5: Total de miembros y de estructuras observadas por tipo de estructura.....	32
Tabla 3-6: Cantidad total, altura y luz promedio, por tipo de perfil .....	33
Tabla 4-1: Distribución de esbeltez global de columnas según tipo de estructura. ....	39
Tabla 4-2: Distribución de tipos de perfil de las columnas observadas. ....	42
Tabla 4-3: Resultados para relación de esbeltez local de almas y alas de columnas.....	42
Tabla 5-1: Distribución de frecuencias por tipo de estructura de diagonales en elevación.....	47
Tabla 5-2: Distribución de frecuencias de esbeltez global separadas por tipo de perfil de diagonales en elevación .....	49
Tabla 5-3: Resumen de esbelteces para alas y almas de diagonales en elevación .....	52
Tabla 6-1: Distribución de frecuencias por tipo de estructura de diagonales en planta. ....	58
Tabla 6-2: Distribución de frecuencias de esbeltez global separadas por tipo de perfil de diagonales en planta.....	60
Tabla 7-1: Resumen de parámetros para columnas.....	70
Tabla 7-2: Resumen de parámetros para diagonales en elevación. ....	72
Tabla 7-3: Resumen de parámetros para diagonales en planta.....	75
Tabla 7-4: Resumen de parámetros para un miembro cualquiera (HN).....	76
Tabla 8-1: Valores de $\phi$ para ecuación de esbeltez óptima observada.....	81
Tabla A-1: Distribución de frecuencias de esbeltez global para columnas .....	83
Tabla A-2: Distribución de frecuencias de esbeltez global para columnas separadas por tipo de estructura .....	84
Tabla A-3: Distribución de frecuencias de esbeltez global para columnas separadas por tipo de perfil.....	85
Tabla A-4: Distribución de frecuencias de esbeltez global para diagonales en elevación .....	86
Tabla A-5: Distribución de frecuencias de esbeltez global para diagonales en elevación separadas por tipo de estructura.....	87
Tabla A-6: Distribución de frecuencias de esbeltez global para diagonales en elevación separadas por tipo de perfil.....	88
Tabla A-7: Distribución de frecuencias de esbeltez global para diagonales en planta.....	89
Tabla A-8: Distribución de frecuencias de esbeltez global para diagonales en planta separadas por tipo de estructura.....	90
Tabla A- 9: Distribución de frecuencias de esbeltez global para diagonales en planta separadas por tipo de perfil.....	91
Tabla A-10: Distribución de frecuencias de esbeltez local para distintos miembros y en general. ....	92
Tabla A-11: Distribución de frecuencias de H/L para distintos tipos de miembro. ....	93
Tabla B-1: Datos proyecto 1, acero A36 .....	95
Tabla B-2: Datos proyecto 2, acero A36 .....	98
Tabla B-3: Datos proyecto 3, Acero A36.....	102
Tabla B-4: Datos proyecto 4, Acero A36.....	103
Tabla B-5: Datos proyecto 5, acero A36. ....	105
Tabla B-6: Datos proyecto 6, acero A53 Gr.B para tubos y A36 para Cajón .....	106
Tabla B-7: Datos proyecto 7, Acero A36.....	107
Tabla B-8: Datos proyecto 8, Acero A36.....	108
Tabla B-9: Datos proyecto 9, Acero A36.....	109
Tabla B-10: Datos proyecto 10, Acero A36.....	110
Tabla B-11: Datos proyecto 11, Acero A36.....	112

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Procesos productivos en la minería del cobre.....	7
Figura 2-2: Nave de taller de camiones en Operación Ministro Hales, de CODELCO.....	10
Figura 2-3: Edificio industrial en Mina Los Bronces, de Anglo American.....	11
Figura 2-4: Interior Nave de Molienda, operación Ministro Hales, de CODELCO.....	12
Figura 2-6: Estructura de chancado de Pebbles, operación Ministro Hales de CODELCO.....	12
Figura 2-7: Esfuerzos típicos considerados en el diseño y su deformación en rojo, elaboración propia. ....	16
Figura 2-8: Sección Doble T típica.....	17
Figura 2-9: Perfil tubular típico.....	18
Figura 2-10: Sección cajón típica.....	18
Figura 2-11: Sección ángulo típica.....	19
Figura 2-12: Sección XL típica.....	19
Figura 2-13: Secciones compuestas típicas, 2L, 2T, 2C, de izquierda a derecha.....	20
Figura 2-14: Tabla de factores de longitud efectiva de pandeo de la AISC360-10.....	21
Figura 2-15: Resistencia admisible para miembros en compresión en función de la esbeltez.....	22
Figura 3-1: Ejemplo marco observado, elaboración propia.....	30
Figura 3-2: Distribución de H/L para columnas.....	34
Figura 3-3: Distribución de H/L para diagonales en elevación.....	34
Figura 3-4: Distribución de H/L para diagonales en planta.....	35
Figura 4-1: Distribución de esbeltez global de columnas.....	38
Figura 4-2: Distribución de esbeltez para Estructuras de Soporte de Silos.....	40
Figura 4-3: Distribución de esbeltez global para Naves Industriales.....	40
Figura 4-4: Distribución de esbeltez global para Naves de Molienda.....	41
Figura 4-5: Distribución de esbeltez global para Edificios Industriales.....	41
Figura 4-6: Distribución de porcentaje con respecto a esbeltez límite, columnas en general.....	43
Figura 5-1: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación en general.....	46
Figura 5-2: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación de estructuras de soporte de silos.....	47
Figura 5-3: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación de Naves.....	48
Figura 5-4: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación de Naves de Molienda.....	48
Figura 5-5: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación de Edificios Industriales.....	49
Figura 5-6: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación con perfil cajón.....	50
Figura 5-7: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación con perfil XL.....	50
Figura 5-8: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación con perfil Doble T.....	51
Figura 5-9: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación con perfiles compuestos.....	51
Figura 5-10: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación con perfiles tubulares.....	52
Figura 5-11: Distribución de la razón de la relación ancho-espesor con respecto a la esbeltez límite de diagonales en elevación.....	53
Figura 6-1: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta en general.....	57
Figura 6-2: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta de estructuras de soporte de silos.....	58
Figura 6-3: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta de Naves.....	59
Figura 6-4: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta de Naves de Molienda.....	59
Figura 6-5: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta de Edificios.....	60
Figura 6-6: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta con perfiles tipo cajón.....	61
Figura 6-7: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta con perfiles tipo ángulo laminado.....	61
Figura 6-8: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta con perfiles XL formados por ángulos laminados.....	62
Figura 6-9: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta con perfiles ángulo plegados.....	62
Figura 6-10: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta con perfiles XL formados por ángulos plegados.....	63
Figura 6-11: Distribución de la razón entre la relación ancho-espesor con respecto a la esbeltez límite de diagonales en planta.....	64
Figura 7-1: Resistencia admisible y aproximada para columnas.....	68
Figura 7-2: Dimensiones principales perfil Doble T, elaboración propia.....	68
Figura 7-3: Resistencia admisible y aproximada para diagonales en elevación.....	70
Figura 7-4: Dimensiones principales perfil cajón cuadrado, elaboración propia.....	71
Figura 7-5: Resistencia admisible y aproximada para diagonales en planta.....	73

Figura 7-6: Dimensiones principales perfil L laminado, elaboración propia. ....	73
Figura 7-7: Resistencia admisible y aproximada para un miembro cualquiera .....	75

# Capítulo 1 : INTRODUCCIÓN

## 1.1 ALCANCE

Una estructura industrial, tal como su nombre sugiere, es una estructura que se ubica en algún sector productivo. Usualmente se usa el adjetivo de industrial para calificar algo como “pesado” o “en gran cantidad o magnitud”. Sin embargo, el concepto de “estructura industrial” que se tiene hoy es usualmente subestimado. Cuando se habla de este tipo de estructuras no se refiere solo a una industria procesadora de alimentos o a una planta de hormigón premezclado o a la estructura de una bodega. Si bien esas también son estructuras industriales, es preciso distinguirlas de las mayor magnitud, peso, etc.

Es más, en realidad pocas personas han visto una estructura industrial y esto se debe a que con frecuencia este tipo de estructuras se encuentran en lugares apartados de los centros urbanos. En Chile las estructuras industriales de mayor interés son generalmente de acero estructural y están comúnmente asociados a dos industrias: minería y celulosa. A diferencia de los proyectos urbanos en donde lo importante es que sea agradable visualmente o que sea cómodo para el usuario, en las estructuras industriales se privilegia la eficiencia y requisitos de la industria y equipos por sobre lo visual. Aquí quizás existe una deuda que los arquitectos y la industria de la minería deben saldar.

Cuando se habla de proyectos industriales, se está hablando de proyectos de gran magnitud. Si se quiere llevar a términos monetarios, se puede decir que la inversión de la pequeña y mediana industria solo alcanza una fracción de una nueva inversión en los sectores de la celulosa y minero. Cuando una planta de una industria pequeña puede llegar a valer menos de 50 millones de dólares de inversión, un proyecto minero mediano o una planta de celulosa puede valer dos mil millones de la divisa norteamericana, es decir, algo así como 50 a 100 veces más. Vale mencionar que un proyecto minero grande a nivel mundial puede llegar a costar seis mil o más millones de dólares, y de ellos, varios se ubican en Chile.

El origen de estas instalaciones industriales en nuestro país se remonta a los principios de la década de los 40 con el proyecto de industrialización y desarrollo impulsado por el gobierno de Pedro Aguirre Cerda, luego del terremoto de Chillán del año 1939, y cuyo mayor emblema es la creación de la Corporación de Fomento “CORFO”. Probablemente, muchos de los conceptos actuales de diseño provengan de los trabajos realizados para el proyecto de la Siderurgia de Huachipato de la Compañía de Aceros del Pacífico.

Desde entonces han pasado 70 años y se puede ver que los conceptos empleados perduran, en lo que se puede llamar “escuela chilena de diseño” que se ha aplicado en proyectos de minería, celulosa y energía a lo largo de los años. Una importantísima característica de esta escuela es que ha estado en permanente evaluación debido a la recurrencia sísmica de la zona; si en otros países se han invertido grandes cantidades

de dinero en tecnología para ensayar sísmicamente los elementos, en Chile se tiene el mejor laboratorio a escala real: los frecuentes terremotos.

Es más, a partir de los eventos sísmicos ocurridos en la zona de Concepción y Valdivia en 1960; y en la zona central en 1985, surge la norma sísmica para edificaciones industriales, la NCh2369 publicada en 2003, que recoge los principios y usanzas de la época. Actualmente, dicha norma se encuentra en proceso de revisión debido a las nuevas experiencias en los terremotos del Maule (2010) y Coquimbo (2015).

Pero, ¿en qué consiste esta escuela chilena de diseño? Si se mira sus inicios, se puede ver que nació en un ambiente en que los ingenieros no contaban con demasiados recursos para el cálculo extenso de las estructuras, en un país en vías de desarrollo que no se podía dar el lujo de perder la única industria del rubro. Ante esa situación se cultivaron la sencillez estructural, el buen sentido, la prudencia y el pensar mucho, de manera de reducir tanto como se pudiese el uso de herramientas analíticas y asegurar un diseño seguro.

Lo último se ve reflejado en la escuela de diseño actual, en donde el pensamiento de la estructura cobra mucha más importancia que el cálculo mismo de esta. Esto ha permitido a los ingenieros chilenos puedan delegar la tarea del cálculo a programas especializados de acceso común, reservando gran parte de su tiempo a obtener estructuraciones sanas. Es preciso hacer mención que bajo ningún punto de vista se deja de lado el cálculo, sino que la filosofía consiste en reducir la estructura a algo simple y sencillo de calcular.

Y ¿cómo se puede cuantificar esta forma de diseñar chilena? En el año 1997, el ingeniero chileno Tomás Guendelman se acuñó el término “perfil bio-sísmico” para nombrar una serie de valores usuales en los edificios chilenos de hormigón armado en términos de parámetros de diseño, como volúmenes de obra, altura, tamaño de elementos etc. Así, de forma similar a como cuando se va al doctor y le dicen que “tiene la presión baja” o “bajo nivel de plaquetas en la sangre”, se pueden encontrar parámetros de las estructuras para determinar en qué rango se encuentran dichos valores con respecto a los usuales.

En particular, un parámetro interesante es la esbeltez de los miembros que componen la estructura, ya que una característica determinante del diseño en acero deriva de sus problemas de inestabilidad, que limitan su capacidad de desempeño dúctil. Más allá de la definición ingenieril (que se verá en el capítulo siguiente), un miembro es esbelto cuando su largo es mucho más grande que sus otras dos dimensiones, y menos esbelto cuanto más grande es su sección con respecto a su largo. Por ejemplo, a simple vista un tallarín es un miembro muy esbelto, una pila AA es menos esbelta y una taza de café normal es aún menos esbelta. De manera análoga, como los perfiles están siempre compuestos por planchas delgadas, el mismo fenómeno se plantea en las secciones.

A lo largo de este trabajo de título se buscará caracterizar las estructuras industriales chilenas a partir de parámetros de sus miembros. Pero ¿qué significa caracterizar? Según la Real Academia Española, caracterizar significa “determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de los demás”.

Entonces ¿Qué valores de esbeltez tienen las estructuras mineras chilenas? ¿Es la esbeltez un parámetro que caracterice o diferencie los distintos tipos de estructuras industriales? ¿Es la esbeltez un parámetro fundamental en el diseño?

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivos generales**

El objetivo de este trabajo de título es encontrar parámetros que sirvan para caracterizar miembros y elementos de las estructuras industriales de acero de la minería del cobre chilena.

Se busca establecer estos parámetros para un mayor conocimiento de la práctica de diseñar chilena, es decir, mirar la normativa del diseño en acero desde la práctica de su uso en el diseño de estructuras para la minería.

Además, estos permitirán visualizar en la práctica las características de los miembros y secciones efectivamente usadas, lo cual permitirá visualizar valores, rangos y relaciones usuales que la norma podría no evidenciar.

La información provista corresponde a planos de ingeniería de detalles de proyectos ya construidos, por lo que los resultados obtenidos tendrán directa relación con la realidad.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Determinar un valor promedio, desviación estándar y distribución de frecuencias de esbeltez global para elementos en compresión como columnas y diagonales.
- Encontrar qué tan cerca de la relación ancho-espesor límite están diseñados los elementos en compresión, tanto en promedio como en distribución de frecuencias.
- Comparar los parámetros antes mencionados separados por tipo de estructura y/o tipo de perfil, encontrando diferencias y similitudes.
- Encontrar, en caso de ser posible, una esbeltez óptima a partir de los parámetros validados por la estadística.

## **1.3 ALCANCES POR CAPÍTULO**

### Capítulo 1: INTRODUCCIÓN

En este capítulo se menciona la motivación y relevancia del trabajo realizado. Además se detallan los objetivos y los alcances de cada capítulo.

### Capítulo 2: MARCO TEÓRICO

Se detalla la teoría y práctica detrás del diseño de los miembros y elementos estudiados, esto es, tanto lo relacionado con lo puramente estructural como lo relacionado con el proyecto minero.

### Capítulo 3: ESTADÍSTICA PARA DIMENSIONES Y TIPOLOGÍAS DE ELEMENTOS EN GENERAL

Se recoge la información general de la estadística realizada vista como un todo, es decir, total de miembros estudiados, tipos de estructuras, proyectos observados, etc. Se incluye una estadística para el parámetro de la razón entre la altura del miembro y su largo de pandeo. En este capítulo se incluye, además, la metodología utilizada para la obtención de los datos.

### Capítulo 4: ESTADÍSTICA PARA ESBELTECES GLOBALES Y LOCALES DE COLUMNAS

En este capítulo se presentan los resultados y discusiones referidos a las columnas estudiadas. Se encuentra el promedio y distribución de esbeltez global para distintos tipos de estructuras y perfiles. De forma análoga se hace para la esbeltez local de los elementos.

### Capítulo 5: ESTADÍSTICA PARA ESBELTECES GLOBALES Y LOCALES DE DIAGONALES EN ELEVACIÓN

Análogo al capítulo 4, esta vez para diagonales en elevación.

### Capítulo 6: ESTADÍSTICA PARA ESBELTECES GLOBALES Y LOCALES DE DIAGONALES EN PLANTA.

Análogo a los capítulos 4 y 5, esta vez para diagonales en planta.

### Capítulo 7: DETERMINACIÓN DE UNA ESBELTEZ GLOBAL ÓPTIMA.

Se desarrollan fórmulas para obtener una esbeltez óptima para cada tipo de miembro y una en general a partir de los parámetros observados a lo largo de la memoria.

### Capítulo 8: CONCLUSIONES

Se presentan las conclusiones referidas al trabajo, además de sugerencias para futuras investigaciones.

### Capítulo 9: BIBLIOGRAFÍA

Se detalla la información consultada para el desarrollo de este trabajo.

### APÉNDICES

Incluye tablas base para gráficos y base de datos generada a partir de los planos observados.

# Capítulo 2 : MARCO TEÓRICO

Para comenzar a desarrollar la caracterización es necesario definir previamente un marco en donde se desenvuelven los parámetros buscados. En ese capítulo se desarrolla la teoría necesaria para desarrollar y entender el trabajo. Se propone hacerlo de lo más general a lo más específico. En primer lugar, se da una definición de lo que es un proyecto de ingeniería y sus etapas, seguido de una breve descripción de los procesos de una mina típica en Chile. Después de esto, se definen los tipos de estructuras originadas en dichos procesos mineros, para finalmente dar luces acerca de los miembros estructurales involucrados en dichas estructuras y cómo son diseñados.

## 2.1 PROYECTO DE INGENIERÍA

Se entiende por proyecto de ingeniería al conjunto de documentos (memorias, planos, especificaciones, etc.) donde se detalla el modo y conjunto de medios necesarios para llevar a cabo esa idea; especialmente el que recoge el diseño de una obra de ingeniería o arquitectura<sup>1</sup>. Así se deja fuera de esta definición a todo lo tenga que ver con la materialización en terreno del proyecto, esto es: instalación de faenas, topografía, movimiento de tierras, hormigonado, terminaciones u otras actividades propias de la etapa de construcción en terreno. De aquí en más, cuando se hable de proyecto, se está hablando de trabajo de escritorio, de confección de planos, es decir, trabajo en la ciudad.

Vale la pena mencionar que, en términos de costos, la construcción del proyecto constituye alrededor del 90 o 95% de la inversión total, mientras que el proyecto propiamente tal involucra entre el 10 y 5%. Usualmente, los proyectos de ingeniería se dividen en tres grandes etapas: Ingeniería Conceptual, Ingeniería básica y finalmente Ingeniería de Detalles. Para cada una de estas etapas, es muy ventajoso contar con una caracterización a priori de las estructuras que permita, por ejemplo, estimar dimensiones y volúmenes de obra.

Para dar una mejor noción, en esta sección se describen las 3 etapas principales de un proyecto de ingeniería:

1. **Estudio de Factibilidad e Ingeniería conceptual:** Esta etapa tiene como propósito establecer la factibilidad técnico-económica del proyecto y, en caso de que valga la pena hacer el proyecto, definir a grandes rasgos la tecnología que se utilizará. En esta fase es valioso contar con datos que nos permitan determinar, por ejemplo, el peso de la estructura u otros que sirvan para poder

---

<sup>1</sup> Diccionario online de Oxford: <https://es.oxforddictionaries.com/definicion/proyecto>

estimar el costo del proyecto sin tener demasiada información. En esta etapa, se comienza a pensar posibilidades de sistemas estructurales, dimensiones y materiales involucrados.

2. **Ingeniería Básica:** Este proceso tiene como objetivo afinar las estimaciones de inversión y preparar la información necesaria para realizar el proyecto definitivo. Se comienzan a realizar estudios de terreno tales como topografía, mecánica de suelos y, en caso de ser necesario, riesgo sísmico, geología, napas, etc. Al final de esta etapa se debe tener aprobados dos documentos que regirán el proyecto definitivo, estos son el manual de procedimientos, en donde se dispone la relación entre las especialidades involucradas; y los criterios de diseño, que son los aspectos técnicos en los que se basará el diseño definitivo. Por último, en esta etapa se generan los planos de las disposiciones generales de los edificios y los equipos en planta.
3. **Ingeniería de Detalles:** En esta etapa se desarrolla el proyecto definitivo, esto es, la puesta en concreto de todo lo expuesto en las etapas anteriores. Al final de esta etapa deben quedar definidos todos los documentos y planos que se requieren para construir la obra. Es la etapa que ocupa la mayor parte de las horas presupuestadas. Algunos de los documentos que son emitidos al final de esta etapa son, por ejemplo, planos de movimientos de tierras, planos de formas del hormigón, planos de armaduras del hormigón, planos de diseño de las estructuras de acero, etc.

## 2.2 PROCESOS PRODUCTIVOS MINEROS

En la introducción de este trabajo de título se mencionó que las principales estructuras industriales chilenas se ubicaban en dos principales rubros: la minera y la celulosa. En esta sección se tratará de explicar lo más resumido posible los distintos procesos de la minería del cobre, con el fin de entender mejor las estructuras que los soportan.

En primer lugar, es preciso definir los siguientes conceptos:

- a) Mina: Conjunto de labores necesarias para explotar un yacimiento y, en algunos casos, las plantas necesarias para el tratamiento del mineral extraído.
- b) Mineral: Material con valor económico que es enviado a la planta de tratamiento. La calidad del mineral es expresada según su concentración del metal de interés. En minas de cobre se expresa en porcentaje de cobre (%Cu) contenido o 'ley'. En Chile este último varía entre 0,5 y 2 %Cu.
- c) Recurso Minero: Concentración u ocurrencia de material natural, sólido, inorgánico u orgánico fosilizado terrestre de tal forma, cantidad, y calidad que existe una razonable apreciación acerca de su potencial técnico-económico.

- d) Reserva Minera: Aquella porción del Recurso Minero económicamente extraíble de acuerdo con un escenario productivo, medioambiental, económico y financiero derivado de un plan minero.

De esta forma, los principales procesos que involucra una mina para la explotación de una reserva minera de cobre, en particular, se pueden dividir en distintas etapas dependiendo de cuál método se ocupe según el tipo de mineral explotado. En general, las minas de cobre explotan dos tipos de minerales que originan dos tipos de procesos de explotación: Los minerales sulfurados, que corresponden a minerales profundos, y que dan origen al proceso de flotación dentro de la línea de producción de sulfuros; y los minerales oxidados, que corresponden a minerales en superficie, y que originan el proceso de lixiviación dentro de la línea de producción de óxidos. Esto se ve más claramente en la siguiente figura:

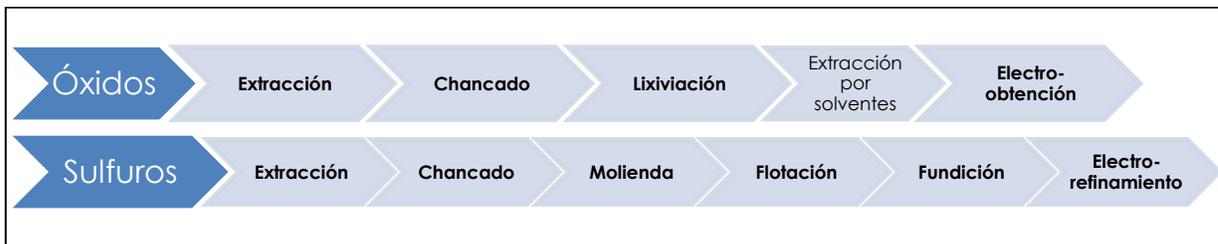


Figura 2-1: Procesos productivos en la minería del cobre

Para dar una mejor noción de las estructuras que se analizarán en esta memoria, se hará una breve descripción de cada proceso en cada línea de producción:

### 2.2.1 Línea de producción de óxidos

- a) **Extracción:** Todo proceso minero comienza con la extracción del mineral desde el macizo rocoso que forma el yacimiento. El proceso de extracción involucra otras tres subetapas que guardan relación con la forma de extraer el material, que son: perforación, en donde se perfora la roca y se introduce el material explosivo; tronadura, durante la cual se hace explotar el explosivo y se logra separar el material a extraer del macizo rocoso; y carguío, donde el material dinamitado es sacado de la zona de explotación y es cargado en el transporte correspondiente.
- b) **Chancado:** El mineral que viene de la mina tiene una granulometría variada entre partículas de menos de 1 milímetro a piezas de más de 1 metro de diámetro. El objetivo del proceso de chancado es reducir el tamaño de las partículas y obtener un diámetro máximo entre 1,5 y  $\frac{3}{4}$  de pulgada. Para realizar esta reducción se lleva el material a reducciones sucesivas en chancado primario y secundario (y eventualmente a terciario). Con ese tamaño es suficiente para que la solución ácida infiltre en los minerales oxidados.

- c) Lixiviación: El material proveniente del chancado es transportado mediante correas y es curado con una solución de agua y ácido sulfúrico. Una vez en el lugar donde se emplazará la pila, es esparcido ordenadamente en terraplenes de 6 a 8 metros de altura. Esta pila de lixiviación es regada con aspersores y sistemas de riego por goteo en su superficie. La solución utilizada infiltra dentro de la pila disolviendo el cobre que forma una solución de sulfato de cobre. Esta es recogida mediante una membrana impermeable que se encuentra bajo la pila. El material es llevado mediante canaletas impermeabilizadas al siguiente proceso.
- d) Extracción por solventes: Durante esta etapa la solución PLS proveniente de la etapa anterior es liberada de sus principales impurezas. Para esto, se mezcla con una solución de parafina y resina orgánica, que captura los iones de cobre en forma selectiva. El compuesto resina-cobre se trata de forma independiente con una solución electrolito rica en ácido, provocando la descarga del cobre hacia el electrolito, mejorando la concentración del cobre en la solución.
- e) Electro-obtención: Durante esta etapa se recupera el cobre disuelto en la solución concentrada. Para esto se utiliza un proceso electrometalúrgico que consiste en hacer circular corriente entre un cátodo (placa de acero inoxidable) y un ánodo (placa de plomo), en donde por atracción magnética el cobre se pega al cátodo partícula por partícula. De este proceso se obtienen cátodos de cobre al 99,99% de pureza en ambas caras del cátodo, con espesores de 3 a 4 centímetros, es decir, entre 70 y 80 kilogramos de cobre por cátodo.

### **2.2.2 Línea de producción de sulfuros**

- a) Extracción: Mismo proceso que en la línea productiva de óxidos.
- b) Chancado: Similar al caso de minerales oxidados, solo que esta vez el objetivo es obtener un diámetro máximo uniforme de media pulgada. Para realizar esta reducción se lleva el material a reducciones sucesivas en tres etapas: chancado primario, en donde se llega a partículas de 8 mm; chancado secundario, que se llega a 3 pulgadas; y chancado terciario, en donde se llega a la media pulgada deseada.
- c) Molienda: En este proceso se continúa reduciendo el tamaño del mineral hasta llegar a 180 micrones o 0,18 milímetros, lo que permite la liberación de la mayor parte del cobre como partículas individuales. Como su nombre lo indica, la reducción se logra mediante molinos, que pueden ser de distintos tipos según el método utilizado. Existen dos métodos: la molienda convencional, que usa tanto molinos de barras como molinos de bolas; y la molienda SAG, que utiliza molinos del mismo nombre. En el caso de la molienda convencional, se mezcla el material proveniente del proceso de chancado para mezclarlo con agua para tener una mezcla homogénea y eficiente. La pulpa obtenida durante este proceso se lleva a la siguiente etapa. Por otro lado, la molienda SAG (Semi Autógena) constituye un proceso más eficiente, recibiendo el material

directamente desde el chancador primario, acortando el proceso de chancado. El material entrante es mezclado con agua y cal, y es reducido gracias a la acción conjunta de métodos tanto químicos, gracias a la cal; como físicos, mediante bolas de acero que caen en caída libre, consumiendo menos energía. Además, este tiene más capacidad, acortando y haciendo más eficiente el proceso. La mayor parte del material obtenido en este punto va al siguiente y solo una pequeña porción debe pasar por un molino de bolas para llegar a los 180 micrones.

- d) Flotación: El material proveniente de la molienda se lleva a unos estanques llamadas celdas de flotación. En ellas se hacen salir burbujas de aire que se unen a las partículas de cobre llevándolas a la superficie y saliendo por rebalse por el borde, siendo llevados por una canaleta hacia estanques especiales. Esto es posible mediante distintos reactivos y aditivos y varios ciclos, obteniéndose un concentrado de cobre de 31% de ley. Durante este proceso se puede obtener además un concentrado de molibdeno de 49% de ley utilizando un proceso especial aparte.
- e) Fundición: Dentro de los variados procesos de fundición, se describe el más común, que consta de 4 subetapas. La primera es la recepción y muestreo, que consiste en determinar la concentración de cobre y otros materiales del concentrado recién llegado de la flotación. Esto debido a que para los procesos siguientes es importante conocer las concentraciones de los componentes del material. En segundo lugar, se produce la fusión, en donde el material es llevado a altas temperaturas para pasar de estado sólido a líquido y que se separe de los otros elementos. La separación se lleva a cabo por peso, pues el cobre es más pesado que los otros componentes, permitiendo que sean vaciados por lugares distintos. Seguido de esto viene la etapa de conversión, donde se lleva el concentrado a un horno Pierce-Smith, que produce el denominado cobre blíster, con un 96% de pureza. Finalmente, el cobre pasa por la piro-refinación, en donde se elimina el oxígeno del cobre blíster llegando a 99,7% de pureza en el denominado cobre RAF (refinado a fuego). Este cobre es moldeado en ánodos de placas gruesas de 225 kilogramos.
- f) Electro-refinamiento: El último proceso de la línea de sulfuros consiste en transformar los ánodos de la fundición en cátodos electrolíticos de alta pureza. Esto se lleva a cabo mediante una electrólisis. Esto consiste en hacer pasar una corriente eléctrica por una solución de ácido sulfúrico entre un ánodo de la fundición y cátodo de cobre (plancha muy delgada de cobre puro). De este proceso se obtienen cátodos de cobre de alta pureza o 99,9% de ley.

## 2.3 CLASIFICACIÓN DE ESTRUCTURAS INDUSTRIALES

A continuación, se propone una descripción de las principales estructuras industriales chilenas involucradas en los distintos procesos productivos mineros. Si bien son

muchas los tipos de estructuras debido a la variedad de procesos, estos se pueden agrupar principalmente en 5 tipos.

### 2.3.1 Naves

Son estructuras usualmente utilizadas como talleres de mantención o en procesos industriales, debido a que permiten proteger una gran área de las condiciones ambientales (sol, lluvia, viento). Además, dada su forma simple permiten la instalación de uno o más puentes grúas que recorren toda su extensión o una parte de ella. Usualmente están estructuradas en base a marcos rígidos en su dirección corta y marcos arriostrados en su dirección larga. Las luces de los marcos van normalmente entre 10 y 30 metros, mientras que los marcos se encuentran separados entre 6 y 8 metros. Generalmente se ocupan columnas de perfil Doble T de sección uniforme para naves livianas y medianas (con grúas de entre 0 y 30 toneladas de carga de levante), sin embargo, para naves pesadas (entre 60 y 100 toneladas de carga de levante) se ocupan columnas más grandes desde el nivel del puente grúa al suelo; y en naves muy pesadas (entre 120 y 150 toneladas de carga de levante) se ocupan columnas enrejadas compuestas.



*Figura 2-2: Nave de taller de camiones en Operación Ministro Hales, de CODELCO.  
(Fuente: Página oficial de CODELCO en Flickr. <https://www.flickr.com/photos/codelco/36781278123/in/album-72157685682661212/>).*

### 2.3.2 Edificios Industriales

Corresponden a estructuras con uno o más niveles de plataforma de operación o soporte de equipos. Son estructuradas con una trama ortogonal de columnas separadas entre 6 a 10 metros y se pueden observar vanos arriostrados en ambas direcciones. La materialidad de las plataformas dependerá de la extensión y el uso del edificio. En general, se usan losas colaborantes de hormigón con vigas metálicas, o bien, emparrillados de vigas arriostradas en planta que reciben parrillas o planchas de piso. Normalmente tienen no más de 6 a 8 niveles dependiendo de las necesidades del

proyecto y su altura de entrepisos no es uniforme variando de 4 a 12 metros. Tienen sobrecargas mayores que en las edificaciones urbanas, variando entre 500 y 3000 kgf/m<sup>2</sup> y usualmente cercanas a 1000 kgf/m<sup>2</sup>. La variación en el valor de la carga se debe a que el puente grúa es utilizado muchas veces solo durante la mantención de los equipos.



Figura 2-3: Edificio industrial en Mina Los Bronces, de Anglo American.  
(Fuente: <http://www.fat.cl/images/capa/capa2a.jpg>)

### 2.3.3 Naves de Molienda

Son un caso particular de edificio industrial de un nivel de plataforma de operación con una sobrecarga de 3000 a 4000 kgf/m<sup>2</sup>. Sus plataformas tienen grandes perforaciones para la instalación de los molinos y se apoyan sobre una serie de columnas tanto en la periferia como en el interior que llevan diagonales en algunos paños. Continúan hacia arriba de la plataforma solo las columnas exteriores formando una nave muy alta, superando fácilmente los 20 a 30 metros entre la plataforma y el hombro de los marcos superiores. De la misma forma que para los edificios industriales, la sobrecarga sísmica rara vez supera el 20% al 25% de la carga máxima de diseño estático, debido a que los puentes grúas son utilizados comúnmente solo para mantención de equipos.



*Figura 2-4: Interior Nave de Molienda, operación Ministro Hales, de CODELCO.*

*(Fuente: Página oficial de CODELCO en Flickr. <https://www.flickr.com/photos/codelco/27842267433/in/album-72157671368236735/>)*

### **2.3.5 Estructuras de soporte de silos o tolvas**

Como su nombre lo sugiere, son estructuras que concentran la mayor parte de su masa en los silos instalados al interior o sobre estas. Usualmente tienen arriostramientos en ambas direcciones, a no ser que, por condiciones de acceso, no se puedan instalar diagonales en cuyo caso se utiliza marco rígido. El caso más interesante es el edificio de chancado, en donde el silo se ubica en la parte superior y se sigue hacia los niveles inferiores con los alimentadores, harneros, etc.



*Figura 2-5: Estructura de chancado de Pebbles, operación Ministro Hales de CODELCO.*

*(Fuente: Página oficial de CODELCO en Flickr. <https://www.flickr.com/photos/codelco/17199116117/in/album-72157652429631095/>)*

## **2.4 CONCEPTOS SOBRE DISEÑO ESTRUCTURAL**

Para poder explicar mejor cómo se diseñan los miembros que componen los tipos estructurales definidos en la sección anterior, se propone definir qué es un miembro estructural y qué tipos hay. Seguido de esto, se definen los principios básicos a considerar durante el proceso de diseño. Finalmente, se explican los parámetros involucrados en los modos de falla que se analizarán en este trabajo.

### **2.4.1 Definiciones de miembros**

Los miembros estructurales, como su nombre lo indica, son las partes identificables que componen una estructura. Existen de diferentes tipos, pero para poder distinguir mejor los miembros de acero en cuestión se propone separar los miembros lineales de los miembros de área. Los primeros, se caracterizan principalmente por tener una dimensión mucho más grande que las otras dos. Dentro de estas se pueden encontrar 3 principales según los esfuerzos predominantes en cada uno de ellos.

El miembro lineal más simple involucrado en las estructuras es la biela. Este miembro se caracteriza principalmente por trabajar principalmente en la dirección larga, es decir, a compresión o tracción. Por definición, la biela no transmite esfuerzos de corte ni de flexión. Este miembro la mayoría de las veces es utilizado como diagonal o arriostramiento para controlar desplazamientos laterales en los marcos y son los que toman la mayor carga sísmica en marcos con diagonales (marcos arriostrados concéntricos). Ejemplo de estas se pueden encontrar en las figuras 2-5 y 2-6 en donde se pueden apreciar marcos arriostrados.

Seguido de la biela se encuentra la viga, que se distingue por estar sometida a esfuerzos transversales a su dirección larga, es decir, flexión o corte y algunas veces a giros en torno a su sección transversal o torsión. Las vigas son la mayoría de las veces horizontales y su función es llevar las cargas desde los vanos a las columnas y ser utilizadas como miembro sismorresistente en marcos sin diagonales (marcos a momento). Algunas veces son utilizadas como puntales que transmiten carga entre columnas. En la figura 2-6 se puede ver una viga de altura considerable bajo el silo.

El último miembro lineal típico es la columna, que es una combinación de los dos anteriores, trabajando tanto en su dirección larga como en las transversales a esta. Su función principal es mantener la estructura en pie y llevar las cargas al piso. Son usualmente verticales, aunque hay excepciones. Son cruciales para la estabilidad global de una estructura y no deberían fallar nunca. En la figura 2-6 se ven las columnas verticales que soportan principalmente el peso del silo.

Desde el punto de vista de su relevancia en la estabilidad del conjunto, la mayor es la columna, luego la viga y finalmente la biela.

En segundo lugar, los miembros de área se caracterizan por tener dos dimensiones que predominan por sobre la otra. Se distinguen principalmente las losas y en menor medida las planchas. Si bien ambas trabajan bajo el mismo esfuerzo principal a flexión, se diferencian en la función que cumplen para la estructura. Las losas cumplen la función de proporcionar una plataforma transitable que sea capaz de transmitir dichos esfuerzos a las vigas y que, dependiendo del sistema estructural, llegarán al suelo. Las planchas de acero funcionan principalmente como paredes y pueden ser usadas, por ejemplo, en estanques o silos, cumpliendo la función de retener el material almacenado. En la figura 2-4 se puede ver la losa de operación del interior de una nave de molinera y en la figura 2-6 se puede ver un silo (nivel superior) que utiliza paredes con planchas de acero.

#### **2.4.2 Principios básicos del diseño estructural**

Para poder dar forma y dimensiones a los miembros desarrollados en la sección anterior, es necesario definir los principios básicos que rigen el diseño. En general, a las estructuras se les pide resistencia, rigidez, estabilidad y economía. Resistencia para soportar las cargas a las cuales va a estar sometida, rigidez para no deformarse demasiado al aplicar estas cargas, estabilidad para que no vuelque y economía para que el diseño sea óptimo, esto puede significar minimizar costo de fabricación, peso, tiempo de construcción, máxima eficiencia de operación, etc. Estos requisitos aplican para toda la estructura, tanto para sus miembros como para las conexiones entre ellos.

De esta forma nacen los estados límite en los cuales la respuesta de un miembro frente a las acciones externas pasa de ser aceptable a inaceptable. Estos estados límite pueden estar relacionados tanto con la resistencia como de las deformaciones del miembro frente a las cargas solicitantes. A los primeros se les llama estados límite de falla y a los segundos estados límite de servicio.

Para el primer caso, el principal foco es la seguridad y corresponden a situaciones en las que se produce una falla total o parcial o quedan incapacitados para resistir nuevas acciones. Algunos ejemplos son la falla por algún esfuerzo como axial, corte o momento, la inestabilidad global de la estructura, el pandeo de alguno de sus miembros o alguna falla por fatiga. En cualquier caso, para un miembro o conexión cualquiera, la ecuación por excelencia que se busca resolver en estos estados límite es:

$$FS = \frac{m_R}{m_S}$$

En donde  $m_R$  corresponde a la mejor estimación de la resistencia del miembro,  $m_S$  a la mejor estimación de las cargas a las cuales está sometido el miembro y FS le llamaremos factor de seguridad.

Se le llama estimación porque en general no es posible saber con plena exactitud ni la resistencia, debido a las variaciones de propiedades del material, imprecisiones de dimensiones, discrepancias entre el caso idealizado de la teoría y la realidad, etc; ni la sollicitación del miembro producto de las cargas a las cuales está sometida la estructura, debido a la naturaleza de las cargas, estimación de sus valores, la diferencia entre la idealización de la estructura y la estructura real, etc. Debido a la incertidumbre de ambos valores es que se propone un factor de seguridad que lleve a probabilidades de falla aceptables.

Por otro lado, los casos de los estados límite de servicio se relacionan con situaciones que, sin afectar la seguridad de la estructura, afectan el normal funcionamiento de esta. Algunos ejemplos pueden ser las deflexiones, agrietamientos o vibraciones excesivas o la falla de miembros no estructurales como tabiques. Para este tipo de estados límites, la ecuación típica a resolver es:

$$n_L \geq n_S$$

En donde  $n_L$  corresponde al valor límite de la condición y  $n_S$  al valor estimado de la condición para el caso más desfavorable en condiciones normales. Por ejemplo, que la deformación más desfavorable de una viga simplemente apoyada sea menor o igual que su largo entre puntos de apoyo dividido por 300.

#### **2.4.3 Principales esfuerzos en miembros y modos de falla generados**

Para poder entender los estados límite de falla de los miembros es necesario primero definir los esfuerzos que los miembros son capaces de desarrollar.

El primero es el esfuerzo axial, que se desarrolla en la dirección larga de un miembro lineal, o en una o ambas direcciones de un miembro de área. Este puede ser de tracción si se está estirando, o de compresión si se está apretando. El esfuerzo produce una deformación que se observa como un acortamiento o alargamiento del elemento. En este tipo de esfuerzo las partículas que conforman el elemento están siendo apretadas o tiradas en el caso de la compresión o tracción, respectivamente. Debido a esto se pueden generar diversos modos de falla, entre los que se encuentran la fluencia del área gruesa o rotura del área neta efectiva, para el caso de tracción; y el pandeo global, local, lateral-torsional y aplastamiento, en el caso de la compresión.

El segundo es el esfuerzo de corte que se desarrolla predominantemente perpendicular a la dirección larga tanto en miembros lineales como de área. El esfuerzo produce una deformación que se observa como una inclinación del eje del elemento. En este esfuerzo las partículas están queriendo deslizarse unas con otras. A partir de este esfuerzo puede generarse, por ejemplo, pandeo local del alma o grietas diagonales.

El tercero se conoce como esfuerzo de momento o de flexión y se desarrolla también en la dirección perpendicular a la dirección larga del miembro ya sea lineal o de área. El

esfuerzo produce una deformación que se ve como una curvatura del eje del elemento. Este esfuerzo produce un par tracción compresión en los altos opuestos de una viga, que puede generar modos de falla dentro de los elementos constituyentes del miembro (alas, almas, etc) asociados a dichos esfuerzos, esto es, pandeo local del ala/alma, fluencia del ala en compresión, etc.

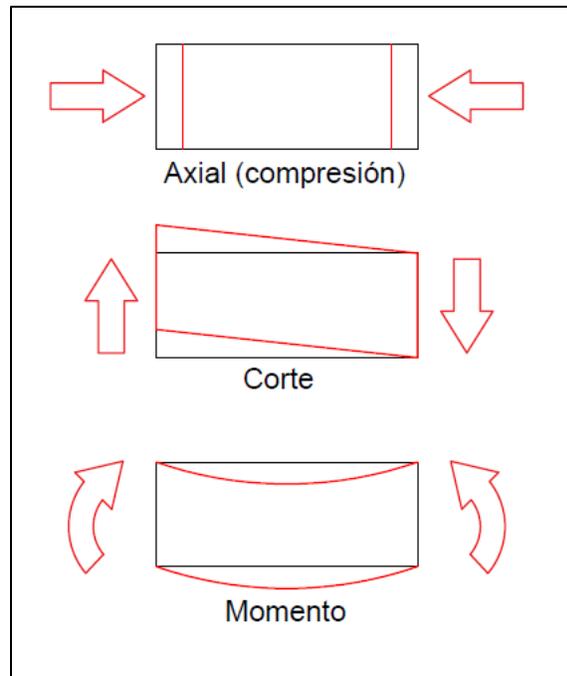


Figura 2-6: Esfuerzos típicos considerados en el diseño y su deformación en rojo, elaboración propia.

Vale la pena mencionar que existen otros esfuerzos que no se tratarán en esta memoria, como la torsión, por ejemplo, que también son considerados algunas veces en el proceso de diseño si es que son relevantes.

También es preciso aclarar que puede ocurrir que el miembro esté sometido a más de un esfuerzo, como ocurre generalmente con el corte y el momento que son difícilmente separables, o en el caso de las columnas que generalmente son sometidas a los tres esfuerzos al mismo tiempo. En este caso la norma ofrece distintas maneras de calcular el esfuerzo de diseño.

#### 2.4.4 Principales propiedades de una sección

En la sección anterior se describieron los principales esfuerzos a los cuales están sometidos los miembros de una estructura. En esta sección se describirán las principales propiedades de las secciones de un perfil cualquiera que influyen en el diseño a compresión y que son utilizados más adelante en el trabajo.

#### 2.4.4.1 Área bruta

El área bruta, como su nombre lo indica, es el área total de una sección. Se mide en unidades de longitud al cuadrado y tiene relación directa con el peso, cantidad de material y, por ende, con el costo de la pieza. Se representa con la letra  $A_g$  para distinguirla del área neta  $A_e$ .

#### 2.4.4.2 Momento de inercia o inercia

El momento de inercia representa la distribución del área con respecto a un eje de giro y solo depende de la geometría y posición del eje de giro, no de las cargas. Es el análogo a la masa inercial cuando se intenta mover un cuerpo en línea recta. Así, mientras más momento de inercia se tenga, más fuerza se requerirá para hacerlo girar. Se representa con la letra  $I$  y se mide en unidades de longitud elevado a cuatro.

#### 2.4.4.3 Radio de giro

El radio de giro se expresa por la siguiente fórmula:

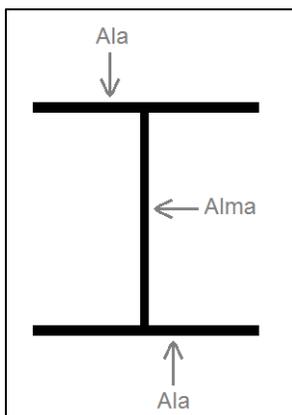
$$r_i = \sqrt{\frac{I_i}{A}}$$

Matemáticamente representa la distancia desde el eje en donde, si se concentra toda el área, la inercia se mantendrá con el mismo valor. Más claramente, para dos secciones con igual área, la de mayor radio de giro presenta más resistencia al giro pues inevitablemente tendrá mayor inercia. Hay un radio para cada eje y se mide en unidades de longitud.

### **2.4.5 Principales secciones utilizadas en acero**

Como ya se describió en las secciones anteriores los miembros componentes de una estructura, lineales o de área, están sometidos a ciertos esfuerzos de axial, corte o momento. Esto origina que ciertos perfiles cumplan de mejor manera funciones específicas para abordar ciertos tipos de esfuerzos. Los comúnmente encontrados en el mercado son los siguientes.

#### 2.4.5.1 Doble T



El caso más emblemático es el de la sección que recibe los nombres de Doble T, H, I, W, IPE u otros, dependiendo de su modo de fabricación o dimensiones particulares. En la figura se ve la configuración típica de este tipo de perfil, que cuenta con dos alas y un alma. Cada pieza de la sección cumple una función en particular. El alma es la encargada de tomar el esfuerzo de corte en la viga, puesto que la resistencia al corte depende de la altura y espesor de la viga, esto es, que tan alta y gruesa sea el alma. Por otro lado, las alas son las encargadas de tomar predominantemente el esfuerzo de flexión, en donde

Figura 2-7: Sección Doble T típica.

normalmente habrá una en compresión y la otra en tracción. Generalmente el espesor del ala es mayor que el del alma.

Caso especial es cuando el ancho del ala es igual a la altura, en ese caso se le denomina perfil H y es comúnmente utilizado en columnas, ya que su radio de giro es comparable en las dos direcciones principales. Por otro lado, cuando la altura es mayor que el ancho se le llama perfil I y se utiliza la mayoría de las veces en vigas o en columnas de marcos rígidos, pues se gana mucha rigidez con la altura. Puede venir en su versión laminada o soldado. Se caracterizan generalmente por la inercia y respectivo radio de giro en sus ejes principales, que tienen nombres particulares. Al eje x se le llama “eje fuerte” y al eje y se le llama “eje débil”, lo que va acorde al valor de las propiedades en cada eje.

#### 2.4.5.2 Tubular

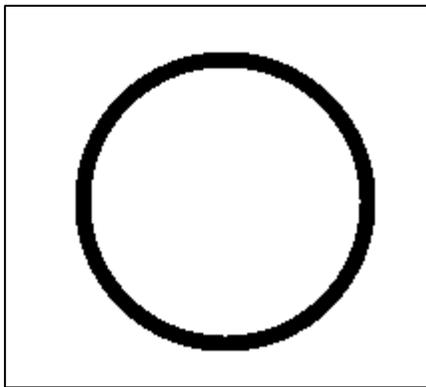


Figura 2-8: Perfil tubular típico.

Otro caso muy particular es el de las secciones tubulares o simplemente tubos. Estos se caracterizan principalmente por ser una sección circular cerrada de espesor uniforme, siendo la relación entre el diámetro y el espesor el principal factor para determinar su resistencia. Esta sección da la posibilidad de conexión en cualquier dirección y la ventaja de tener la misma inercia y radio de giro en todas sus direcciones. Es común verlo utilizado en columnas estáticas y eventualmente diagonales.

#### 2.4.5.3 Cajón

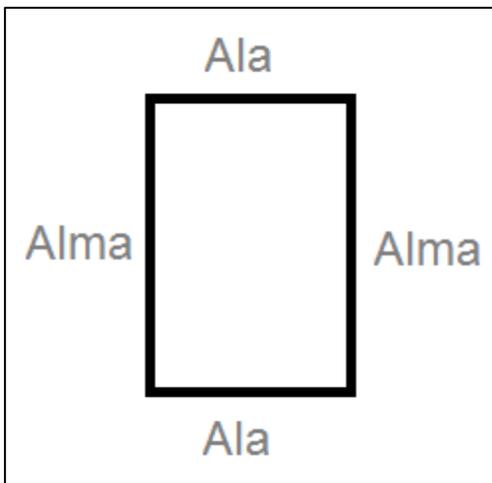


Figura 2-9: Sección cajón típica

Otro caso muy común es el de la sección cajón. Es una sección rectangular cerrada en donde generalmente las alas y almas tienen el mismo espesor y la sección recibe el adjetivo de uniforme. Muchas veces el alto es igual al ancho transformándose en un cajón cuadrado, que es comúnmente utilizado en diagonales, ya que, en este caso, tiene las mismas propiedades en ambos ejes principales.

#### 2.4.5.4 Ángulo

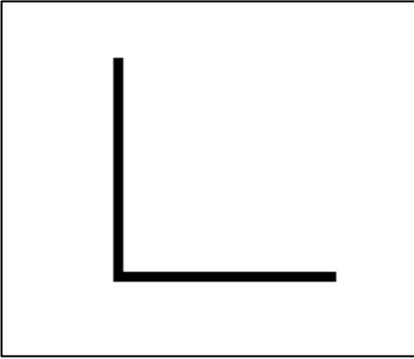


Figura 2-10; Sección ángulo típica combinaciones de dos unidades.

La sección ángulo está conformada simplemente por dos planchas que forman un ángulo que generalmente es de 90 grados. Es una sección liviana que es usada frecuentemente como diagonal, aprovechando su capacidad axial. Puede venir en su formato laminado o soldado. Su principal problema es su esbeltez local o relación ancho espesor. Salvo para usos menores como diagonales en planta de plataformas menores, se usa en

#### 2.4.5.5 XL

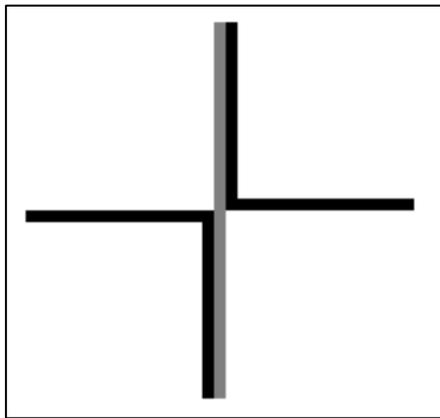


Figura 2-11: Sección XL típica.

La sección XL está conformada por dos ángulos unidos por una plancha a cierto intervalo del largo del elemento. Como el ángulo, se utiliza usualmente como diagonal para aprovechar su capacidad axial, que es básicamente el doble que el de un ángulo simple. Puede ser laminado o plegado en frío.

#### 2.4.5.6 Secciones compuestas

Como una generalización de la sección XL anterior, se tienen las secciones compuestas, que tienen por finalidad aprovechar de ventajas geométricas que aporten significativamente en las propiedades resistentes y a la vez economizar material. Por ejemplo, los casos más comunes son 2L, 2T, 2C, en donde se ocupan composiciones de perfiles livianos para hacer secciones que se asemejan a secciones de mayor envergadura. En el caso del 2T, por ejemplo, se logra una sección muy similar a una Doble T solo que su alma está compuesta por pequeñas planchas o ángulos en diagonal y verticales (como enrejado) que imitan el alma llena normal.

Las secciones compuestas pueden ser usadas como columnas o diagonales según la disposición de la sección, por ejemplo, la sección 2L es muy común en puntales y diagonales de marcos que utilizan columnas de sección 2T, pues la conexión entre estas dos es bastante sencilla. Es preciso mencionar que la forma de calcular las propiedades de este tipo de secciones es distinta al visto en el punto 2.4.4 y su método de cálculo se encuentra en la norma de diseño.

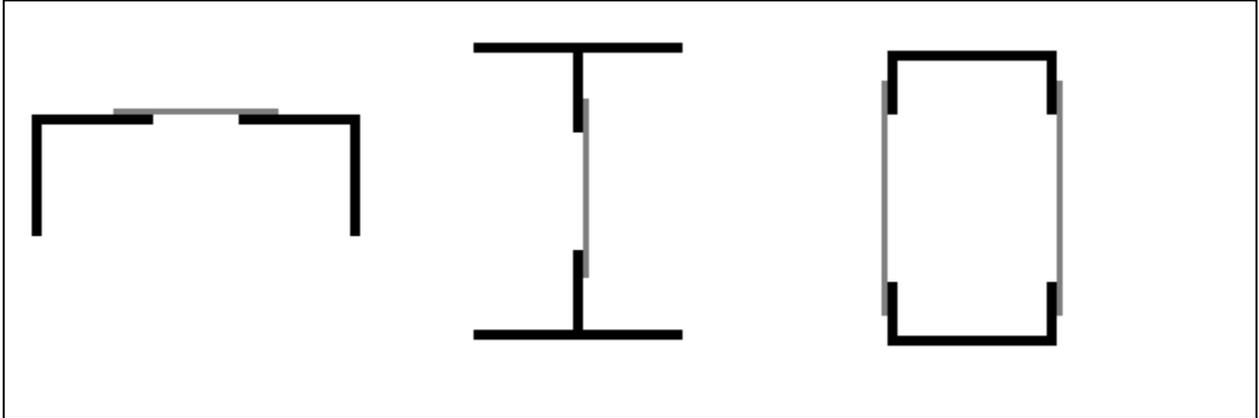


Figura 2-12: Secciones compuestas típicas, 2L, 2T, 2C, de izquierda a derecha.

### 2.4.6 Estados límite de falla considerados en el diseño de miembros de acero en compresión

Una vez que ya se ha definido tanto los esfuerzos, como las secciones más comunes de los miembros, es preciso adentrarse aún más en los modos de falla que se estudiarán más adelante en el trabajo de título. Si bien los modos de falla pueden ser diversos, es de especial interés el de compresión por las características de inestabilidad antes mencionadas. Los otros modos de falla (tracción, corte) son relativamente más sencillos y en cierta manera el de flexión es una combinación de las anteriores. De esta forma, los modos de falla asociados a inestabilidad por esfuerzos de compresión son los siguientes.

#### 2.4.6.1 Pandeo Global o Flexural

En la introducción se trató de forma genérica a la esbeltez como una razón entre el largo de un miembro y su sección. Ahora se pasará a la definición de ingeniería.

En el capítulo E de la norma AISC 360-10 se presentan los modos de falla para miembros en compresión. En particular, el primer modo de falla presentado en dicha norma es el pandeo flexural o global, el cual se produce cuando la deformación transversal a las cargas de compresión no es proporcional a estas últimas. El principal parámetro para caracterizar este tipo de pandeo es la esbeltez global, denominada con la letra griega  $\lambda$  (lambda minúscula), que se calcula de la siguiente manera:

$$\lambda = \frac{K * L}{r}$$

Donde L es la longitud no arriostrada del miembro, r el radio de giro de la sección y K el factor de longitud efectiva, que se puede aproximar utilizando la tabla C-A-7.1 que se muestra en la figura 2-14 en su versión en español, extraída del manual del ICHA de diseño en acero.

Se debe hacer notar que el valor del factor K depende de las condiciones de apoyo en los dos extremos del miembro en compresión considerado.

Vale la pena mencionar que la normativa vigente para las estructuras consideradas en este trabajo de título, Nch2369 Of.2003 disposición 8.3.3, restringe a  $1.5 \pi \sqrt{E/F_y}$  (o 135,7 para acero A36) la esbeltez para miembros en compresión, que es el que separa el fenómeno elástico del pandeo (o de Euler) del con características no lineales.

La columna pandeada se indica con línea de segmentos	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor teórico de K	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valor de diseño recomendado cuando las condiciones ideales son aproximadas	0,65	0,80	1,2	1,0	2,1	2,0
Código de las condiciones de los extremos						
			Rotación fija y traslación fija	Rotación libre y traslación fija	Rotación fija y traslación libre	Rotación libre y traslación libre

Figura 2-13: Tabla de factores de longitud efectiva de pandeo de la AISC360-10

Una vez determinado el valor de la esbeltez global se debe proceder a determinar la resistencia nominal a la compresión del miembro en el estado límite de pandeo global, la cual se calcula mediante la siguiente formula:

$$P_n = F_{cr} A_g$$

Donde  $A_g$  el área gruesa de la sección y  $F_{cr}$  la tensión crítica de pandeo que se calcula en base a dos casos:

- 1) Cuando la esbeltez es menor a 135,7 (para acero A36), la tensión crítica se calcula como:

$$F_{cr} = \left( 0,658 \frac{F_y}{F_e} \right) F_y$$

Donde  $F_y$  es la tensión de fluencia propia del material (2,53 kgf/cm<sup>2</sup> para acero A36) y  $F_e$  es la tensión crítica de Euler calculada como:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

2) Cuando la esbeltez es mayor a 135,7 (para acero A36), la tensión crítica es simplemente:

$$F_{cr} = 0,877 F_e$$

Con esto ya se tiene la resistencia nominal a compresión del miembro debido al modo de falla de pandeo global, la cual depende directamente de la esbeltez, como se visualiza en el siguiente gráfico.

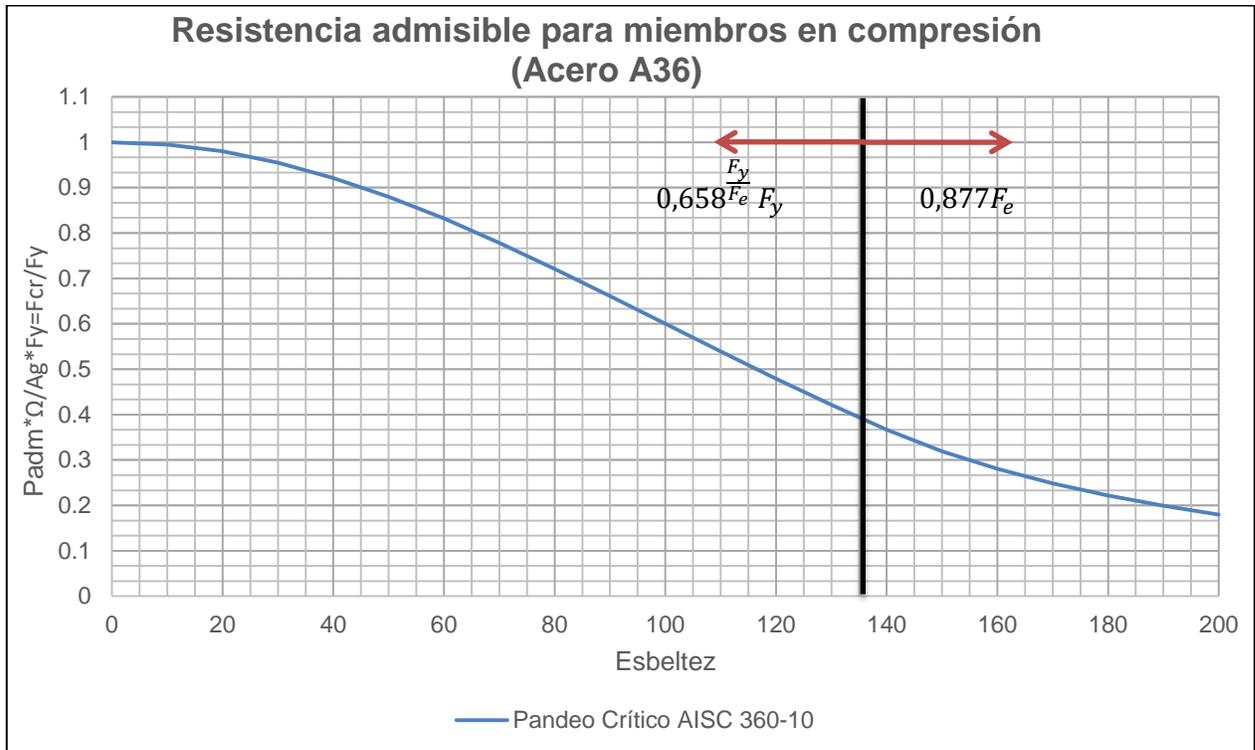


Figura 2-14: Resistencia admisible para miembros en compresión en función de la esbeltez

En donde se normalizó la resistencia admisible del miembro por su área gruesa y se multiplicó por su factor de seguridad para obtener un  $F_{cr}$  genérico para acero A36.

$$P_{adm} = \frac{P_n}{\Omega} = \frac{F_{cr} A_g}{\Omega} \rightarrow \frac{P_{adm} \Omega}{A_g} = F_{cr} \rightarrow \frac{P_{adm} \Omega}{A_g F_y} = \frac{F_{cr}}{F_y}$$

Del gráfico se desprende como la resistencia va disminuyendo desde ser igual a la resistencia a la tracción (o fluencia del acero) hasta perder cerca del 80% de su capacidad cuando la esbeltez es cercana a 200. Por otro lado, se puede visualizar en el gráfico que hay un rango de esbelteces en donde la resistencia es lineal. Si se logra disminuir el rango de esbelteces observando las estructuras reales, se puede llegar a una expresión lineal para la resistencia admisible de un miembro en compresión, lo que significaría una simplificación del diseño de éstos. Esa reducción lleva a una de las preguntas que esta memoria trata de responder. Si bien el rango de esbeltez es muy amplio y en el texto normativo, ilimitado, ¿qué ocurre en la realidad del diseño?

#### 2.4.6.2 Pandeo local en elementos en compresión

Así como los miembros pueden ser esbeltos, los elementos que componen una sección también presentan esbeltez, medido como la razón entre su largo y su espesor. O viéndolo desde el punto de vista de los modos de falla, así como existe la posibilidad localmente de que se produzca un pandeo global del miembro, también existe la posibilidad de que los elementos que constituyen la sección (alas, almas, etc) se pandeen, generando deformaciones transversales a la carga no proporcionales a esta. A este fenómeno se le denomina pandeo local.

Este efecto es considerado en la norma AISC 360-10 al reducir la tensión admisible a compresión del miembro con un factor. Este factor denominado por la letra Q, menor o igual a 1, es considerado solo en caso de que el perfil sea considerado como esbelto respecto al pandeo local, lo cual se verifica si la esbeltez local o razón ancho-espesor del elemento es mayor a cierto valor límite, denominado  $\lambda_r$ , cuyos valores relevantes para esta memoria se muestran a continuación.

Tabla 2-1: Valores de  $\lambda_r$  para distintos tipos de perfil utilizados en la memoria extraídos de la tabla 8.1 de NCh2369 Of.2003.

Perfiles	$\lambda$	$\lambda_r$
<b>Doble T, soldados</b>		
Alas, no atiesadas, perfiles soldados, armados e híbridos (*)	$b/t$	$0,64 \sqrt{E k_c / F_y}$
Almas, todos	$h/t_w$	$1,49 \sqrt{E / F_y}$
<b>Perfiles T</b>		
Alas, perfiles soldados (*)	$b/t$	$0,64 \sqrt{E k_c / F_y}$
Almas	$d/t_w$	$0,75 \sqrt{E / F_y}$
<b>Rectangulares de espesor uniforme</b>		
Alas	$b/t$	$1,4 \sqrt{E / F_y}$
Alma	$h/t_w$	$1,4 \sqrt{E / F_y}$
<b>Tubular</b>		
Circular	$D/t$	$0,11 E / F_y$
<b>Perfiles plegados en frío</b>		
Alas de ángulos simples, perfiles TL, XL, con o sin separadores	$b/t$	$0,37 \sqrt{E / F_y}$
<b>Puntales formados por ángulos laminados</b>		
Alas de ángulos simples, perfiles TL con separadores, perfiles XL, y elementos no atiesados en general	$b/t$	$0,45 \sqrt{E / F_y}$
(*) $k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}}$ pero dentro del rango $0,35 \leq k_c \leq 0,763$		

Donde se eliminaron los tipos de perfiles no observados en la memoria. Además, el valor de  $E/F_y$  es conocido al suponer acero A36 y tiene el valor de 830, mientras que su raíz cuadrada vale aproximadamente 28,8. Se debe tener presente que todas las estructuras estudiadas en esta memoria son de acero ASTM A36. Esta es una limitación, pero refleja la realidad del diseño de los últimos 10 a 15 años.

Ahora bien, en la normativa chilena vigente para las estructuras que se analizarán en este trabajo de título, Nch2369Of2003 disposición 8.3.3, todos los elementos verticales en compresión deben tener una relación ancho-espesor menor a  $\lambda_r$ . De esta forma puede ser interesante investigar qué tan cerca de la esbeltez límite están diseñados los

elementos observados, o si la superan o no. De esta forma se podría obtener una relación entre la altura o ancho de una sección y el espesor.

#### **2.4.7 Resumen del subcapítulo**

Desde el punto de vista de la estabilidad de los miembros estructurales hay dos límites: la esbeltez global del miembro y la local de los elementos de las secciones. Así, todo diseño apunta, como se vio más arriba, a asegurar la estabilidad y las condiciones de servicio a mínimo costo, por lo que el diseñador debe, dado un sistema de esfuerzos, buscar la o las secciones de menor peso, que son las de menor área.

La estabilidad global depende de la esbeltez, y por consiguiente el parámetro que puede variar el diseñador es el radio de giro (ya que la longitud del miembro y su carga son datos). Es fácil ver que este último parámetro depende de las dimensiones generales de la sección y poco de los espesores de las planchas que lo forman. Por lo tanto, el diseño económico será el de espesores más pequeños y por ello es de esperar que el buen diseñador se ubique siempre cerca del límite inferior del pandeo local. Entonces la pregunta que queda es ¿qué ocurre con la esbeltez global? Y ¿cuál es la mejor elección para ellos?

# Capítulo 3 : ESTADÍSTICA PARA DIMENSIONES Y TIPOLOGÍAS DE ELEMENTOS EN GENERAL

## 3.1 ALCANCE

El desarrollo del trabajo de título se dividirá según el tipo de estadística realizada y se comenzará con la obtención de distribuciones para las dimensiones y tipologías de los elementos. Este capítulo comienza con la definición de las bases para el cálculo de las estadísticas, seguido de la lista de proyectos a observar a lo largo de toda la memoria. En el desarrollo del capítulo se encuentra la estadística tanto para tipologías como para dimensiones, las cuales buscan obtener, por ejemplo, el total de miembros por cada tipo de perfil. De esta forma se tendrá una idea general de qué tipos y de qué dimensiones son los miembros en cada tipo de estructura.

## 3.2 BASES DE CÁLCULO

Las bases de cálculo para el desarrollo de esta estadística son:

1. Se estudiarán estructuras de acero diseñadas bajo NCh2369 Of.2003. Esto es, diseñadas después de la fecha de oficialización de la norma (2003).
2. Se estudiarán estructuras de proyectos importantes tanto de mineras privadas como de CODELCO.
3. Se recogerá información de miembros sometidos a compresión. Esto es, columnas, diagonales en elevación (de paños verticales) y diagonales en planta (de paños horizontales).
4. En particular, la información que se observará será:
  - Tipo de miembro: columna, diagonal, etc.
  - Tipo de estructura la que pertenece: nave de molienda, estructura de soporte de silos, nave, edificio industrial, etc.
  - Tipología: HN, IN, cajón, tubular, XL, etc.
  - Dimensiones de la sección: alto, ancho, espesor, etc.
  - Luz de pandeo, correspondiente al 100% de la luz entre puntos de trabajo para columnas y 95% de ella para diagonales tanto en elevación como en planta.

### 3.3 METODOLOGÍA

El desarrollo de esta memoria contempla analizar, desde el punto de vista de los parámetros de diseño, una serie de instalaciones industriales de distintos proyectos de distintas oficinas. Se analizarán 17 estructuras de 11 proyectos construidos entre 2008 y 2016, es decir, diseñados bajo la norma Nch2369 Of.2003. De esta manera se podrá entender la distribución de frecuencias de los parámetros a lo largo de un rango de valores.

Algunos de los parámetros a observar son:

1. Parámetros generales de miembros estructurales como secciones, largos y tipologías.
2. Esbelteces globales según tipo de sección o tipo de estructura.
3. Razón entre esbeltez local y esbeltez límite según tipo de sección o tipo de estructura.

Se privilegiará el tratamiento estadístico de los datos, que se obtendrán a partir de planos efectivamente construidos en los últimos años, los cuales por razones de confidencialidad no se podrán identificar por su nombre público. Sin embargo, para hacerlos identificables se enumeraron del 1 al 11. En la tabla siguiente se muestran los proyectos observados, su año, estructuras consideradas, monto estimado de inversión en millones de dólares de hoy y la oficina que calculó, identificada con una letra para mantener la confidencialidad.

Tabla 3-1: Proyectos y respectivas estructuras que se observarán a lo largo de todo el trabajo.

Proyecto Número	Año	Numero de Estructuras	Estructuras	Inversión MM US\$	Oficina
1	2008	2	Molienda, Filtros	500	A
2	2010	3	Chancado de Pebbles, Molienda, Tolva de Calcina	3.000	B
3	2011	1	Taller de Camiones	600	C
4	2012	2	Chancado primario, Chancado Secundario	1.100	D
5	2012	2	Estación de bombeo, Almacenamiento de concentrado	3.500	E
6	2014	1	Soporte Chimenea	400	F
7	2015	1	Taller de Camiones	20	G
8	2015	1	Edificio de filtros	20	H
9	2015	1	Torre de transferencia	50	I
10	2016	2	Barrio Cívico, Taller de mantención	100	A
11	2016	1	Edificio Sopladores	800	J
<b>Total estructuras</b>		<b>17</b>			

### 3.4 PROCEDIMIENTO

Para el desarrollo de la estadística se utilizó la plataforma Microsoft Excel para ir almacenando los datos que se iban obteniendo. Se escogió esta plataforma debido a su facilidad de uso y porque no se trata de una base de datos demasiado extensa como para necesitar algún programa especializado de estadística. Para esta estadística se enumeran los parámetros extraídos junto con un marco que sirve de ejemplo que se puede ver en la figura siguiente.

1. Proyecto al cual pertenece: esta información es confidencial. Sin embargo, para poder diferenciar un proyecto de otro se enumeraron del 1 al 11. En el ejemplo: Proyecto 3.
2. Identificación de tipología de la estructura: Esta información se obtiene por el título del plano observado. En el ejemplo: Nave taller de camiones.

3. Calidad del acero con el cual fue construida la estructura: Se obtiene usualmente de las bases de la memoria de cálculo, en donde se definen los materiales a utilizar. En el ejemplo: Acero estructural ASTM A36.
4. Identificación del elemento desde el punto de vista de su función estructural: Usualmente es evidente debido a su disposición en elevación. Columnas son generalmente verticales, vigas horizontales y diagonales que van de nodo a nodo. En el ejemplo: Columna.
5. Tipo de marco al cual pertenece el elemento en cuestión: Se puede visualizar generalmente por la falta de diagonales en una de las dos direcciones principales. En general se utilizan perfiles altos en esa dirección, formando un marco rígido. En presencia de diagonales será un marco arriostrado. En ocasiones, en la descripción de la estructura en la memoria de cálculo se explicita el tipo de marco utilizado en cada dirección. En el ejemplo: Marco Rígido.
6. Eje del plano observado en el cual está presente el elemento: Se obtiene simplemente al recoger el número o letra del eje de cual se está extrayendo la información del elemento. En el ejemplo: Ejes 2 al 5
7. Nombre de la sección: Es información que está en el plano. En el ejemplo: IE80x263
8. Tipología de la sección: Lo da la primera letra del nombre de la sección. Las secciones doble T con ancho de alas menor a la altura de la sección se denominan con la letra I, en caso de ser iguales con la letra H. Secciones canales con la letra C, cajones con el símbolo [], doble ángulo en X con las letras XL, tubular con la letra griega  $\phi$ , ángulos con la letra L, etc. En el ejemplo: I.
9. Dimensiones de la sección: Hay dos opciones. Se puede obtener directamente del nombre en caso de que esté escrito, para perfiles doble T, de la forma XXNNxAxBxCC en donde XX es el tipo de perfil, NN es la altura de la sección, AA el ancho, BB el espesor del ala y CC el espesor del alma, en milímetros. En otros perfiles se hace algo similar. Esto en contraposición al caso en que el perfil esté denominado de la forma XXNNxDD en donde XX y NN significan lo mismo que anteriormente, pero DD representa el peso en kilogramos-fuerza por metro lineal del perfil. En este caso, para recoger las dimensiones de la sección se pueden revisar las tablas de perfiles ICHA o CINTAC en caso de ser perfiles usuales; o bien, en caso de ser perfiles especiales, se puede encontrar las dimensiones en los planos o en la memoria de cálculo. En el ejemplo: H=800, B=400, e=25, t=18.
10. Cálculo de propiedades: Una vez ya obtenidas las dimensiones del perfil se pueden calcular sus propiedades básicas como el área gruesa, las inercias en ambos ejes principales y los radios de giro en ambas direcciones. Para perfiles que están en los catálogos se extrae esa información directamente y para perfiles especiales se calcula cada propiedad.

11. Cantidad de elementos con iguales características: Muchas veces el elemento observado se repite en otros ejes. La cantidad de elementos recoge cuantas veces se repiten los elementos con iguales parámetros. En el ejemplo: 8 (dos columnas por marco y el marco se repite en cuatro ejes.)

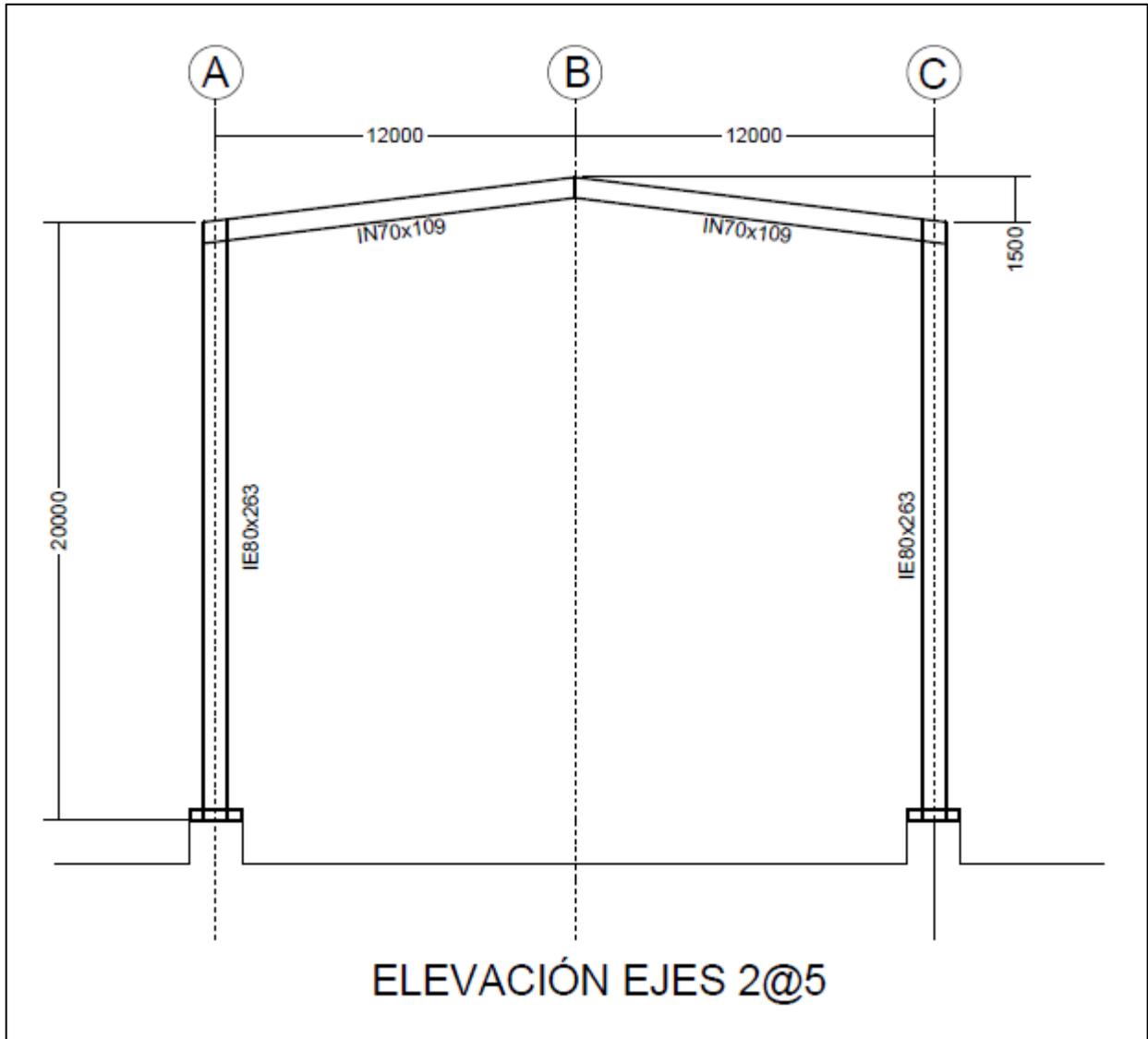


Figura 3-1: Ejemplo marco observado, elaboración propia.

De esta forma se puede construir una base de datos en Excel que contenga toda la información anterior almacenada en columnas, la cual se puede analizar fácilmente. La base de datos analizados se encuentra anexa en este trabajo de título.

## 3.5 RESULTADOS

### 3.5.1 Cantidad total de miembros

De los 11 proyectos y 18 estructuras estudiadas, se observaron 7208 miembros en total. La distribución de miembros observados separados por tipo de miembro se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 3-2: Distribución general de miembros observados*

<b>Miembro</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>
Columnas	1426	21%
Diagonales en elevación	1949	28%
Diagonales en planta	3499	51%
<b>Total</b>	<b>6874</b>	<b>100%</b>

Si se quiere ver de otra manera, la distribución en peso es la siguiente:

*Tabla 3-3: Distribución general de miembros observados en peso*

<b>Miembro</b>	<b>Peso [ton]</b>	<b>Porcentaje</b>
Columnas	2013	75%
Diagonales en elevación	548	20%
Diagonales en planta	132	5%
<b>Total</b>	<b>3728</b>	<b>100%</b>

### 3.5.2 Cantidad de miembros por tipo de estructura

Además, se muestra la distribución de la totalidad de miembros en cada estructura:

Tabla 3-4: Total de miembros observados por estructura y clasificación.

Proyecto	Estructura	Clasificación	Total	Columna	Diag. ele	Diag. Planta
1	1- Molienda	Nave de Molienda	772	143	112	517
	2- Filtros	Nave	272	76	70	126
2	1- Chancado de pebbles	Soporte de Silos	713	102	122	489
	2- Molienda	Nave de Molienda	224	96	112	16
	3- Tolva Calcina	Soporte de Silos	1669	136	248	1285
3	1- Taller de Camiones	Nave	34	22	12	0
4	1- Chancado Primario	Soporte de Silos	262	76	186	0
	2- Chancado Secundario	Soporte de Silos	288	128	160	0
5	1- Estación de Bombeo	Nave	194	52	30	112
	2- Almacenamiento concentrado	Nave	66	42	24	0
6	1- Soporte chimenea	Soporte de Silos	243	73	146	24
7	1- Taller de camiones	Nave	188	68	120	0
8	1- Filtros	Nave	296	72	224	0
9	1- Torre de transferencia	Soporte de Silos	314	49	162	103
10	1- Barrio Cívico	Edificio	675	222	155	298
	2- Taller de mantención	Nave	618	47	42	529
11	1- Edificio Sopladores	Nave	46	22	24	0
Total			<b>6874</b>	<b>1426</b>	<b>1949</b>	<b>3499</b>

O si se quiere ver por tipo de estructura, se tiene:

Tabla 3-5: Total de miembros y de estructuras observadas por tipo de estructura

Tipo de estructura	Cantidad	Total de miembros	Columnas	Diagonales elevación	Diagonales planta
Nave	8	1714	401	546	767
Soporte de Silos	6	3489	564	1024	1901
Nave de Molienda	2	996	239	224	533
Edificio	1	675	222	155	298
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>6874</b>	<b>1426</b>	<b>1949</b>	<b>3499</b>

En los anexos se encuentra el detalle de la distribución de columnas, diagonales en elevación y diagonales en planta para cada estructura.

### 3.5.3 Cantidad de miembros por tipo de perfil y alturas y luces promedio.

Para dar una mejor noción de los perfiles usualmente utilizados, se muestra una tabla con la altura promedio de cada tipo de perfil observado:

Tabla 3-6: Cantidad total, altura y luz promedio, por tipo de perfil

Perfil	Cantidad	Altura promedio [mm]	Luz Promedio [mm]
I	677	709±338	7035±4736
H	1074	343±134	4685±2169
Cajón	1491	148±56	3758±1246
L	2277	87±16	1987±617
XL	946	176±31	2539±1168
Enrejado T	112	134±18	5577±593
Enrejado C	48	275±25	5229±688
2L	30	175±0	3063±320
Tubular	219	150±47	2801±731
<b>Total</b>	<b>7208</b>		

En los capítulos siguientes se verá qué tipo de perfiles predominan en qué tipos de estructuras, dándole más sentido a la tabla anterior.

### 3.5.4 Estadística de la razón entre la altura de la sección y la luz de pandeo.

Para el desarrollo de esta estadística simplemente se dividió la altura de la sección (H) en el largo de pandeo del miembro. Análogamente a las estadísticas anteriores, se separa entre tipos de miembros. Los resultados son los siguientes para columnas, diagonales en elevación y diagonales en planta, respectivamente:

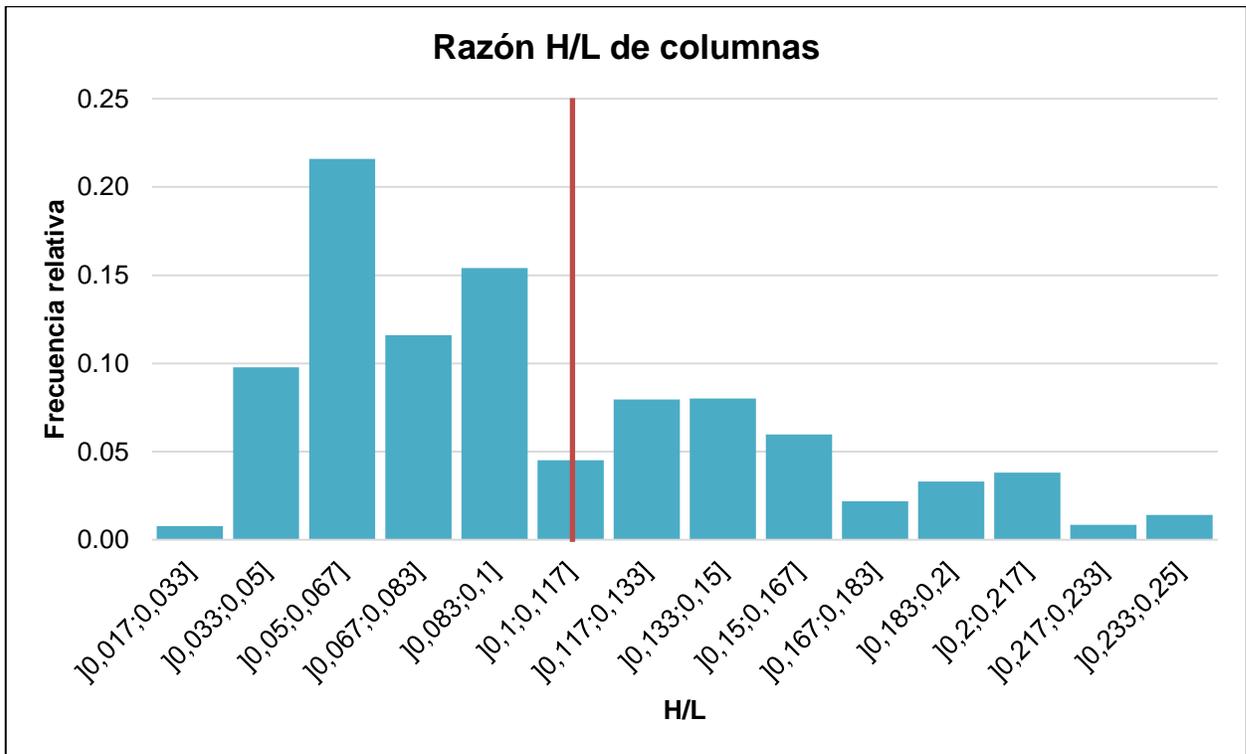


Figura 3-2: Distribución de H/L para columnas

En donde se obtuvo un promedio de  $0,107 \pm 0,062$ , es decir, la razón se ubica entre  $1/22$  y  $1/6$ .

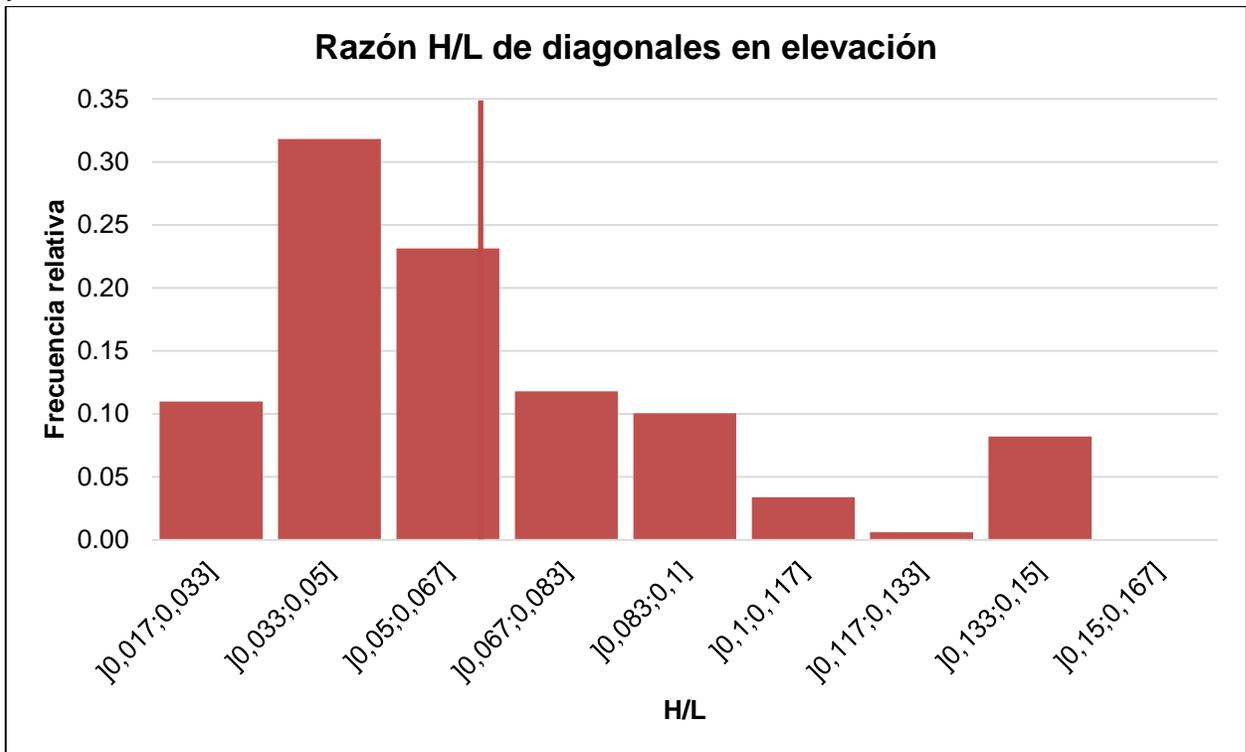


Figura 3-3: Distribución de H/L para diagonales en elevación

En donde se obtuvo un promedio de  $0,064 \pm 0,038$ , es decir, la razón se ubica entre  $1/40$  y  $1/10$ .

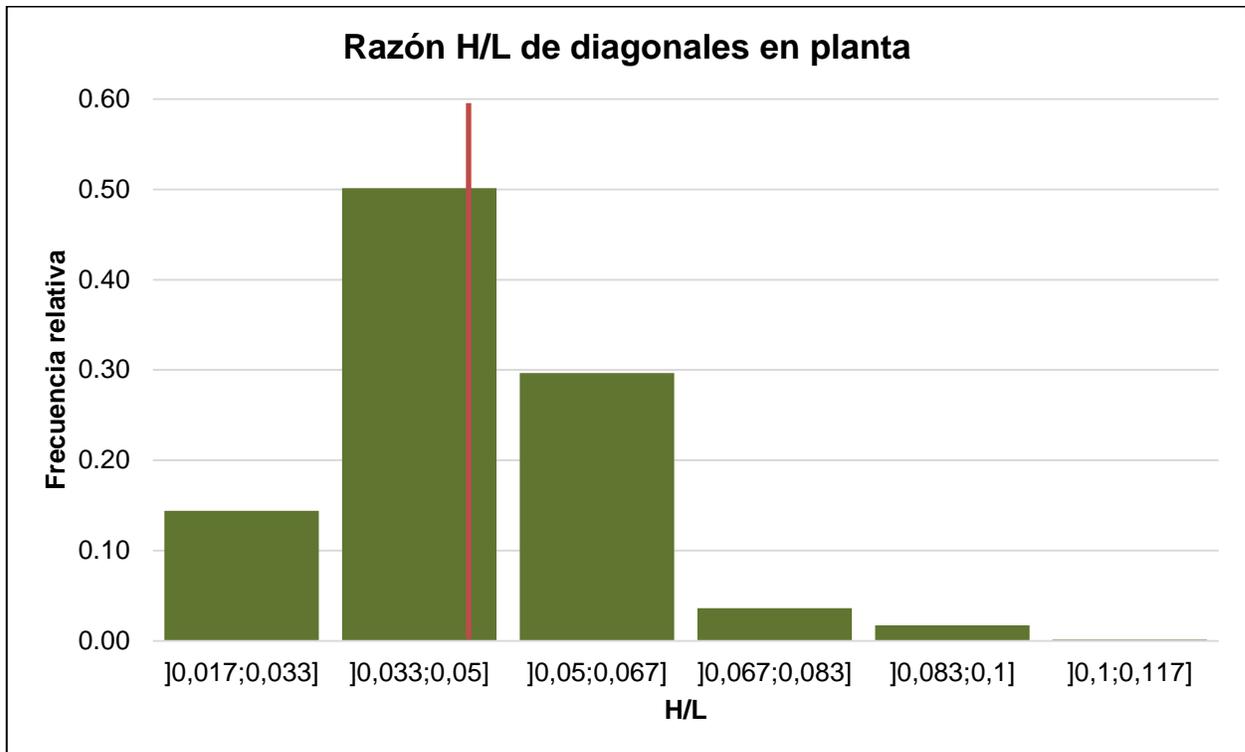


Figura 3-4: Distribución de H/L para diagonales en planta

En donde se obtuvo un promedio de  $0,047 \pm 0.038$ , es decir, la razón se ubica entre  $1/120$  y  $1/12$ .

### 3.6 DISCUSIÓN

Sobre los resultados obtenidos se pueden hacer los siguientes alcances.

En primer lugar, se observa que se estudiaron una gran cantidad de miembros, de los cuales el 50% corresponden a diagonales de planta. Sin embargo, al mirar con detención los datos, se observa que para dicho tipo de miembro se obtienen grandes frecuencias para un mismo perfil, dado que se repite muchas veces en una misma planta. Caso contrario sucede, por ejemplo, con las columnas, pues en estas difícilmente se repiten las mismas características en una misma elevación, cambiando largos, condiciones de apoyo o hasta incluso secciones. Si bien en número predominan las diagonales en planta, se nota que en peso es precisamente al revés.

En segundo lugar, se podría pensar que se estudiaron tipos de estructuras de forma asimétrica, pues para las naves y estructuras de soporte de silos, por ejemplo, hay muchos más datos y mayor variedad de estructuras. Sin embargo, es preciso mencionar que dichos tipos de estructuras son las que predominan dentro las estructuras industriales, siendo cada uno el emblema de cada tipo de marco

predominante. Por un lado, para los marcos rígidos se suele pensar en una nave con columnas y vigas de gran altura en una dirección y con marcos arriostrados en la otra. Por el otro, para marcos arriostrados se piensa usualmente en una estructura de soporte de silos, una tolva, un chancador, etc., que tenga arriostramientos en ambas direcciones. De esta forma se estarían cubriendo los casos más interesantes y que la estadística busca caracterizar.

Por otro lado, se puede hacer mención sobre la utilidad de tener alturas y luces promedio para cada tipo de perfil independientemente de la estructura a la cual pertenecen. Más adelante se mencionará la predominancia de ciertos perfiles en ciertos tipos de estructuras, siendo casi directa la relación entre ambas. Estos valores son útiles al hacer la conexión con el tipo de miembro y tipo de estructura a la cual pertenecen, y sirven como referencia para comenzar un prediseño.

Por último, se hace mención sobre las distribuciones de la razón  $H/L$  en donde se obtienen rangos mayores para columnas, luego para diagonales en elevación y por último diagonales en elevación. Esto es esperable pues las columnas tienen mayor envergadura ( $H$  mayor) y en algunos casos cubren luces más pequeñas ( $L$  menor), haciendo que la razón aumente su valor.

# Capítulo 4 : ESTADÍSTICA PARA ESBELTECES GLOBALES Y LOCALES DE COLUMNAS

El capítulo comienza con un breve alcance sobre la relevancia de la estadística. Lo sigue la definición de las bases para el cálculo de ambas esbelteces, para luego detallar las particularidades de cada estadística según tipo de elemento considerado, junto con sus respectivos resultados. Al final de cada resultado se propone una discusión sobre los resultados obtenidos.

## 4.1 ALCANCE

Para esta estadística interesa contar con información fiel de proyectos reales que permita restringir la investigación hacia los casos reales. Esto permite una visión del diseño desde su práctica, enfoque diferente al que proporcionan la academia y los aparatos estatales. Al contar con esa visión se puede discriminar entre los aspectos normativos realmente relevantes y aquellos que complementan lo central. Al saber cuáles son los márgenes en que se mueve el diseño se puede distinguir en la norma aquellas recomendaciones que se utilizan en la profesión y, por consiguiente, están legitimadas en la realidad, de las que puedan tener fundamento teórico pero no aplican.

Por ejemplo, si el resultado de la estadística fuera que el promedio de las esbelteces de elementos en compresión verticales (columnas y diagonales de paños verticales) es 60 y el 80% de la muestra tiene una esbeltez entre 40 y 100, con esto la tensión admisible en compresión estaría entre  $0.36F_y$  y  $0.55F_y$ . Lo último permitiría sacar algunas conclusiones: primero, la gran mayoría de este tipo de elementos se estaría diseñando en el rango de esbeltez global anelástica. Además, la restricción de esbeltez global menor a 200 sería inoficiosa ya que en la práctica sería cercana a 100.

Por otro lado, si se quiere ver en términos de esbeltez local, se podría obtener en la estadística que dichas esbelteces en promedio estén al 90% de la esbeltez límite, variando en un rango entre +5% y -20%. Esto entregaría inmediatamente los valores de los espesores utilizados, dada la geometría de la sección.

## 4.2 BASES

1. Se estudiarán estructuras de acero diseñadas bajo NCh2369 Of.2003. Esto es, diseñadas después de la fecha de oficialización de la norma (2003).
2. Se estudiarán estructuras de proyectos importantes tanto de mineras privadas como de CODELCO.
3. Se recogerá información de columnas.

4. Se observarán los mismos proyectos que para la estadística anterior.
5. En particular, la información que se recopilará será:
  - Tipo de elemento: columna.
  - Tipo de estructura la que pertenece: nave de molienda, estructura de soporte de silos, nave, edificio industrial, etc.
  - Tipo y dimensiones de la sección: Doble T, alto, ancho, espesor, etc.
  - Largo entre puntos de trabajo.
  - Condición de apoyo en extremos.
  - Cantidad de elementos con las mismas características anteriores.
6. Para columnas se considerará luz de pandeo el 100% de la luz entre puntos de trabajo.

### 4.3 RESULTADOS PARA ESBELTEZ GLOBAL

#### 4.3.1 Resultados en general

Como se mostró en el capítulo anterior, se observaron 1426 columnas. Al analizar los datos obtenidos se obtuvo que el promedio de esbeltez global para las columnas es de  $38 \pm 19$ . La distribución de esbeltez global en general (sin hacer ningún tipo de distinción por perfil ni tipo de estructura) se muestra en el siguiente gráfico. Para todos los gráficos de distribución de esbelteces hay una tabla que se encuentra adjunta en los anexos. La línea vertical muestra el promedio de la distribución.

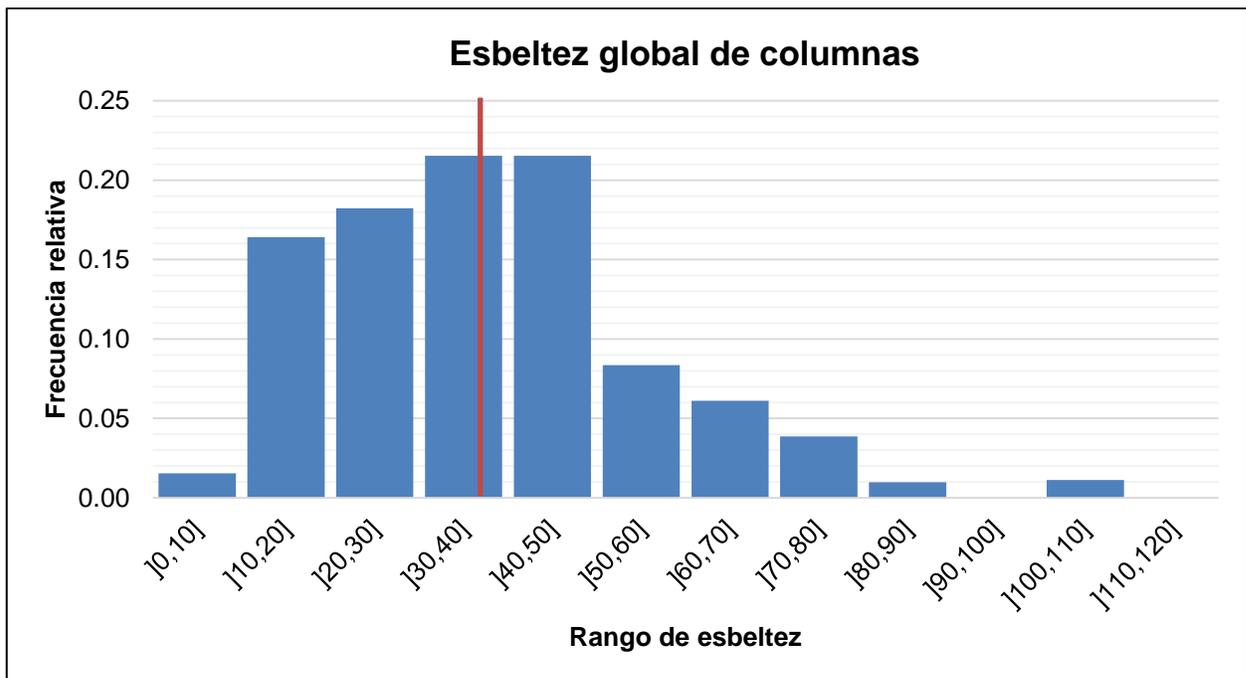


Figura 4-1: Distribución de esbeltez global de columnas

Del gráfico anterior se puede ver que cerca del 95% de las columnas se concentran esbelteces entre 10 y 80. Otra cosa interesante del gráfico es que rara vez se encuentran columnas con esbelteces mayores a 90, dejando el abanico de esbelteces entre 90 y 200 prácticamente vacío.

#### 4.3.2 Resultados separados por tipo de estructura

Sin embargo, del gráfico resulta otra interrogante ¿Qué pasa con esta distribución si se separa por tipo de estructura a la cual pertenece? Parece ser una pregunta válida pues es sabido que las columnas de marcos rígidos como en el caso de las naves, por ejemplo, utilizan perfiles bastante más altos que en el caso de los marcos arriostrados concéntricos como en el caso de las estructuras de soporte de silos. En resumen, del total de columnas, se obtuvo la siguiente distribución de frecuencias al separar por tipo de estructura.

*Tabla 4-1: Distribución de esbeltez global de columnas según tipo de estructura.*

<b>Tipo de estructura</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Promedio</b>
Soporte de Silos	564	40%	33±15
Nave	401	28%	43±22
Nave de molienda	239	17%	45±21
Edificio	222	16%	36±12
<b>Total</b>	<b>1426</b>	<b>100%</b>	<b>38±19</b>

De la tabla anterior se desprende la cantidad de columnas en cada tipo de estructura y su respectivo porcentaje con respecto al total de columnas, además de los promedios de esbeltez para cada tipo. Se mostrará en un gráfico cada distribución individual para cada tipo de estructura.

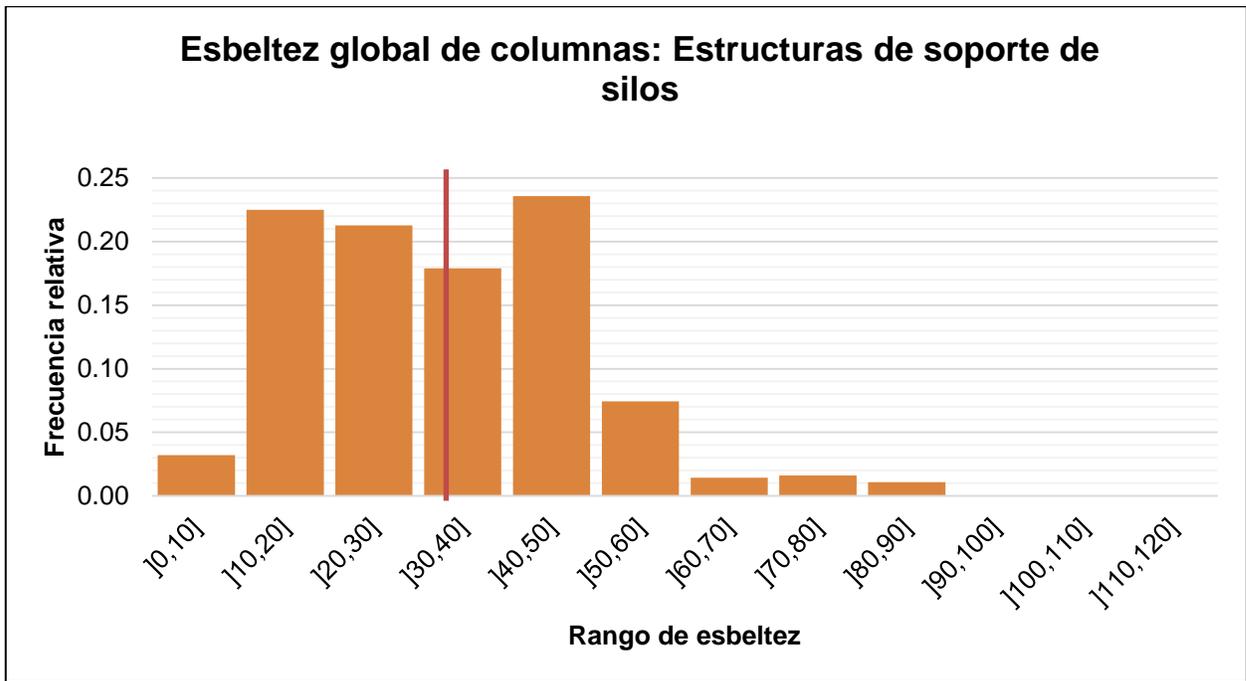


Figura 4-2: Distribución de esbeltez para Estructuras de Soporte de Silos

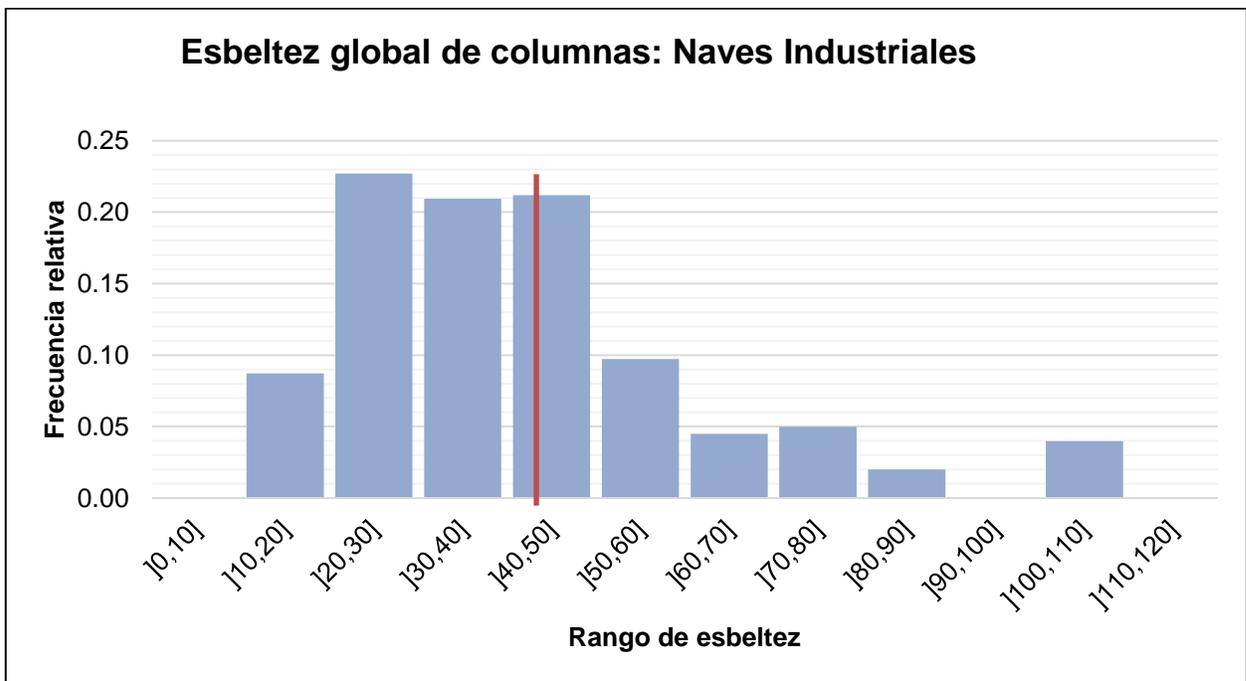


Figura 4-3: Distribución de esbeltez global para Naves Industriales

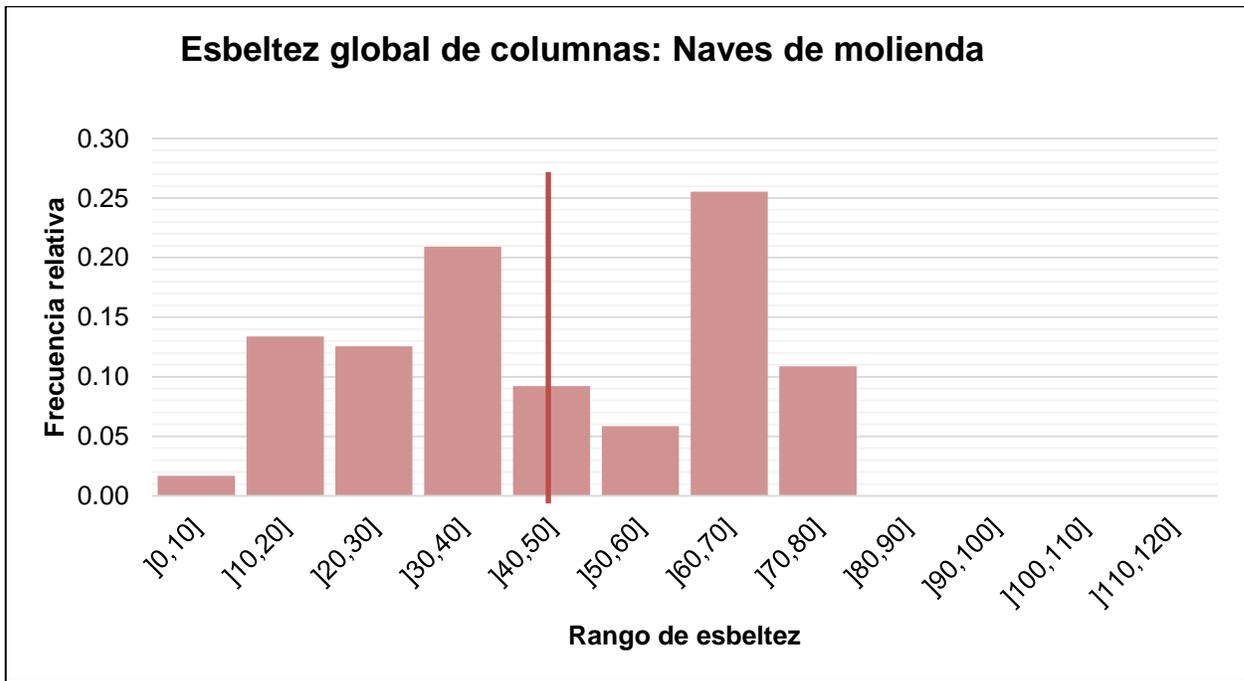


Figura 4-4: Distribución de esbeltez global para Naves de Molienda

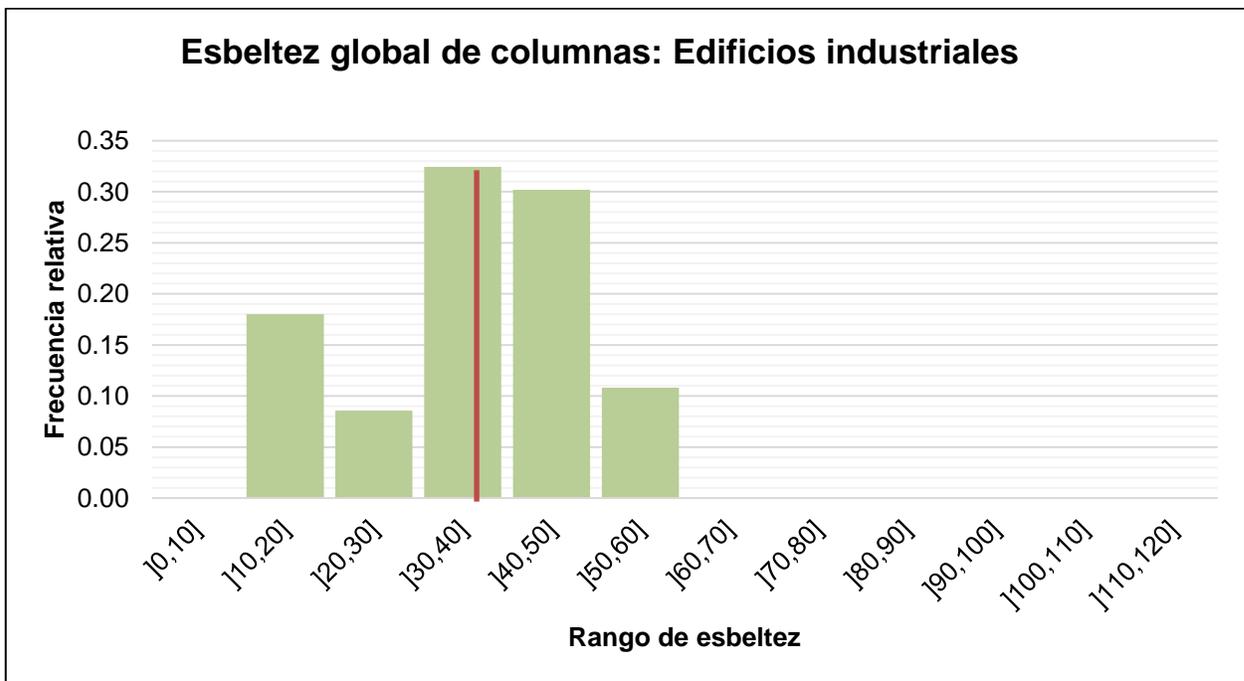


Figura 4-5: Distribución de esbeltez global para Edificios Industriales

### 4.3.3 Resultados separados por tipo de perfil

Por otro lado, existe la posibilidad de en vez de separar por tipo de estructura, separar por tipo de perfil. A continuación, se muestra una tabla con la distribución de los perfiles utilizados en las columnas observadas.

Tabla 4-2: Distribución de tipos de perfil de las columnas observadas.

Perfil	Cantidad	%	Promedio
Tubular	73	5%	35±9
I	609	43%	46±20
H	744	52%	35±18
<b>Total</b>	<b>1426</b>	<b>100%</b>	<b>38±19</b>

De donde se ve que entre los perfiles I y H, ambos doble T, corresponden el 95% del total de la muestra de columnas. No se graficará la distribución pues ambas son similares al comportamiento global de las columnas.

#### 4.4 RESULTADOS PARA ESBELTEZ LOCAL

Para el caso de la esbeltez local, se expresó como la razón de la relación ancho-espesor de la sección con respecto a la esbeltez límite  $\lambda_r$ . En total, se contabilizaron esbelteces locales de 1426 columnas, considerando alas y almas, obteniéndose un promedio de 0.83 de la esbeltez límite. Además, se contabilizó las veces que controló el alma, el ala o eran iguales. El resumen de los resultados para las esbelteces locales de las columnas se muestra a continuación.

Tabla 4-3: Resultados para relación de esbeltez local de almas y alas de columnas.

Columnas	Cantidad	% respecto al total
Controla alma	1152	81%
Controla ala	201	14%
Igual esbeltez	73	5%
<b>Total</b>	<b>1426</b>	<b>100%</b>

En donde en la primera columna se muestra la cantidad correspondiente a cada fila y en la segunda se muestra el porcentaje con respecto al total.

La distribución de la razón entre la razón ancho espesor del elemento con respecto a la esbeltez límite para columnas se muestra a continuación:

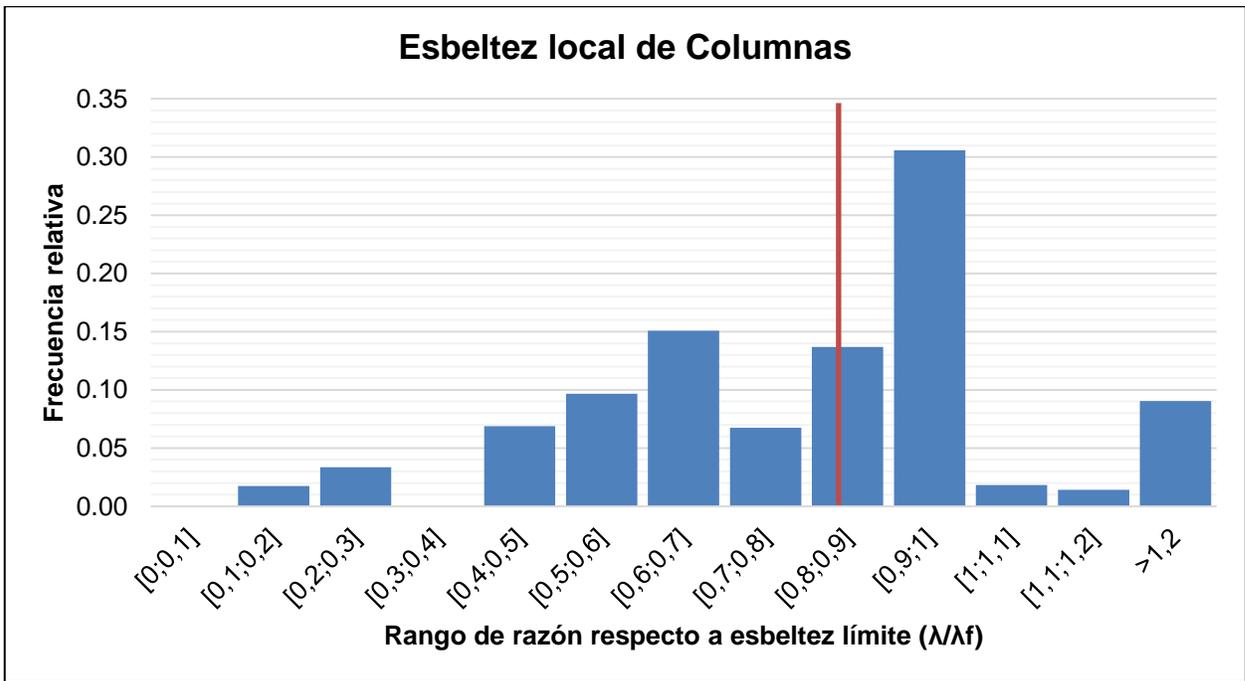


Figura 4-6: Distribución de porcentaje con respecto a esbeltez límite, columnas en general

De donde se puede observar que se obtienen valores crecientes de frecuencia que tienden a la esbeltez límite.

## 4.5 DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos se pueden hacer ciertas observaciones.

### 4.5.1 Esbelteces globales

Quizás la más importante de ellas es que pensar en esbelteces mayores a 100 o a 120 no corresponde a la realidad del diseño, ya que, de todas las columnas analizadas, el 98% se encuentra por debajo de dicho límite. Otro dato interesante es que la esbeltez global promedio sea  $38 \pm 19$ , ya que muestra un promedio más bajo del esperado. Otra conclusión importante ya prevista pero no menos importante es que cuando se habla de columnas, se habla de perfiles Doble T.

En la figura 4-1 se ve la distribución obtenida, en donde se observa que el intervalo entre 10 y 80 se concentra más del 95% de todas las columnas observadas. De la misma figura llama la atención la cantidad de elementos con esbeltez baja, esto es, entre 0 y 20, que corresponde al 16% del total de columnas. Esto puede deberse a que algunas veces al ser conectadas vigas en distintos niveles a las columnas, estas últimas quedan con longitudes de pandeo muy pequeñas, reduciendo la esbeltez significativamente. Lo anterior podría significar un aumento en la esbeltez considerando

que dichas esbelteces bajan el promedio general. El intervalo entre 20 y 80 considera el 80% de las columnas observadas, lo que es un porcentaje considerable de la muestra.

De los gráficos separados por estructura se observa que todas presentan tendencias similares. Sin embargo, hay algunos matices. Se observa que en las naves se obtienen esbelteces promedio notoriamente mayores que para las estructuras de soporte de silos y edificios industriales. Esto puede deberse a que las naves suelen presentar luces más grandes dado que no son interceptadas por vigas en varios tramos como en un chancador primario, por ejemplo, sino que tienen niveles más ordenados como podría ser una nave de taller de camiones, que tiene puntales por el eje débil cada 5 o 6 metros en altura.

De todas las distribuciones por estructura, la que más llama la atención es la de naves de Molienda, pues tiene el mismo comportamiento que el resto entre 0 y 60, pero entre 60 y 80 presenta frecuencias muy altas. Esto puede tener relación con lo mencionado en el párrafo anterior de las grandes luces en naves de molienda.

De la tabla 4-2, en donde aparece la distribución de columnas separadas por tipo de perfil, no sorprende que los perfiles I tengan una esbeltez promedio mayor que los perfiles H, pues los primeros están directamente relacionados a las naves y naves de molienda, en donde la columna es parte de un marco rígido por el eje notoriamente más fuerte y marco arriostrado por eje notoriamente más débil; mientras que los segundos son muy comunes en estructuras de soporte de silos y edificios industriales, en donde no hay una particular orientación según ejes, ya que en ambas direcciones presentan marcos arriostrados.

#### **4.5.2 Esbelteces locales**

En cuanto a las esbelteces locales en general se tiene que, en promedio, las columnas se diseñan a 0.83 veces su esbeltez límite a compresión (aproximadamente 0.8) lo que era esperable considerando que la razón debería estar cerca de 1, pues significa un diseño económico.

Además de la figura 4-7 se observa como las frecuencias van creciendo a medida que se acercan a la esbeltez límite y caen rotundamente cuando la superan. Esto último es esperable por la disposición de la norma de utilizar solo secciones sin miembros esbeltos. Sin embargo, llama la atención la cantidad de columnas sobre la esbeltez límite, que en su mayoría corresponden a perfiles Doble T muy altos utilizados en marcos rígidos.

En la tabla 4-3 se obtiene que, en 8 de cada 10 columnas, la esbeltez local del alma está más cerca de su límite que la esbeltez local del ala, lo que es esperable pues las almas, en general, presentan espesores menores que las alas.

# Capítulo 5 : ESTADÍSTICA PARA ESBELTECES GLOBALES Y LOCALES DE DIAGONALES EN ELEVACIÓN

Este capítulo comienza con un breve alcance sobre el tipo de estadística realizada, su relevancia y resultados esperados. Luego se definen las bases sobre las cuales se realiza el cálculo de la estadística. Seguido de esto se adjunta la metodología utilizada para extraer los datos, los resultados de la estadística y, finalmente, una discusión sobre los resultados obtenidos.

## 5.1 ALCANCE

Las diagonales en elevación son miembros estructurales tipo biela que están diseñados para soportar los esfuerzos laterales producidos por un sismo, viento u otro tipo de carga que genere esfuerzos en esa dirección. De esta forma nacen los sistemas sismorresistentes llamados marcos arriostrados, en los cuales se restringe el desplazamiento lateral de los marcos mediante riostras o diagonales.

Para este capítulo corre el mismo alcance hecho para el capítulo anterior, esto es, que la estadística sea capaz de reducir el rango de esbelteces para hacer más simple el proceso de diseño.

## 5.2 BASES

1. Se estudiarán estructuras de acero diseñadas bajo NCh2369 Of.2003. Esto es, diseñadas después de la fecha de oficialización de la norma (2003).
2. Se estudiarán estructuras de proyectos importantes tanto de mineras privadas como de CODELCO.
3. Se recogerá información de diagonales en elevación.
4. Se observarán los mismos proyectos que para la estadística anterior.
5. En particular, la información que se recopilará será:
  - Tipo de elemento: diagonal en elevación
  - Tipo de estructura la que pertenece: nave de molienda, estructura de soporte de silos, nave, edificio industrial, etc.
  - Tipo y dimensiones de la sección: Doble T, alto, ancho, espesor, etc.
  - Largo entre puntos de trabajo.
  - Condición de apoyo en extremos.
  - Cantidad de elementos con las mismas características anteriores.
6. Para diagonales se considerará luz de pandeo el 95% de la luz entre puntos de trabajo. Esto debido a que es considerado como práctica usual del diseño de arriostramientos.

## 5.3 RESULTADOS PARA ESBELTEZ GLOBAL

### 5.3.1 Resultados en general

Como se mostró en el capítulo 3, se observaron 1949 diagonales en elevación. Al analizar los datos obtenidos se obtuvo que el promedio de esbeltez global para las diagonales es de  $65 \pm 23$ . La distribución de esbeltez global en general (sin hacer ningún tipo de distinción por perfil ni tipo de estructura) se muestra en el siguiente gráfico. Además, se marca con una línea roja el promedio obtenido. Para todos los gráficos de distribución de esbelteces hay una tabla que se encuentra adjunta en los anexos.

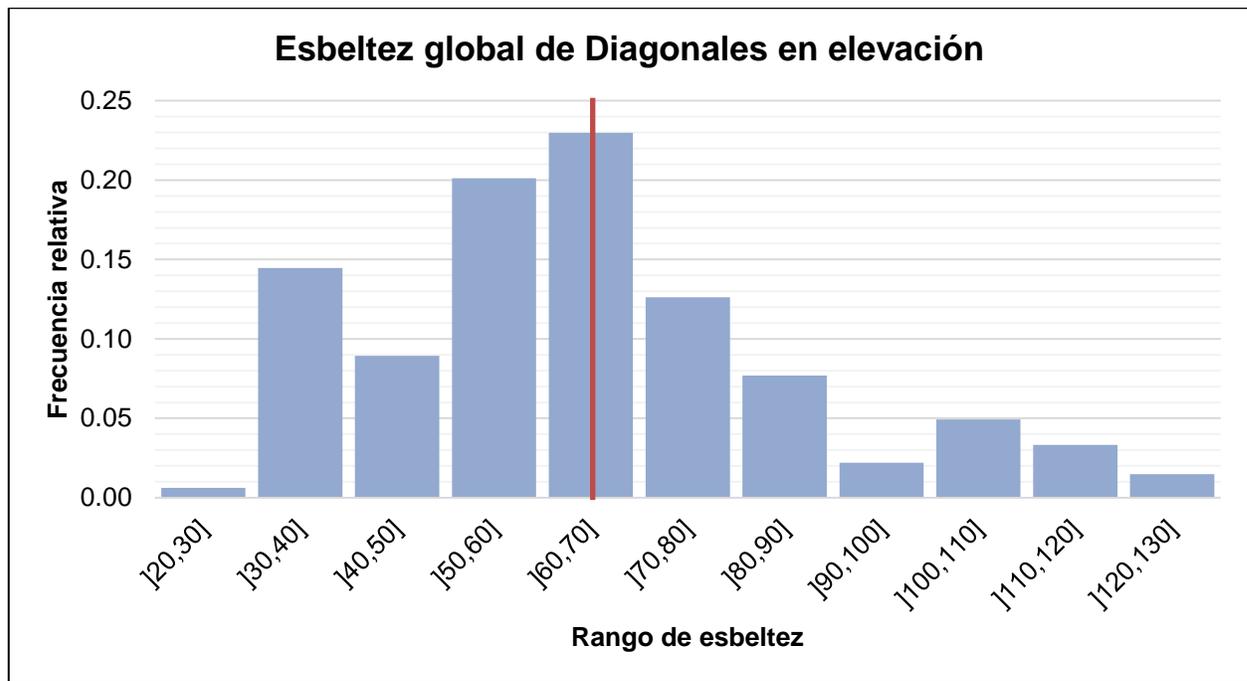


Figura 5-1: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación en general

Del gráfico anterior se puede ver que cerca del 95% de las diagonales en elevación se concentran en esbelteces entre 30 y 120.

### 5.3.2 Resultados separados por tipo de estructura

Se realizó también la misma separación por tipo de estructura para ver si habría alguna diferencia notable entre las diagonales de, por ejemplo, las naves y las estructuras de soporte de silos. En definitiva, del total de diagonales en elevación, se obtuvo la siguiente distribución de frecuencias al separar por tipo de estructura.

Tabla 5-1: Distribución de frecuencias por tipo de estructura de diagonales en elevación.

Tipo de estructura	Cantidad	Porcentaje	$\lambda$ Promedio
Soporte de silos	1024	53%	66±20
Nave	546	28%	53±21
Nave de molienda	224	11%	86±23
Edificio	155	8%	74±24
<b>Total</b>	<b>2259</b>	<b>100%</b>	<b>65±23</b>

De la tabla anterior se desprende la cantidad de diagonales en elevación en cada tipo de estructura y su respectivo porcentaje con respecto al total, además de los promedios de esbeltez para cada tipo. Se mostrará en un gráfico cada distribución individual para cada tipo de estructura y al final un cuadro comparativo para todos los tipos.

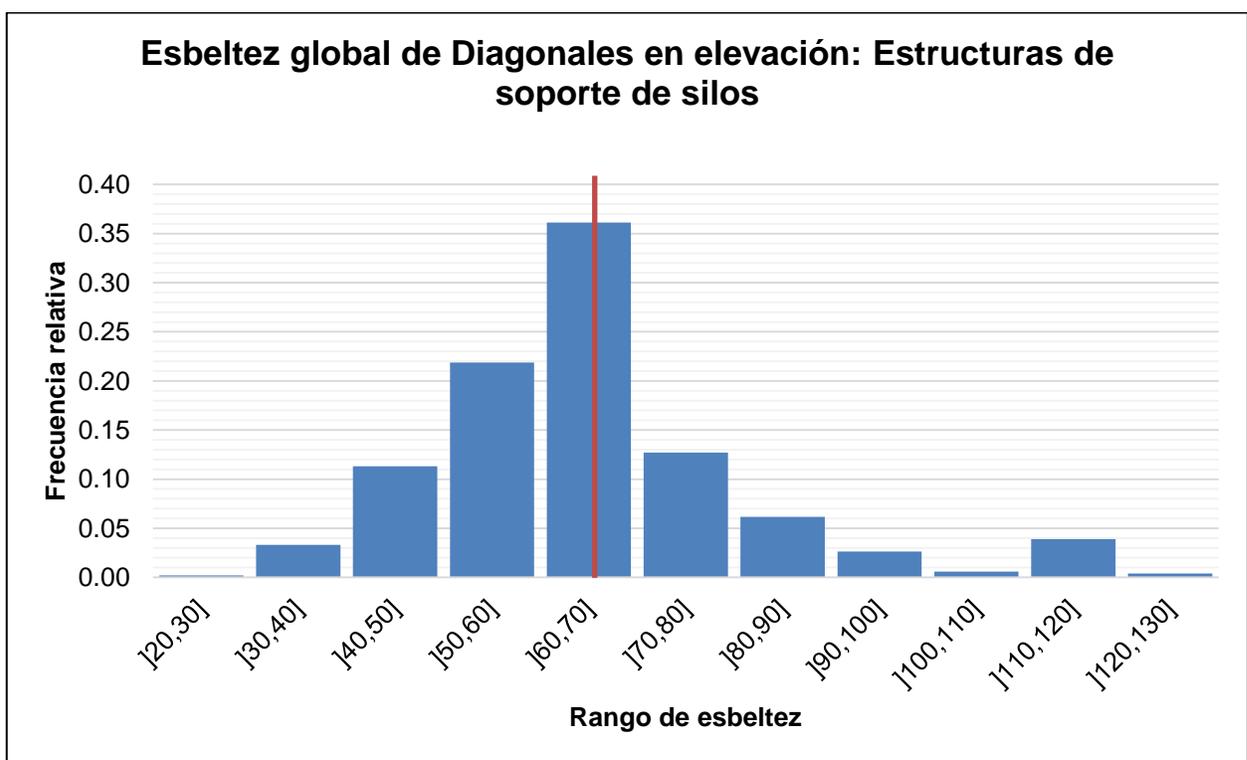


Figura 5-2: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación de estructuras de soporte de silos

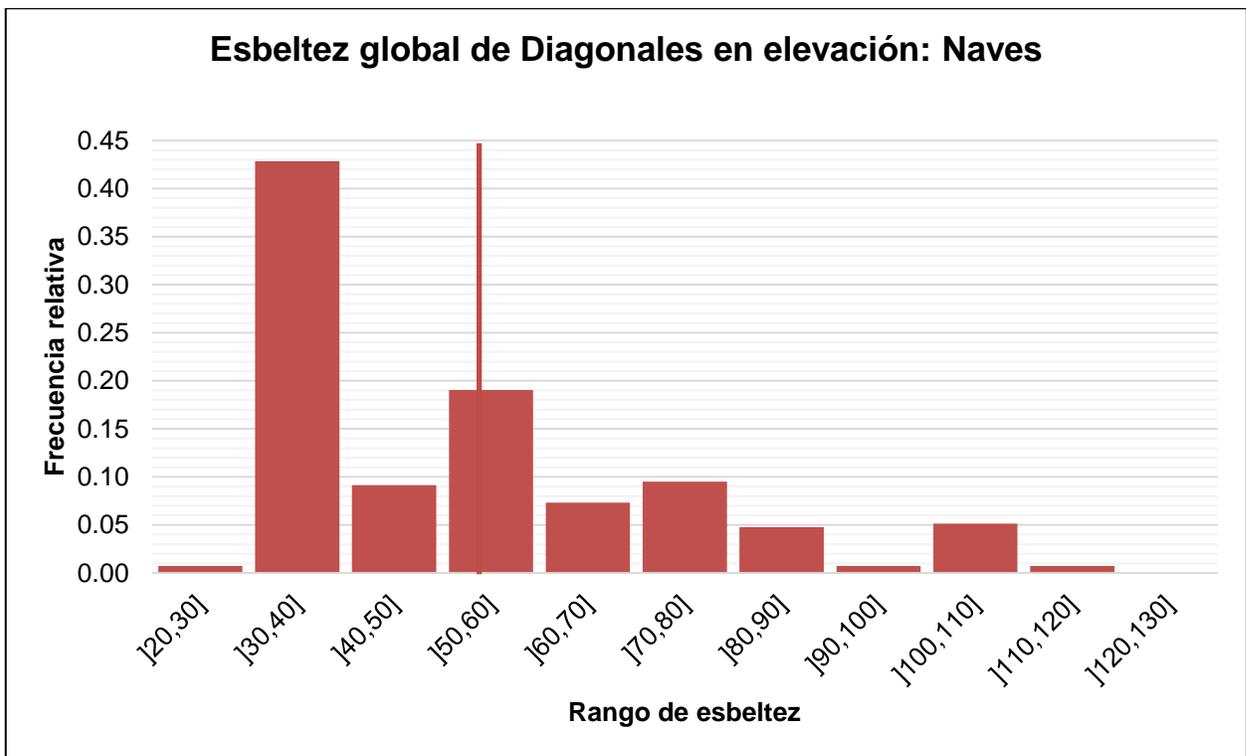


Figura 5-3: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación de Naves

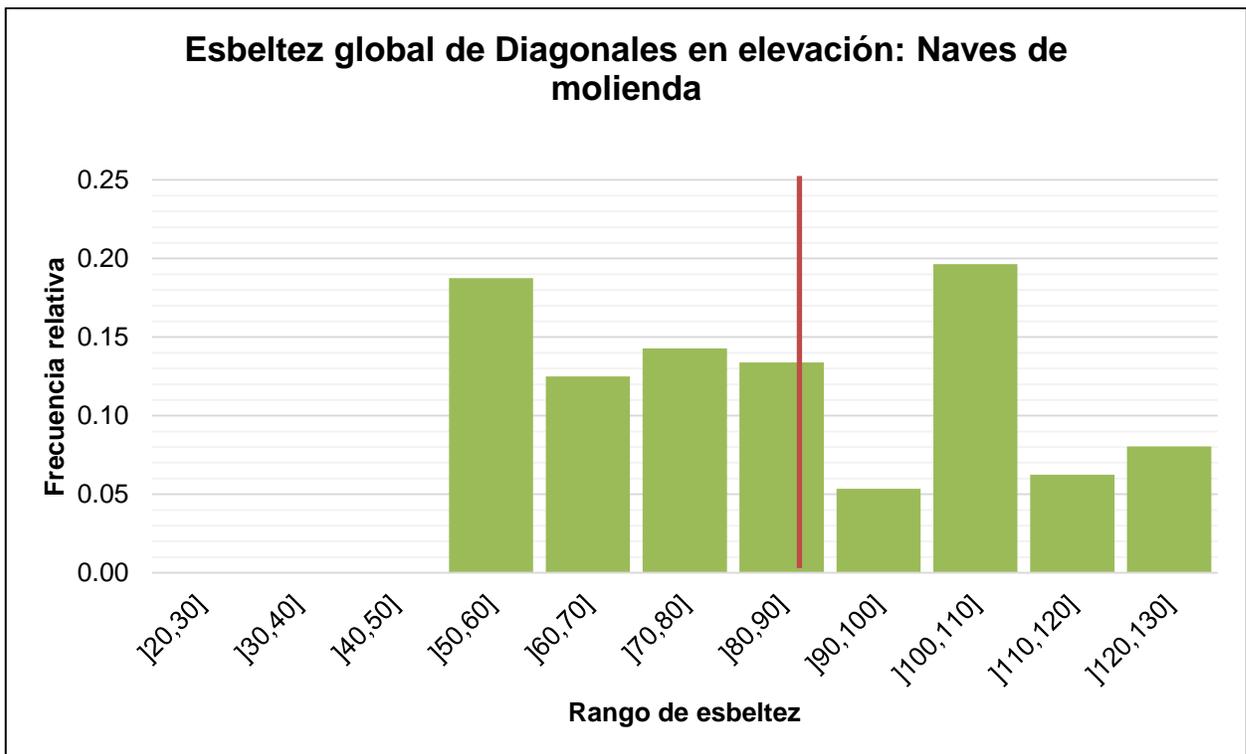


Figura 5-4: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación de Naves de Molienda

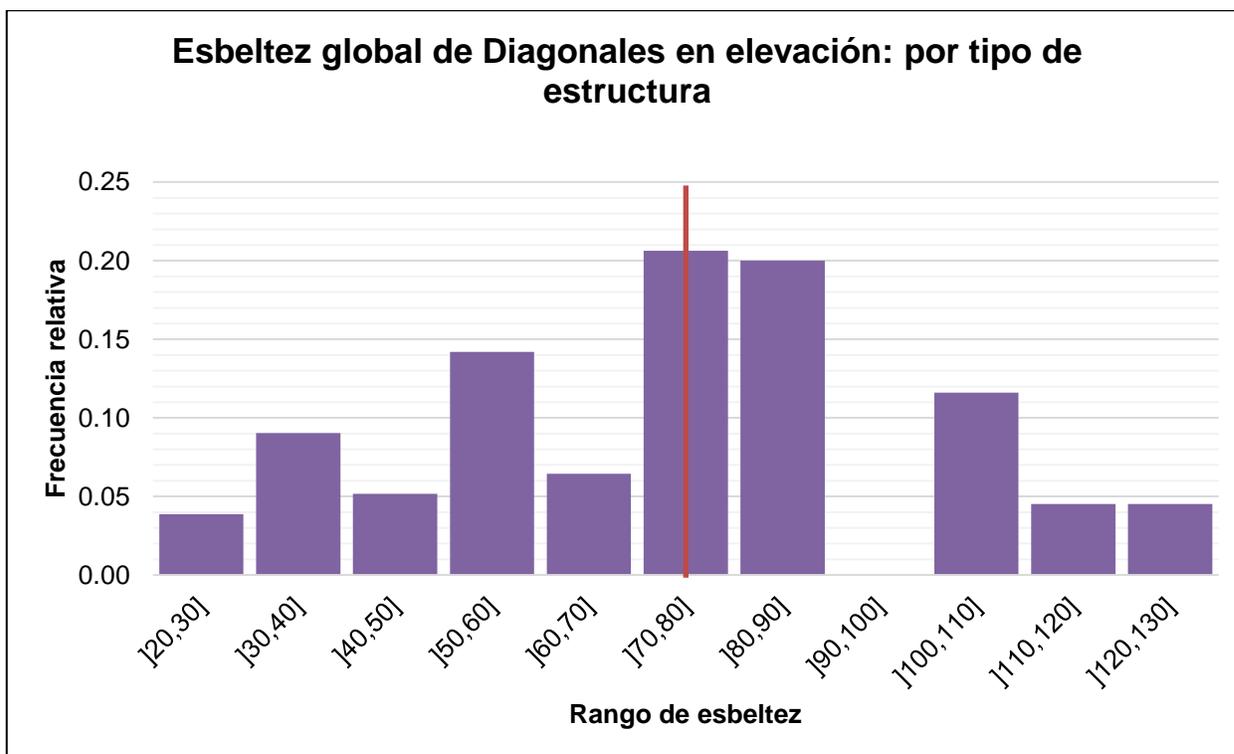


Figura 5-5: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación de Edificios Industriales

### 5.3.3 Resultados separados por tipo de perfil

Por otro lado, al realizar la estadística se observa la variedad de tipos de secciones utilizadas para el caso de las diagonales en elevación. Así, se propone hacer una distinción entre los tipos de secciones para visualizar si hay algún cambio significativo o no. En la siguiente tabla se muestra la visión general para cada tipo de perfil.

Tabla 5-2: Distribución de frecuencias de esbeltez global separadas por tipo de perfil de diagonales en elevación

Tipo de perfil	Cantidad	Porcentaje	$\lambda$ Promedio
Cajón	640	33%	61±17
XL	575	30%	60±25
Tubular	146	7%	62±11
Doble T	398	20%	72±25
Compuestos	190	10%	82±26
<b>Total</b>	<b>1949</b>	<b>100%</b>	<b>65±23</b>

Los gráficos de distribución de frecuencia para cada tipo de sección se encuentran en las figuras siguientes.

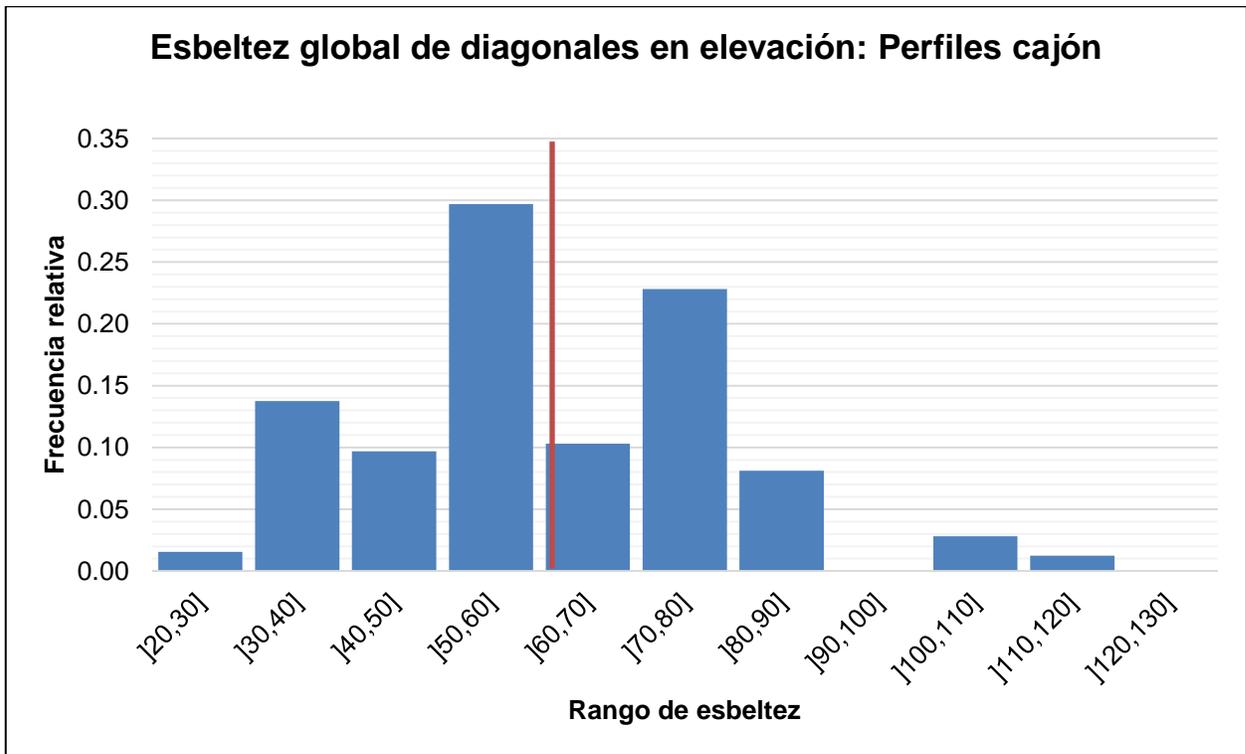


Figura 5-6: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación con perfil cajón.

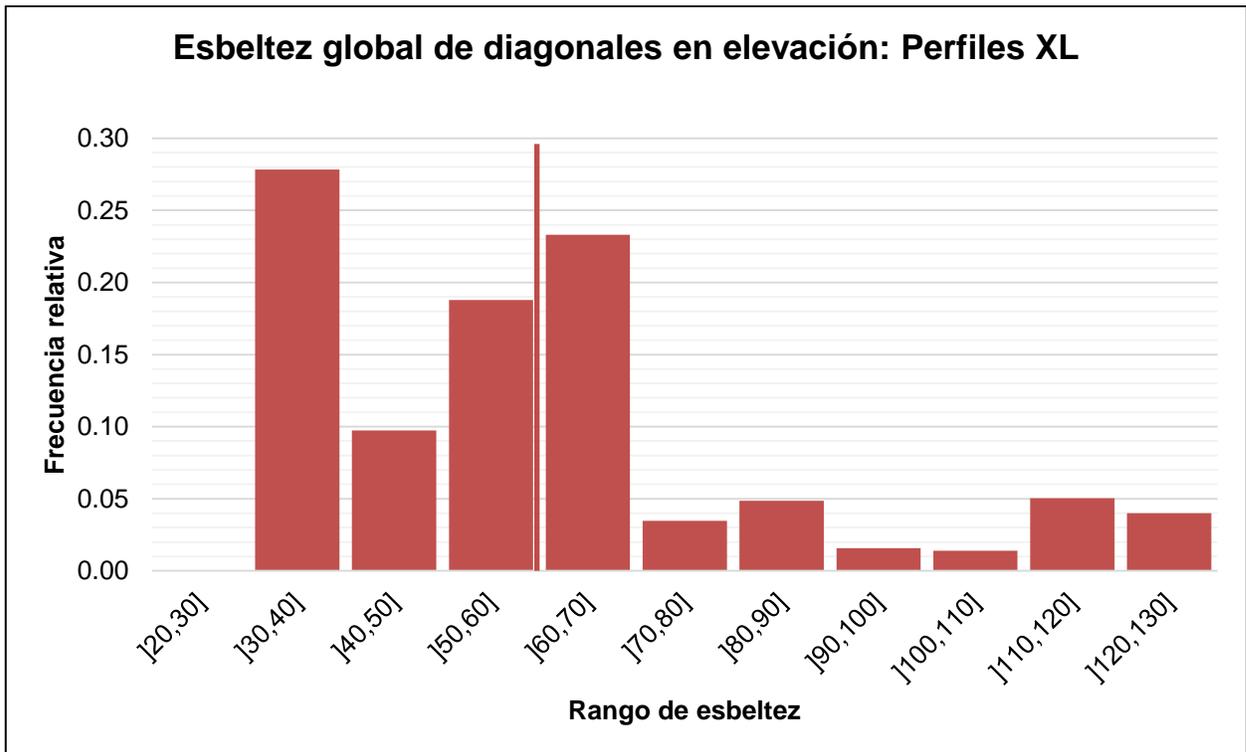


Figura 5-7: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación con perfil XL

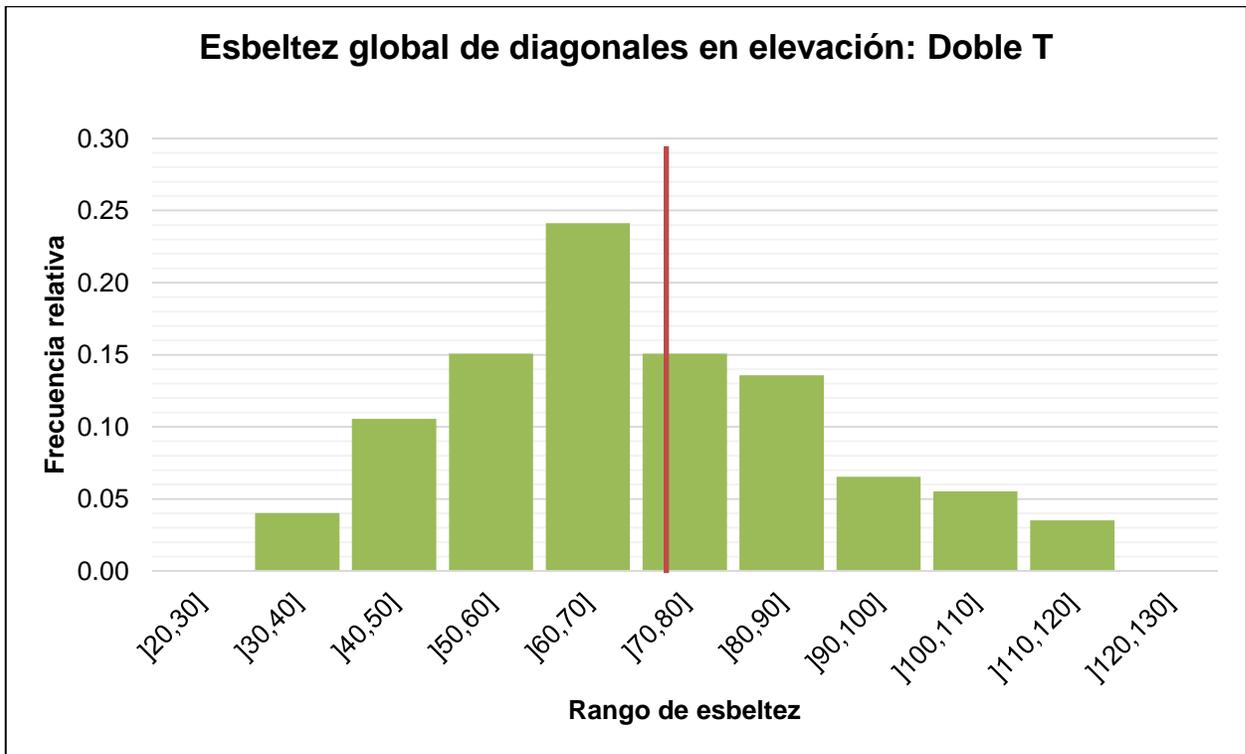


Figura 5-8: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación con perfil Doble T.

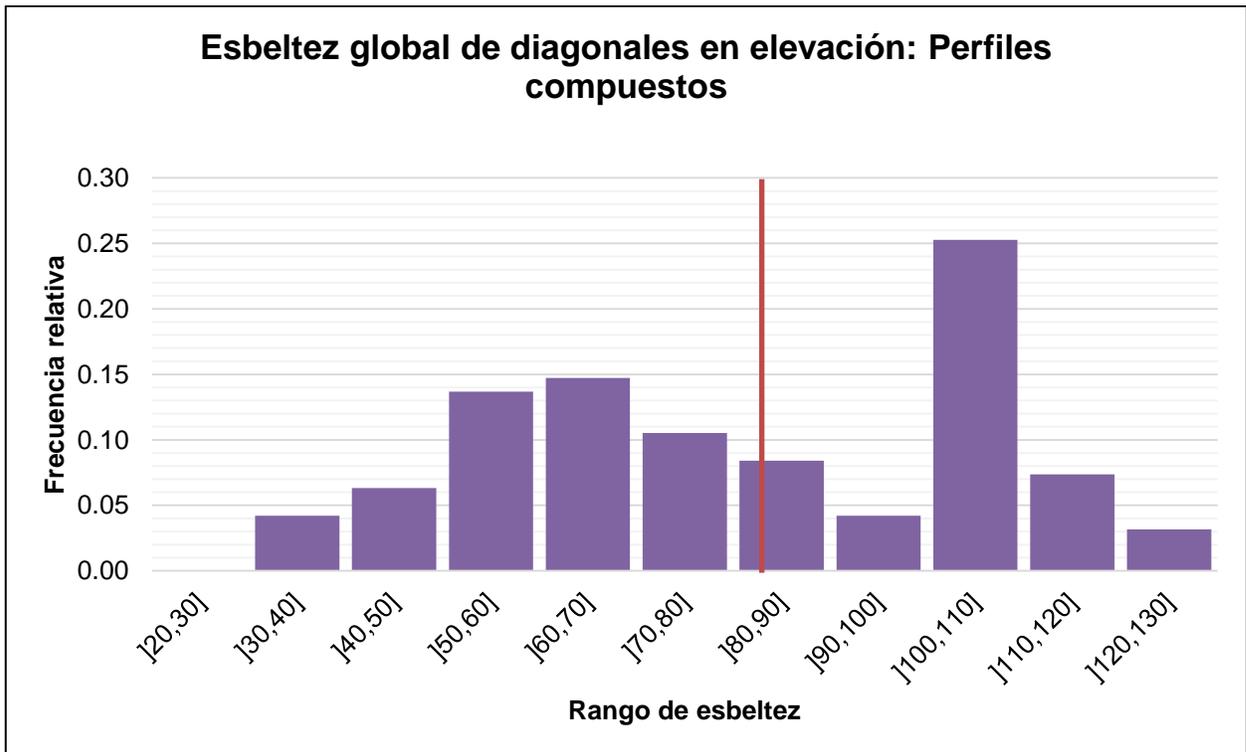


Figura 5-9: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación con perfiles compuestos.

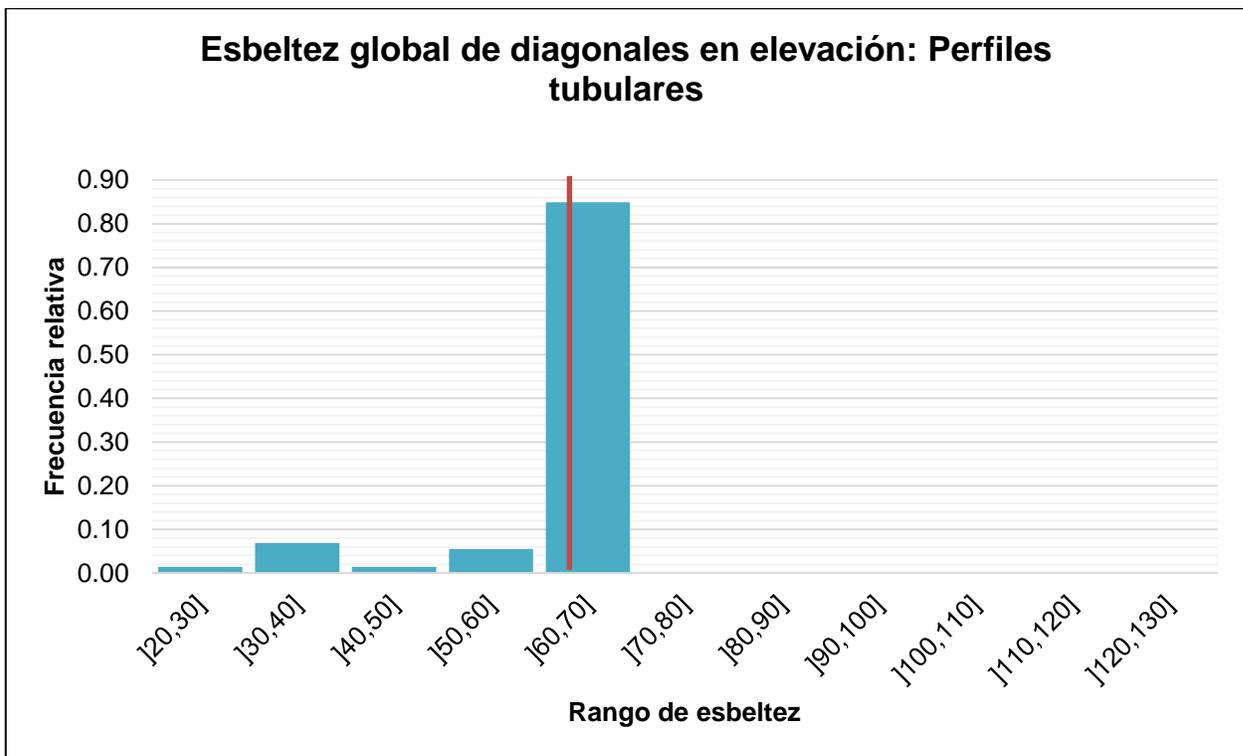


Figura 5-10: Distribución de esbeltez global de diagonales en elevación con perfiles tubulares.

## 5.4 RESULTADOS PARA ESBELTEZ LOCAL

Para la esbeltez local, al igual que en las columnas, se optó por medirla en términos del porcentaje entre la relación ancho espesor del elemento (ala, alma, etc) y su respectivo límite,  $\lambda_f$ . En total, se contabilizaron esbelteces locales de 1919 diagonales, considerando alas y almas, obteniéndose un promedio de 74% de la esbeltez límite. Además, se contabilizó las veces que controló el alma, el ala o eran iguales. El resumen de los resultados para las esbelteces locales de las columnas se muestra a continuación.

Tabla 5-3: Resumen de esbelteces para alas y almas de diagonales en elevación

Columnas	Cantidad	% respecto al total
Controla alma	386	21%
Controla ala	140	7%
Igual esbeltez	1345	72%
<b>Total</b>	<b>1871</b>	<b>100%</b>

En donde en la primera columna se muestra la cantidad correspondiente a cada fila y en la segunda se muestra el porcentaje con respecto al total. La distribución del porcentaje con respecto a la esbeltez límite para columnas se muestra a continuación:

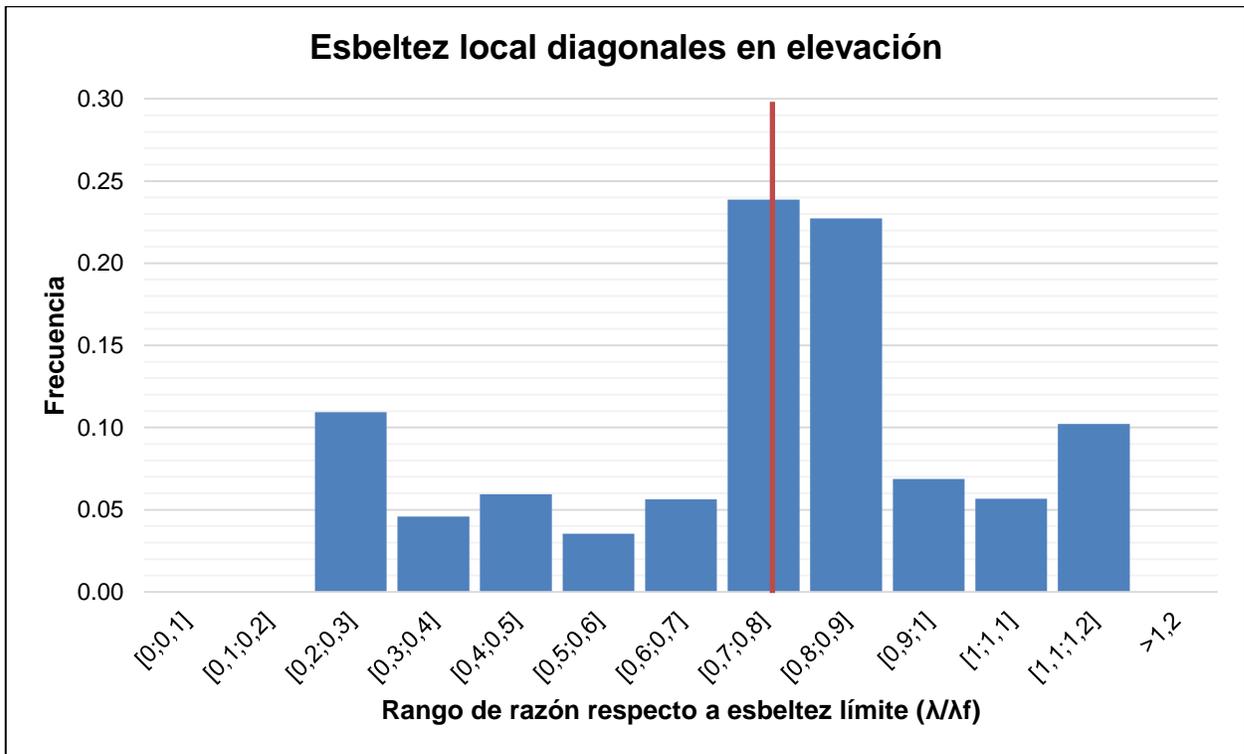


Figura 5-11: Distribución de la razón de la relación ancho-espesor con respecto a la esbeltez límite de diagonales en elevación.

Para este gráfico se consideró la mayor relación ancho espesor entre ala y alma de cada sección. Es preciso mencionar que en el caso de los perfiles en donde a priori no se distingue un alma o un ala (como en los tubulares, por ejemplo) se consideró como relación ancho espesor del ala y alma iguales a la relación ancho espesor del elemento calculada según la norma.

En el último gráfico se puede observar que se obtienen valores crecientes de frecuencia que tienden a la esbeltez límite. Sin embargo, sorprende la cantidad de elementos sobre  $\lambda_r$ .

## 5.5 DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos se pueden hacer ciertas observaciones.

### 5.5.1 Esbelteces globales

Una de las más relevantes es que, en la realidad del diseño, rara vez se encuentran esbelteces mayores a 120 en diagonales en elevación, ya que, de todas las columnas analizadas, el 94% se encuentra por debajo de dicho límite. Otro dato interesante es que la esbeltez global promedio sea 70, notoriamente mayor que para el caso de las columnas. Otra observación importante es que generalmente se utilizan perfiles cajón o XL, que juntos abordan la mayoría de los casos.

En la figura 4-1 se ve la distribución obtenida, en donde se observa que el intervalo entre 30 y 120 se concentra más del 94% de todas las diagonales observadas. En diagonales no ocurre lo mismo que en las columnas en donde se obtienen esbelteces demasiado pequeñas, quizás porque sus luces nunca son demasiado pequeñas al no ser interceptadas por vigas en distintos tramos.

De los gráficos separados por estructura se observan diferencias considerables entre un tipo de estructura y otro. Para las estructuras de soporte de silos se observa un comportamiento normal que tiende a agruparse cerca del promedio, asimilándose al comportamiento general de las diagonales en elevación. Se tiene lo mismo para los edificios, con la salvedad de que el promedio de esbeltez es levemente mayor.

Cosa distinta sucede para las naves y naves de molienda, en donde, para las primeras se obtiene una distribución que escapa de la tendencia en donde hay un predominio de diagonales con esbelteces entre 30 y 40. Esto se puede deber a un valor que se escapa que corresponde a arriostramientos de una nave de camiones con esbeltez igual a 34 que se repiten 160 veces en la misma estructura. Esto sucede debido a que hay un arriostramiento que controla por sobre el resto y se diseñan todos iguales a ese mismo tramo. Por otro lado, para las naves de molienda se tiene lo contrario, ya que prácticamente no hay un intervalo hacia donde tiendan las frecuencias.

Para el caso de las secciones cajón, XL y Doble T se tiene un comportamiento esperable con frecuencias que se agrupan en torno al promedio. La única salvedad es en la figura de los perfiles XL en donde se observa un dato fuera de serie entre las frecuencias 30 y 40, muy similar al caso de las naves de molienda, de donde es el dato con frecuencia de 160 para esbeltez de 34. Es posible visualizar que si se eliminan dichos datos se llega a una frecuencia de 74, con lo que se obtiene la misma tendencia que para el resto de las estructuras.

Por otra parte, para los casos de los perfiles compuestos se tiene una distribución en donde es difícil identificar una tendencia debido a la gran variedad de geometrías involucradas dentro de la clasificación. Para los perfiles tubulares no se pueden establecer conclusiones debido a que son muy pocos datos para obtener una tendencia.

### **5.5.2 Esbelteces locales**

En cuanto a las esbelteces locales en general se tiene que, en promedio, las diagonales en elevación se diseñan al 74% de su esbeltez límite (aproximadamente 75%) lo que era esperable considerando que debería estar cerca de 100%. Además de la figura 5-14 se observa cómo las frecuencias van creciendo a medida que se acercan a la esbeltez límite y caen rotundamente cuando la superan. Esto último es esperable por la

disposición de la norma de utilizar solo secciones sin miembros esbeltos. Sin embargo, llama la atención la cantidad de diagonales sobre la esbeltez límite, claramente influenciado por el dato fuera de serie que posee relación ancho -espesor de 1,16 de la esbeltez límite, que con una frecuencia de 160 aumenta mucho la frecuencia de ese intervalo. En su mayoría, las diagonales que superan el límite son de sección XL.

En la tabla 5-3 se obtiene que, en general, las esbelteces locales para el alma y el ala son iguales, debido a la gran cantidad de perfiles simétricos utilizados en este tipo de miembros, obteniéndose la misma relación ancho espesor tanto para el ala como el alma.

# Capítulo 6 : ESTADÍSTICA PARA ESBELTECES GLOBALES Y LOCALES DE DIAGONALES EN PLANTA

Este capítulo comienza con un breve alcance sobre el tipo de estadística realizada, su relevancia y resultados esperados. Luego se definen las bases sobre las cuales se realiza el cálculo de la estadística. Seguido de esto se adjuntan los resultados de la estadística y, finalmente, una discusión sobre los resultados obtenidos.

## 6.1 ALCANCE

Las diagonales en planta son miembros estructurales tipo biela que están diseñados para soportar los esfuerzos laterales producidos por un sismo, viento u otro tipo de carga que genere esfuerzos que promuevan la deformación relativa entre marcos.

El objetivo de este tipo de miembros es lograr que los distintos marcos colaboren entre sí para soportar en conjunto las cargas a las cuales están sometidos, proveyendo redundancia estructural en caso de ser necesaria. Para esto, se disponen riostras o diagonales entre marcos, por eso se les llama diagonales en planta.

Para este capítulo corre el mismo alcance hecho para el capítulo anterior, esto es, que la estadística sea capaz de reducir el rango de esbelteces para hacer más simple el proceso de diseño.

## 6.2 BASES

1. Se estudiarán estructuras de acero diseñadas bajo NCh2369 Of.2003. Esto es, diseñadas después de la fecha de oficialización de la norma (2003).
2. Se estudiarán estructuras de proyectos importantes tanto de mineras privadas como de CODELCO.
3. Se recogerá información de diagonales en planta.
4. Se observarán los mismos proyectos que para las demás estadísticas.
5. En particular, la información que se recopilará será:
  - Tipo de elemento: diagonal en planta.
  - Tipo de estructura la que pertenece: nave de molienda, estructura de soporte de silos, nave, edificio industrial, etc.
  - Tipo y dimensiones de la sección: Cajón, alto, ancho, espesor, laminado, etc.
  - Largo entre puntos de trabajo.
  - Condición de apoyo en extremos.
  - Cantidad de elementos con las mismas características anteriores.

6. Para diagonales se considerará luz de pandeo el 95% de la luz entre puntos de trabajo.

## 6.3 RESULTADOS PARA ESBELTEZ GLOBAL

### 6.3.1 Resultados en general

Como se mostró en el capítulo 3, se observaron 3499 diagonales en planta. Al analizar los datos obtenidos se obtuvo que el promedio de esbeltez global para estas diagonales es de  $75 \pm 17$ . La distribución de esbeltez global en general (sin hacer ningún tipo de distinción por perfil ni tipo de estructura) se muestra en el siguiente gráfico. Para todos los gráficos de distribución de esbelteces hay una tabla que se encuentra adjunta en los anexos.

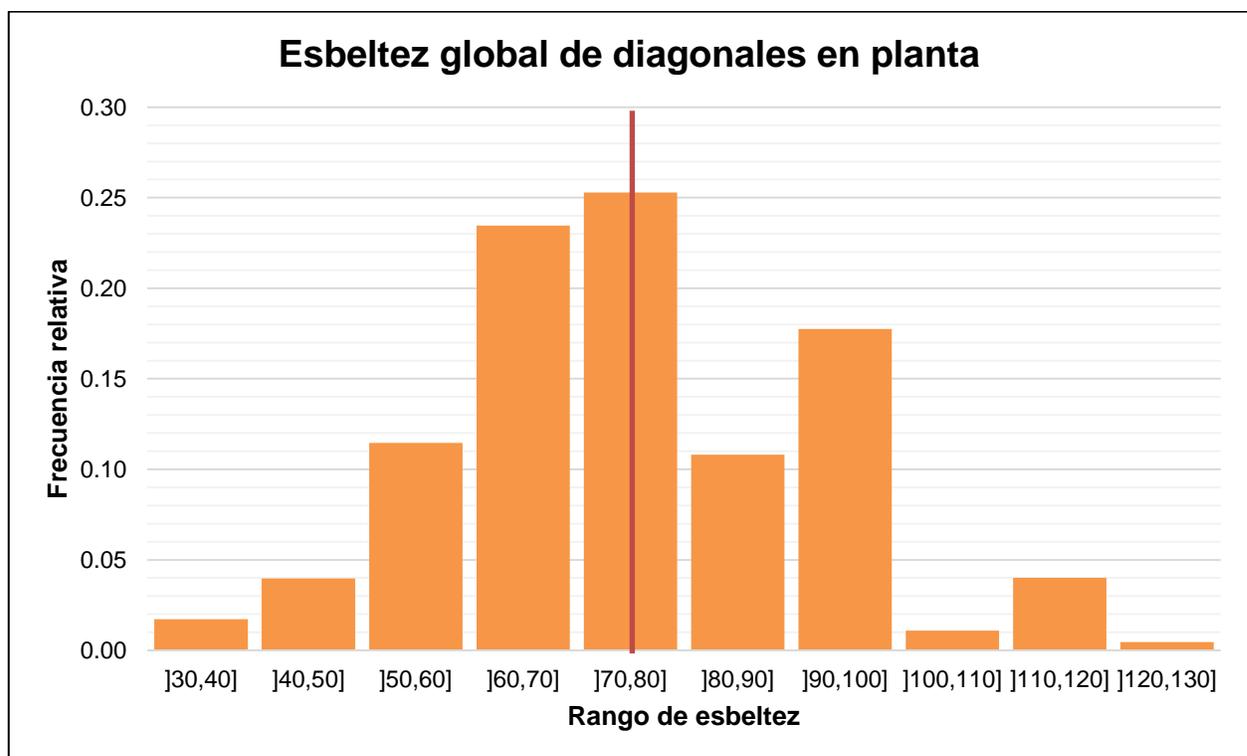


Figura 6-1: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta en general

Del gráfico anterior se puede ver que cerca del 85% de las diagonales en planta se concentran en esbelteces entre 50 y 100. Otra cosa interesante del gráfico es que no se encuentran esbelteces mayores a 130 o menores que 30. Lo primero, debido a la restricción de la normativa a utilizar esbelteces menores a 135 para acero A36.

### 6.3.2 Resultados separados por tipo de estructura

Se realizó también la misma separación por tipo de estructura para ver si habría alguna diferencia notable entre las diagonales en planta. En definitiva, del total de diagonales

en planta, se obtuvo la siguiente distribución de frecuencias al separar por tipo de estructura.

Tabla 6-1: Distribución de frecuencias por tipo de estructura de diagonales en planta.

Tipo de estructura	Cantidad	Porcentaje	$\lambda$ Promedio
Soporte de silos	1901	54%	78±14
Nave	767	22%	66±18
Nave de molienda	533	15%	73±15
Edificio	298	9%	88±18
<b>Total</b>	<b>3499</b>	<b>100%</b>	<b>76±17</b>

De la tabla anterior se desprende la cantidad de diagonales en planta observadas en cada tipo de estructura y su respectivo porcentaje con respecto al total, además de los promedios de esbeltez para cada tipo. Se mostrará en un gráfico cada distribución individual para cada tipo de estructura en las siguientes figuras.

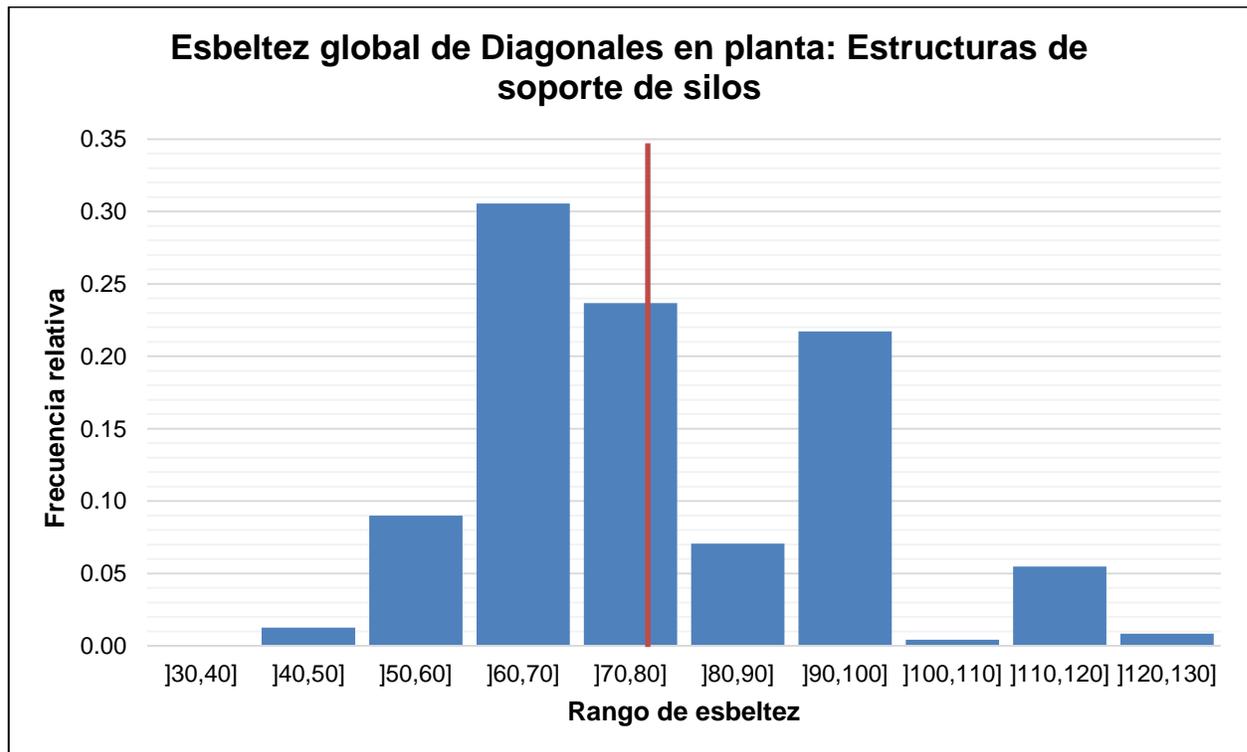


Figura 6-2: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta de estructuras de soporte de silos

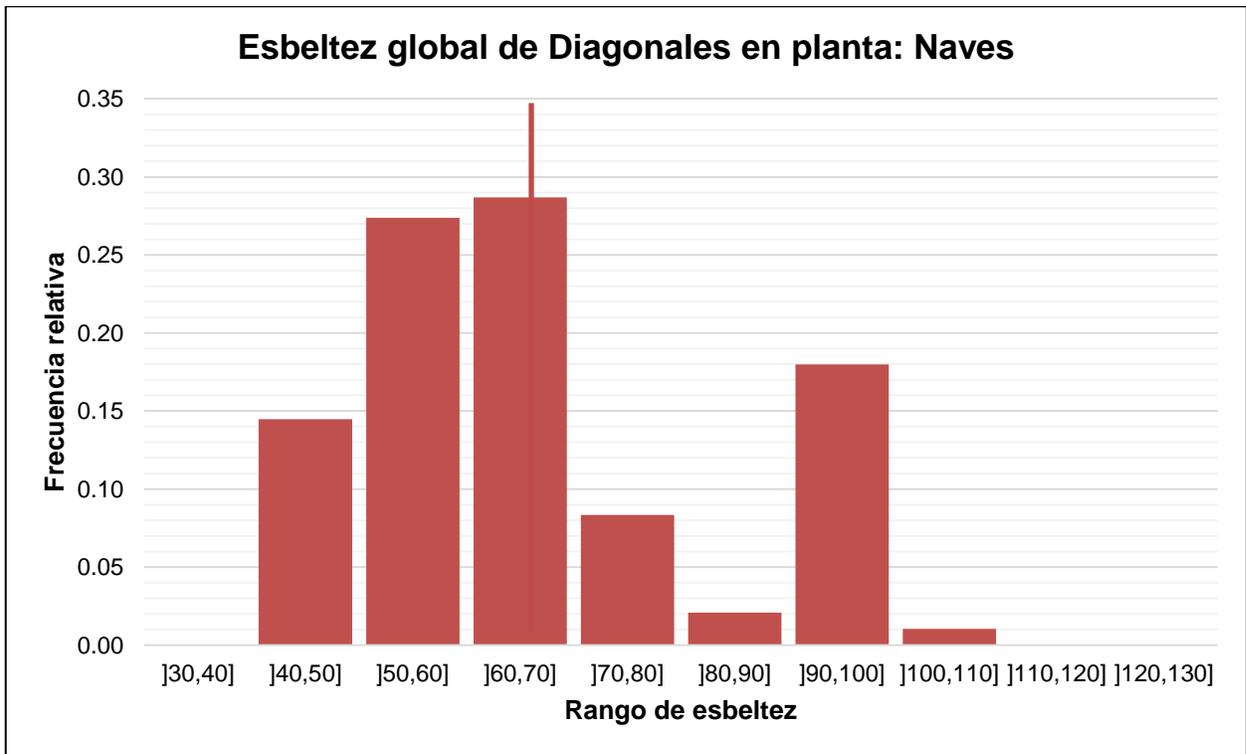


Figura 6-3: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta de Naves.

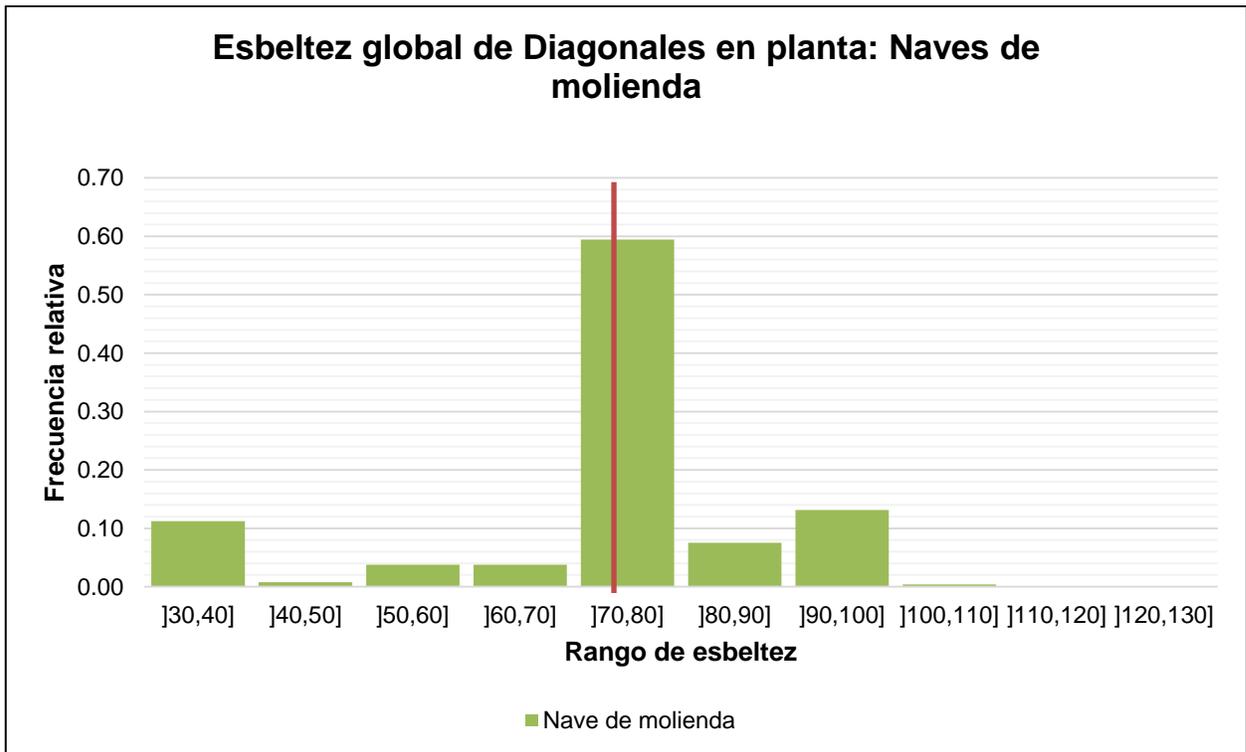


Figura 6-4: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta de Naves de Molienda

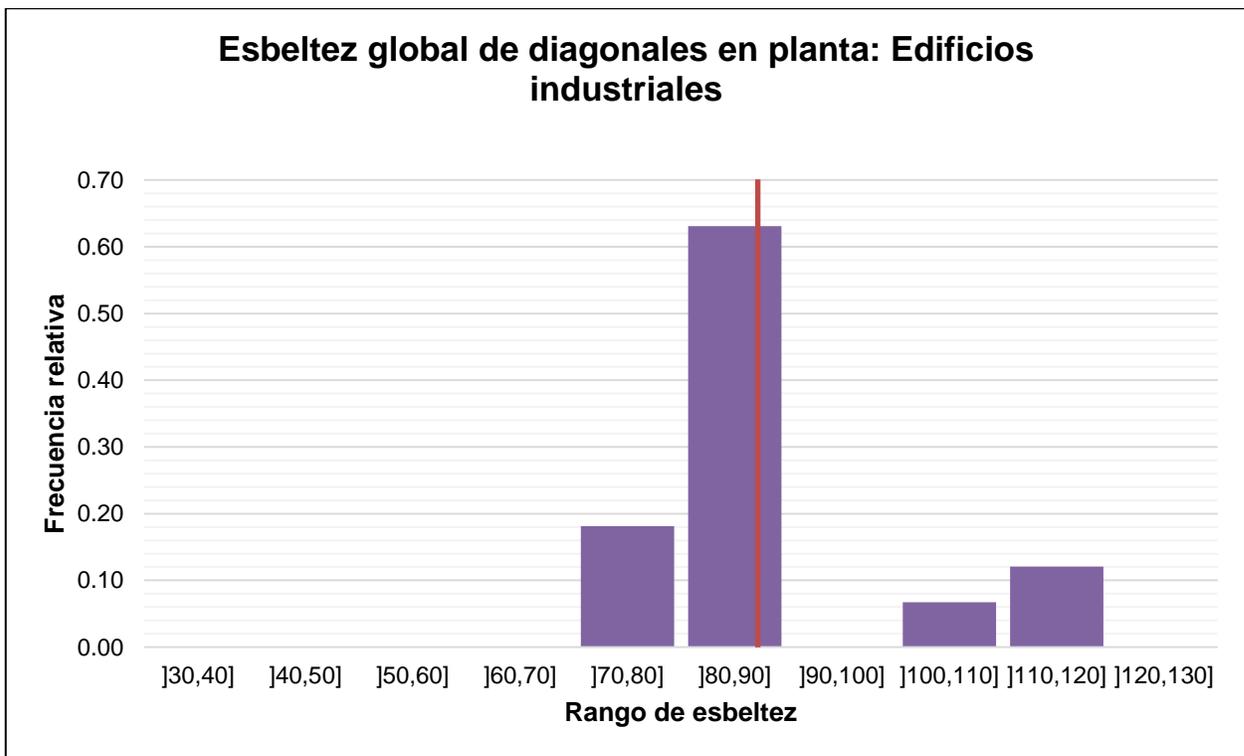


Figura 6-5: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta de Edificios

### 6.3.3 Resultados separados por tipo de perfil

Por otra parte, se propone hacer una distinción entre los tipos de secciones para visualizar si hay algún cambio significativo o no. En la siguiente tabla se muestra la visión general para cada tipo de perfil.

Tabla 6-2: Distribución de frecuencias de esbeltez global separadas por tipo de perfil de diagonales en planta

Tipo de perfil	Cantidad	$\lambda$ Promedio	Porcentaje
L-Laminado	759	73±18	22%
XL-Laminado	115	79±45	3%
Cajón	851	70±19	24%
L-Plegado	1518	75±12	43%
XL-Plegado	256	97±15	7%
<b>Total</b>	<b>3499</b>	<b>75±17</b>	<b>100%</b>

Los gráficos de distribución de frecuencia para cada tipo de sección se encuentran en las figuras siguientes.

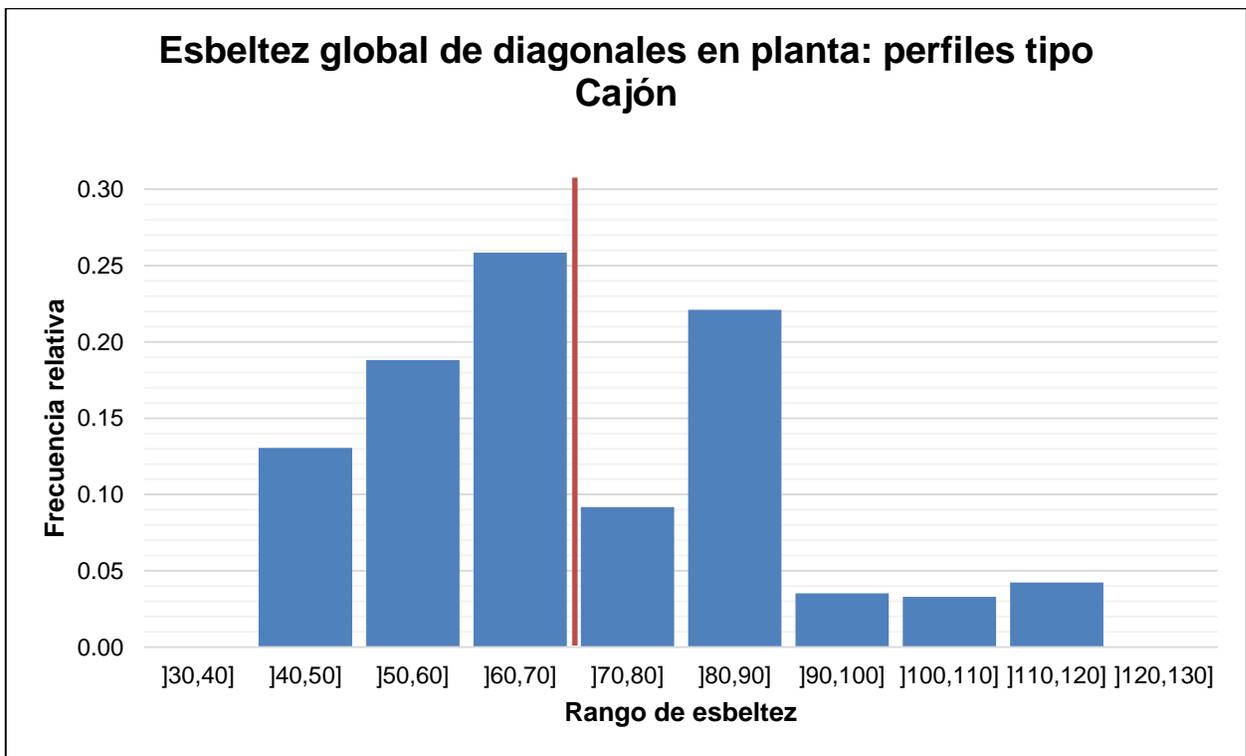


Figura 6-6: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta con perfiles tipo cajón.

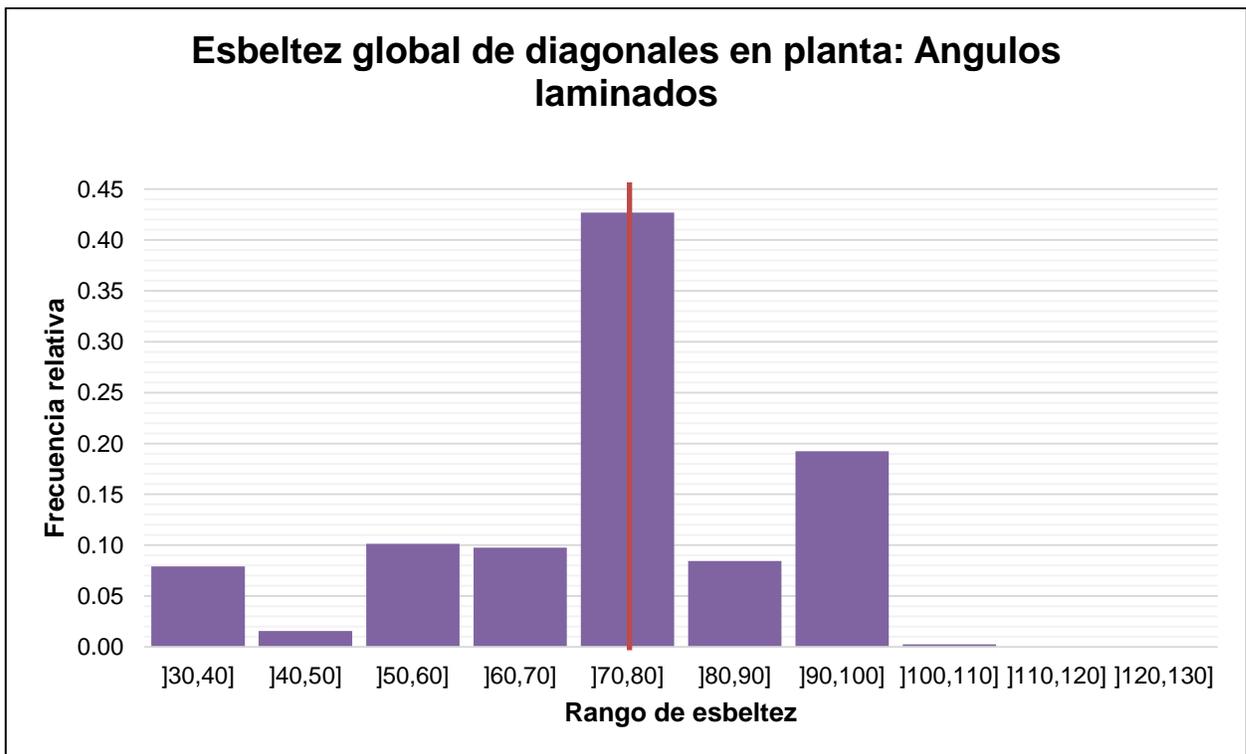


Figura 6-7: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta con perfiles tipo ángulo laminado.

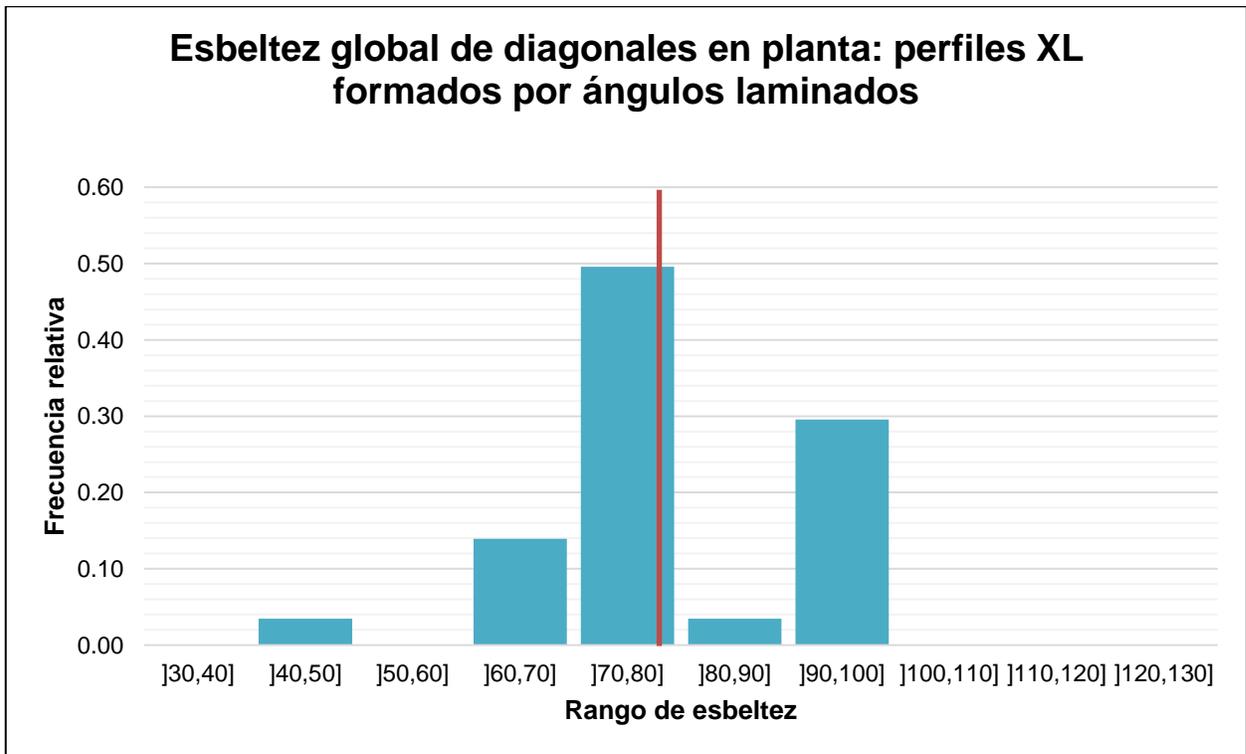


Figura 6-8: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta con perfiles XL formados por ángulos laminados.

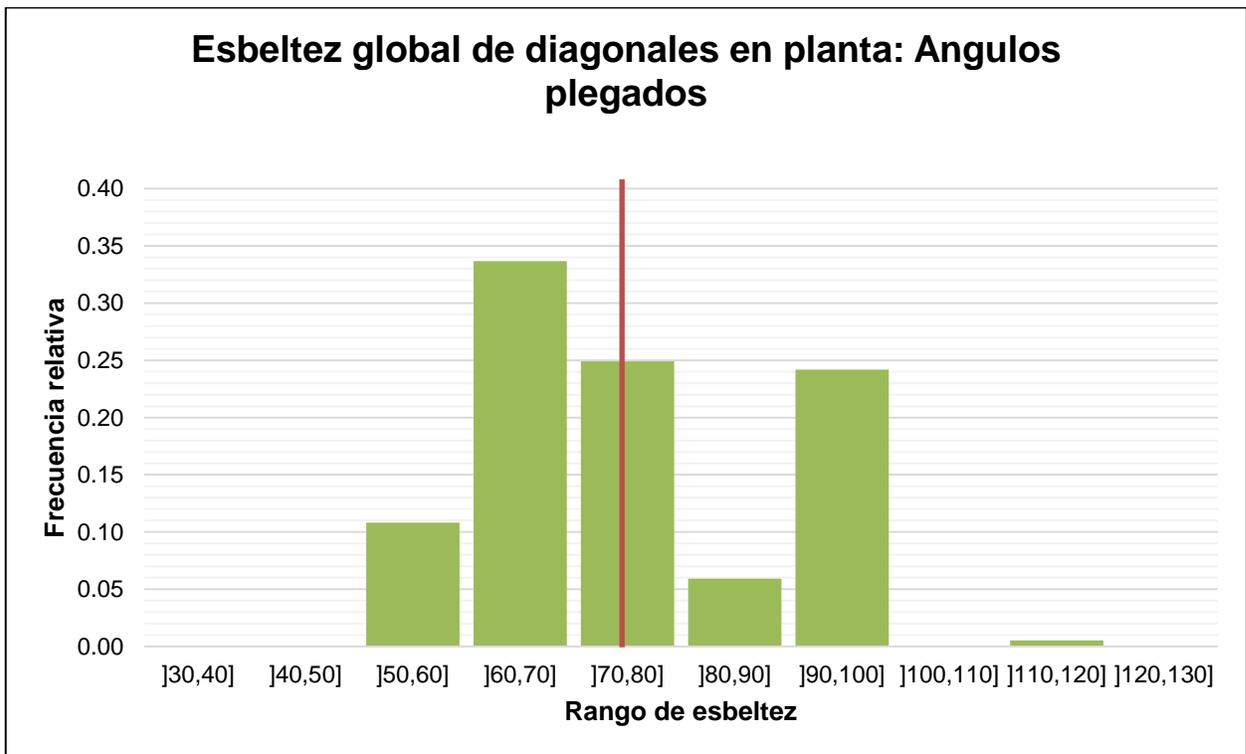


Figura 6-9: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta con perfiles ángulo plegados

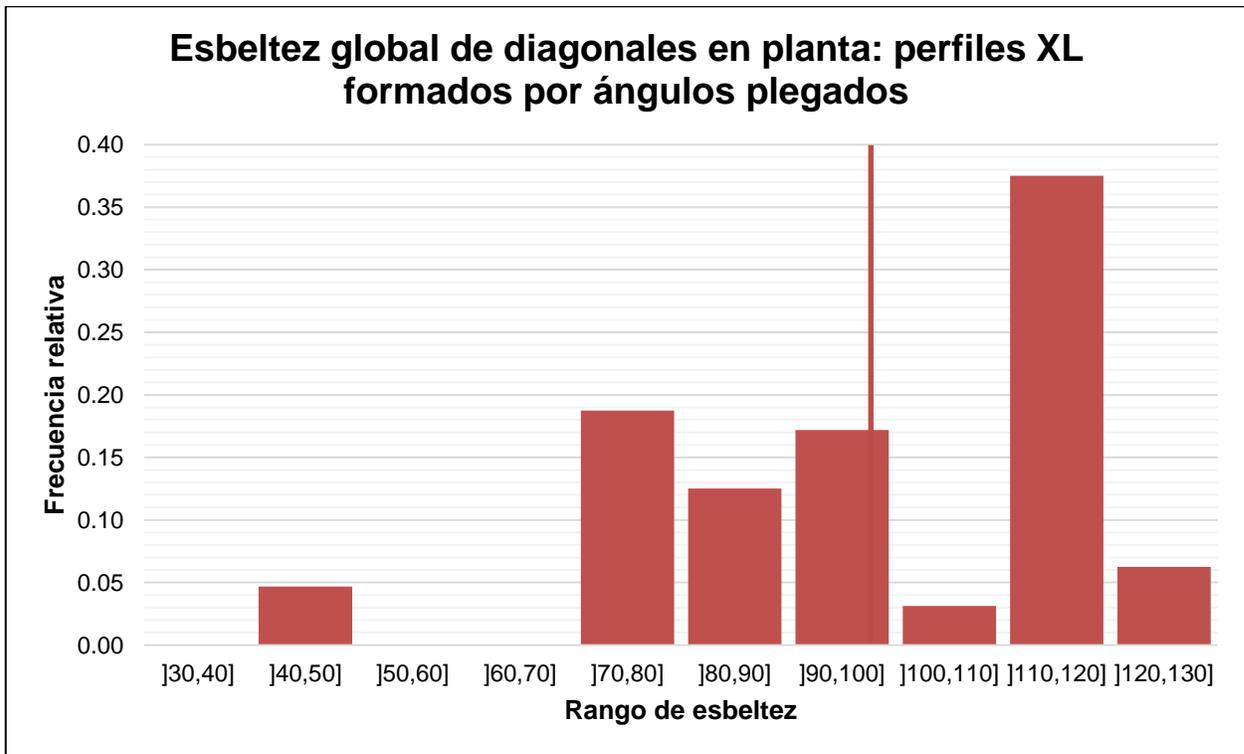


Figura 6-10: Distribución de esbeltez global de diagonales en planta con perfiles XL formados por ángulos plegados.

## 6.4 RESULTADOS PARA ESBELTEZ LOCAL

Para la esbeltez local, al igual que en las estadísticas anteriores, se optó por medirla en términos de la razón entre la relación ancho espesor del elemento (ala, alma, etc) y su respectivo límite,  $\lambda_f$ . En total, se contabilizaron esbelteces locales de 3499 diagonales, considerando alas y almas, obteniéndose un promedio de 81% de la esbeltez límite. Además, al observar los datos se notó que en todos los casos observados eran perfiles simétricos, es decir que la esbeltez del alma era igual a la del ala.

La distribución del porcentaje con respecto a la esbeltez límite para columnas se muestra a continuación:

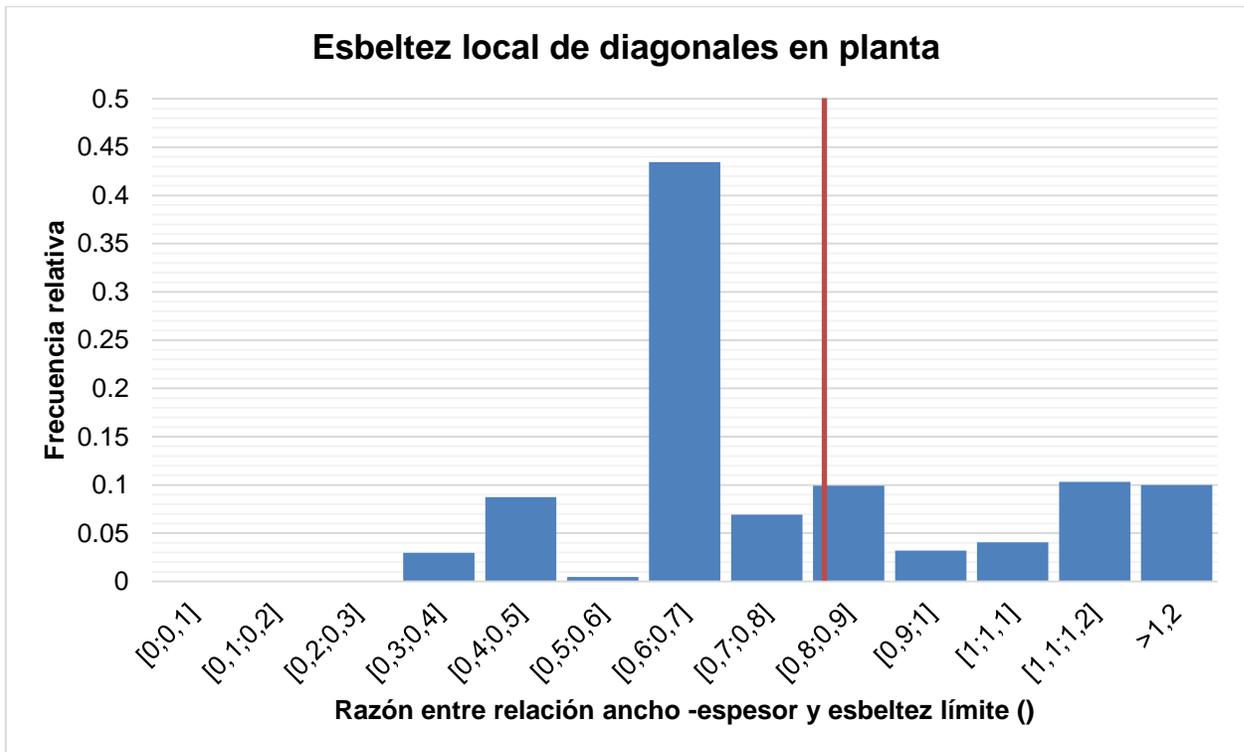


Figura 6-11: Distribución de la razón entre la relación ancho-espesor con respecto a la esbeltez límite de diagonales en planta.

En el último gráfico se puede observar que se obtienen valores notoriamente agrupados entre las esbelteces 60 y 70. Además, se hace notar la cantidad de elementos sobre  $\lambda_r$ .

## 6.5 DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos se pueden hacer ciertas observaciones.

### 6.5.1 Esbelteces globales

La primera de ellas es que, en la práctica, no se ven esbelteces mayores a 100, ya que el 91% de todas las diagonales observadas se encuentra por debajo de dicho límite. Una información muy importante es que al pensar en diagonales en planta se piense inmediatamente en perfiles ángulo, ya que entre los laminados y plegados llegan a formar cerca del 65% de todos los casos estudiados.

Otro dato interesante es que la esbeltez global promedio sea 75, la mayor entre los tres tipos de miembros en compresión vistos. Esto se puede deber a que son los miembros que reciben menor carga de las tres, debido a que no llevan las cargas de peso verticalmente al suelo.

En la figura 4-1 se ve la distribución obtenida, en donde se observa que en el intervalo entre 50 y 100 se concentra más del 85% de todas las diagonales en planta observadas. Para las esbelteces de las diagonales en planta se ve un gráfico más agrupado que para el caso de las diagonales en elevación, esto quizás porque en general son grandes grupos de diagonales con las mismas luces que se repiten a lo largo de toda la planta, con el fin de simplificar el diseño.

De los gráficos separados por estructura se observan varias similitudes entre un tipo de estructura y otra. En primer lugar, se observa en la tabla 5-1 que para todos los tipos se obtiene un promedio de esbeltez similar. Además, para los cuatro tipos de estructuras considerados se observa un comportamiento normal que tiende a agruparse cerca del promedio, asimilándose al comportamiento general de las diagonales en elevación.

Otro aspecto notable es la agrupación de valores en un solo intervalo para las naves de molienda. Una razón probable de esto es la misma que para los casos anteriores, en donde se repiten los elementos con misma esbeltez. Una explicación es que al diseñar los arriostramientos de techo o de cordón inferior, controla el diseño la esbeltez.

De la tabla 5-2, en donde aparece la distribución de diagonales en planta separadas por tipo de perfil, se observa que tanto la serie de perfiles XL laminados como plegados son un porcentaje muy bajo del total, por lo que se desprecia sus resultados. En tanto, para los otros perfiles, se hace notar que las esbelteces promedio son bastante similares.

En cuanto a los gráficos de distribución por perfil, se tiene que para los tres tipos de perfil considerados se tienen distribuciones bastante parecidas y normales, que se agrupan en torno al intervalo 70-80. Sin embargo, se hace notar la agrupación excesiva en dicho intervalo para los perfiles ángulo plegados en frío, que se puede deber a frecuencias muy grandes debido a repeticiones de elementos.

### **6.5.2 Esbelteces locales**

En cuanto a las esbelteces locales en general se tiene que, en promedio, las diagonales en elevación se diseñan al 81% de su esbeltez límite (aproximadamente 80%) lo que era esperable considerando que debería estar cerca de 100% para ser lo más económico posible. Además de la figura 6-11 se observa cómo las frecuencias se agrupan entre el 60% y 70% de la esbeltez límite, lo que es bastante bajo.

Entonces, que el promedio sea 81% se explica solamente por la cantidad de elementos con esbelteces mayores a  $\lambda_r$ , que para el caso de las diagonales en planta no es requisito de la norma. La mayoría de las diagonales con elementos esbeltos (relación ancho espesor mayor al límite  $\lambda_r$ ) corresponden a perfiles de sección ángulo plegado en frío.

# Capítulo 7 : DETERMINACIÓN DE UNA ESBELTEZ GLOBAL ÓPTIMA

En este capítulo se detallan 4 fórmulas obtenidas para una esbeltez óptima obtenida a partir de los datos recopilados de la estadística. Tres de ellas para cada uno de los miembros estudiados, es decir, columnas, diagonales en elevación y diagonales en planta; y una última que unifique estas tres.

## 7.1 ESBELTEZ ÓPTIMA

En general, para un elemento comprimido axialmente lo más eficiente es que su sollicitación ( $P$ ) coincida con su resistencia admisible ( $P_{adm}$ ). Más adelante se mostrará que se pueden obtener simplificaciones para las propiedades estudiadas en esta memoria escritas en función de la altura del perfil, entonces dada una sección se tiene:

$$\begin{aligned}A &= \alpha H^2 \\r_x &= \beta_x H \\r_y &= \beta_y H\end{aligned}$$

Entonces, conocida sus luces de pandeo, para la esbeltez se tiene:

$$\lambda = \max \left\{ \frac{L_x}{\beta_x H}; \frac{L_y}{\beta_y H} \right\} = \frac{L}{\beta H}$$

Por su parte, la resistencia admisible decrece con la esbeltez y como:

$$P = P_{adm} = F_{adm} * A$$

Esto señala que, en un diseño económico, es decir, cuando  $A$  es mínimo,  $F_{adm}$  es máximo, por lo tanto, la esbeltez más económica es la esbeltez más pequeña que cumple con la resistencia admisible.

Además, se sabe que, para un intervalo cualquiera, la aproximación lineal de la resistencia admisible se puede escribir como sigue:

$$\frac{P_{adm} * \Omega}{A_g * F_y} = d - c * \lambda$$

O bien,

$$P_{adm} = \frac{A_g F_y}{\Omega} (d - c * \lambda) = \frac{\alpha H^2 F_y}{\Omega} (d - c \lambda)$$

Y con la definición de la esbeltez se tiene

$$\lambda = \frac{L}{\beta H} \rightarrow H = \frac{L}{\beta \lambda} \rightarrow H^2 = \frac{L^2}{\beta^2 \lambda^2}$$

Por lo tanto, se obtiene

$$P_{adm} = \frac{\alpha F_y L^2}{\Omega \beta^2 \lambda^2} (d - c * \lambda) \rightarrow \frac{P_{adm} \Omega}{F_y L^2} = \frac{\alpha}{\beta^2 \lambda^2} (d - c * \lambda)$$

De donde para despejar la esbeltez es necesario desarrollar una ecuación cuadrática, como sigue:

$$\frac{P_{adm} \Omega}{F_y L^2} \lambda^2 = \frac{\alpha}{\beta^2} (d - c * \lambda) \rightarrow \frac{P_{adm} \Omega}{F_y L^2} \lambda^2 - \frac{\alpha}{\beta^2} (d - c * \lambda) = 0$$

O más claramente:

$$\lambda^2 + \underbrace{\left( \frac{\alpha F_y L^2 c}{\beta^2 P_{adm} \Omega} \right)}_P \lambda - \underbrace{\left( \frac{d \alpha F_y L^2}{\beta^2 P_{adm} \Omega} \right)}_{Q=-dP/c} = 0$$

Lo cual al resolver la ecuación cuadrática se obtiene:

$$\lambda = -\frac{P}{2} \pm \sqrt{\frac{P^2}{4} - Q} = \frac{P}{2} \left( \sqrt{1 - \frac{4Q}{P^2}} - 1 \right) = \frac{P}{2} \left( \sqrt{1 + \frac{4d}{cP}} - 1 \right)$$

Que es equivalente a:

$$\lambda = \frac{\alpha F_y L^2 c}{2 \beta^2 P_{adm} \Omega} \left( \sqrt{1 + \frac{4d \beta^2 P_{adm} \Omega}{\alpha F_y L^2 c^2}} - 1 \right)$$

Ahora bien, se desea simplificar el valor obtenido para lo que está dentro de la raíz, o  $\tau$ . Para esto se deben obtener los valores correspondientes a  $\alpha$  y  $\beta$  provenientes de las propiedades del perfil,  $c$  y  $d$  que son constantes que vienen de la aproximación según el intervalo estudiado en los capítulos anteriores, y  $\Omega$  que se tomará como 1.67. Se tomarán tres casos, uno para cada miembro estudiado.

## 7.2 PARÁMETROS DE COLUMNAS

Al tomar el intervalo de interés entre esbelteces 20 y 80 visto en capítulos anteriores, se puede hacer una regresión lineal para aproximar la resistencia admisible en compresión, que se mostró en la figura 2-15 y que ahora se muestra en conjunto con la aproximación.

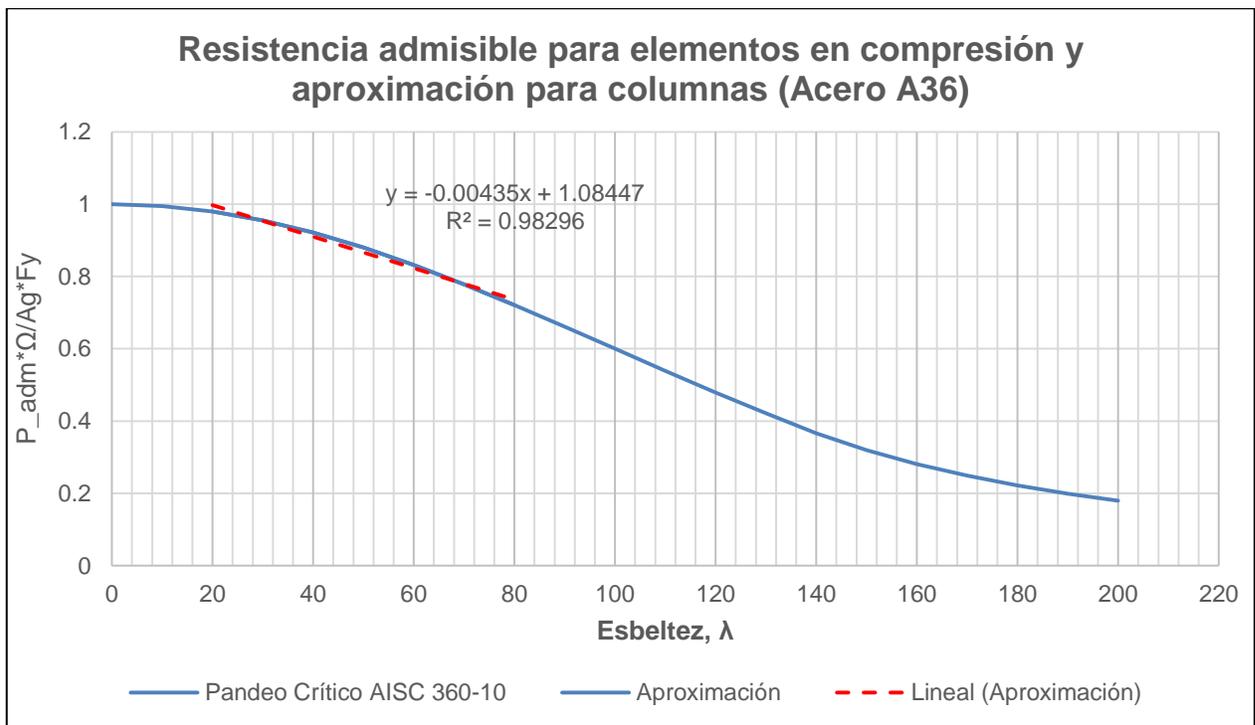


Figura 7-1: Resistencia admisible y aproximada para columnas

De donde se puede obtener la siguiente ecuación para la estimación de la resistencia admisible:

$$\frac{P_{adm} * \Omega}{A_g * F_y} = 1.085 - \frac{\lambda}{230}$$

Válida para esbelteces entre 20 y 80. Con lo que, para columnas:

$$d = 1.085$$

$$c = \frac{1}{230}$$

De esta forma, solo falta determinar los parámetros que dependen de las propiedades geométricas del perfil. Se realizará el análisis para un perfil HN usualmente utilizado en columnas de marcos arriostrados, que se muestra en la siguiente figura, donde B es igual a H.

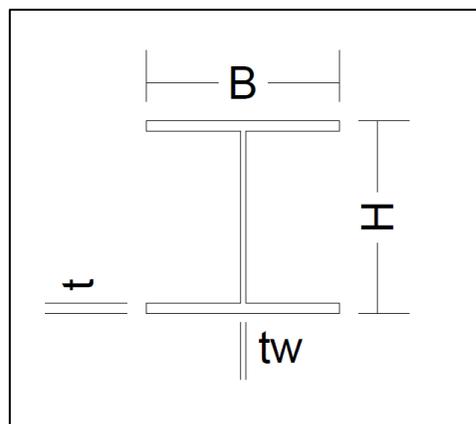


Figura 7-2: Dimensiones principales perfil Doble T, elaboración propia.

La estadística mostró que, en promedio, los elementos están diseñados al 80% de su esbeltez límite, por lo que se asumirá que la relación ancho espesor será igual a 0,8 veces  $\lambda_r$ . De esta forma, para el caso del acero A36 se tiene lo siguiente para el alma en compresión pura:

$$\lambda_r^{alma} = 1,49 \sqrt{E/F_y} = 1,49 \sqrt{2100/2,53} = 42,93$$

De esta forma el factor utilizado en el cálculo de la esbeltez del ala corresponde a:

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{0,8 * h/t_w}} = \frac{4}{\sqrt{0,8 * 42,93}} = 0,68$$

Con lo cual se obtiene la esbeltez límite b/t para las alas:

$$\lambda_r^{ala} = 0,64 \sqrt{E k_c/F_y} = 0,64 \sqrt{2100 * 0,68/2,53} = 15,2$$

Con lo anterior se puede aproximar los valores de los espesores en función de las dimensiones principales, H y B, considerando el 80% de la esbeltez límite.

$$B = 2b \rightarrow \frac{B}{2t} = 15,2 * 0,8 \rightarrow t \approx \frac{B}{24} = \frac{H}{24}$$

Es decir,

$$H = h + 2t \rightarrow \frac{H - 2t}{t_w} = 42,93 * 0,8 \rightarrow t_w \approx \frac{H - 2 * \left(\frac{H}{24}\right)}{42,93 * 0,8} \approx \frac{H}{37}$$

Con lo anterior, y suponiendo que para una columna HN se tiene que H=B, el área gruesa es aproximadamente:

$$A_g = (H - 2t) * t_w + 2 * H * t$$

Ahora, al aproximar todos los parámetros en función de H se tiene lo siguiente para el área:

$$A_g \approx \left(H - \frac{2H}{24}\right) * \frac{H}{37} + 2H * \frac{H}{24} = 0,0248 H^2 + 0,8333H^2 \approx \mathbf{0,11 H^2}$$

De igual manera, para la inercia en x,  $I_x$  al considerar una columna HN se tiene:

$$I_x = \frac{1}{12} (H^4 - (H - t_w)(h - 2t)^3)$$

Lo que al aproximar con los valores de los espesores se obtiene:

$$I_x \approx \frac{1}{12} \left( H^4 - \left( H - \frac{H}{37} \right) \left( H - \frac{2H}{24} \right)^3 \right) \approx \frac{1}{12} (H^4 - (0,973 H)(0,917H)^3) \approx 0,021 H^4 \approx \frac{H^4}{48}$$

Con estos resultados se puede aproximar el radio de giro en x:

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} \approx \sqrt{\frac{0,021 H^4}{0,11 H^2}} \approx \mathbf{0,44 H}$$

Para la inercia en el eje y se despreciará la inercia que aporta el alma para que simplemente sea:

$$I_y = 2 \left( \frac{1}{12} B^3 t \right) = \frac{H^3 t}{6}$$

Lo cual al aproximar con el valor de t en función de H se obtiene:

$$I_y = \frac{H^3 t}{6} \approx \frac{H^3 * \frac{H}{24}}{6} = \frac{H^4}{144}$$

Con estos resultados se puede aproximar el radio de giro en y:

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} \approx \sqrt{\frac{H^4/144}{0,11 * H^2}} \approx 0,25 H$$

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los parámetros para columnas HN con esbeltez entre 20 y 80.

Tabla 7-1: Resumen de parámetros para columnas

Parámetro	Valor
$\alpha$	0.11
$\beta$	0.44
$d$	1.085
$c$	1/230

### 7.3 PARÁMETROS DE DIAGONALES EN ELEVACIÓN

Se hace lo mismo para diagonales en elevación, al tomar el intervalo de interés entre esbelteces 30 y 120 se puede hacer una regresión lineal para aproximar la resistencia admisible en compresión que se muestra en conjunto con la aproximación.

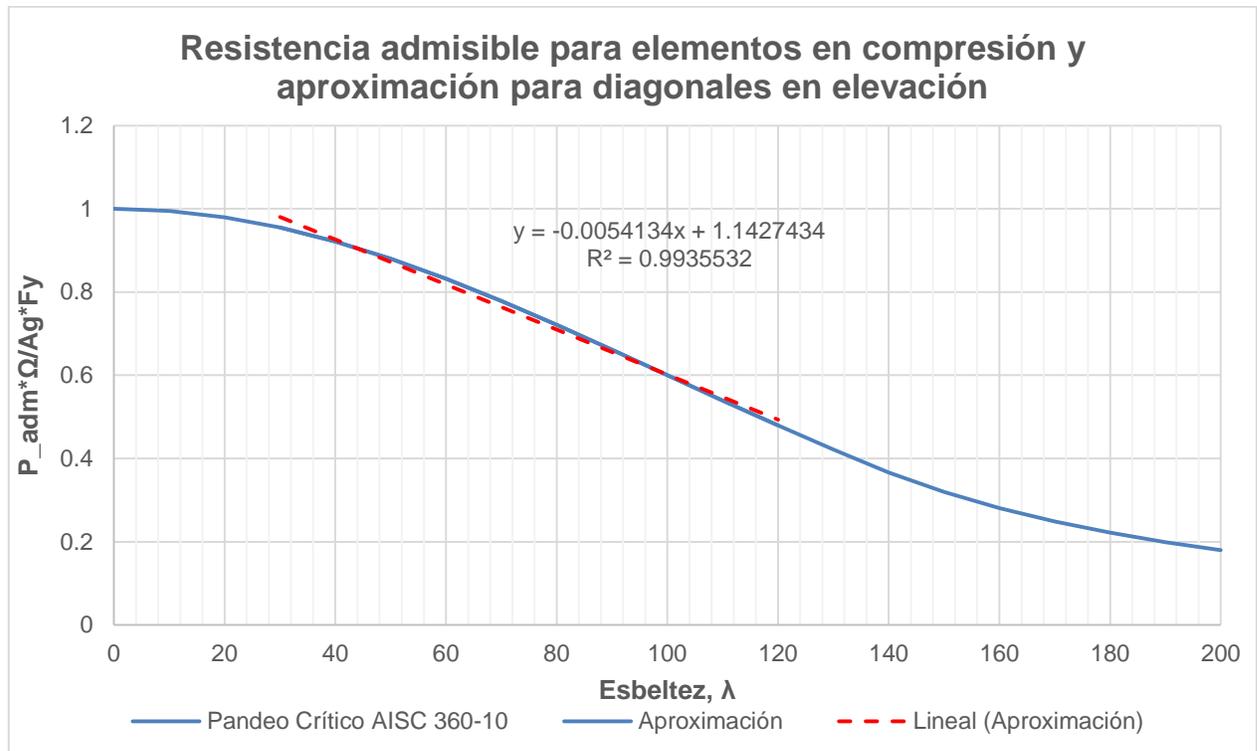


Figura 7-3: Resistencia admisible y aproximada para diagonales en elevación

De donde se puede obtener la siguiente ecuación para la resistencia admisible:

$$\frac{P_{adm} * \Omega}{A_g * F_y} = 1,143 - \frac{\lambda}{185}$$

Válida para esbelteces entre 30 y 120. Con lo que, para diagonales en elevación:

$$d = 1.143$$

$$c = \frac{1}{185}$$

Análogamente al caso de columnas, se determinan los parámetros geométricos de la sección. Se realizará el análisis para un perfil cajón cuadrado uniforme usualmente utilizado en diagonales en elevación de marcos arriostrados, que se muestra en la siguiente figura, donde B es igual a H.

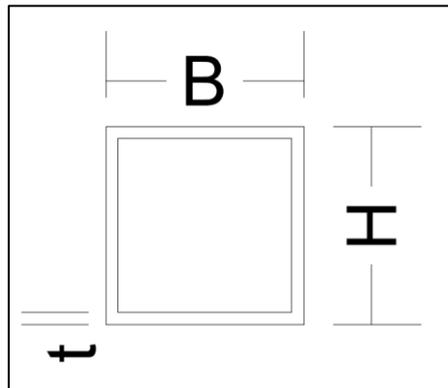


Figura 7-4: Dimensiones principales perfil cajón cuadrado, elaboración propia.

La estadística mostró que, en promedio, los elementos están diseñados al 75% de su esbeltez límite, por lo que se asumirá que la relación ancho espesor será igual a 0,75 veces  $\lambda_r$ . De esta forma, para el caso del acero A36 se tiene lo siguiente tanto para alma como para ala:

$$\lambda_r = 1,4 \sqrt{E/F_y} = 1,4 \sqrt{2100/2,53} = 40,33$$

Con lo anterior se puede aproximar los valores de los espesores en función de las dimensiones principales, H o B

$$B = b + 2t \rightarrow \frac{B - 2t}{t} = 40,33 * 0,75 \rightarrow B = 30,24 t + 2t \rightarrow t \approx \frac{B}{32}$$

Con lo anterior, y suponiendo que para una diagonal con perfil cajón cuadrado uniforme se tiene que H=B, el área gruesa se calcula como:

$$A_g = B^2 - (B - 2t)^2$$

Ahora, al aproximar todos los parámetros en función de H se tiene lo siguiente para el área:

$$A_g = B^2 - (B - 2t)^2 \approx B^2 - \left(B - \frac{2B}{32}\right)^2 = 0,121 B^2 \approx \frac{4 B^2}{33}$$

De igual manera, para la inercia en x,  $I_x$  al considerar un cajón cuadrado uniforme se tiene:

$$I_x = \frac{1}{12}(B^4 - (B - 2t)^4)$$

Lo que al aproximar con los valores de los espesores se obtiene:

$$I_x \approx \frac{1}{12} \left( B^4 - \left( B - \frac{2B}{32} \right)^4 \right) = \frac{1}{12} (B^4 - (0,9375B)^4) \approx 0,01896 B^4 \approx \frac{B^4}{53}$$

Con estos resultados se puede aproximar el radio de giro en x:

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} \approx \sqrt{\frac{B^4/53}{4B^2/33}} \approx \mathbf{0,39 B}$$

Para Las propiedades en el eje y,  $I_y$  y  $r_y$  se tienen los mismos valores que para x, pues la sección es simétrica.

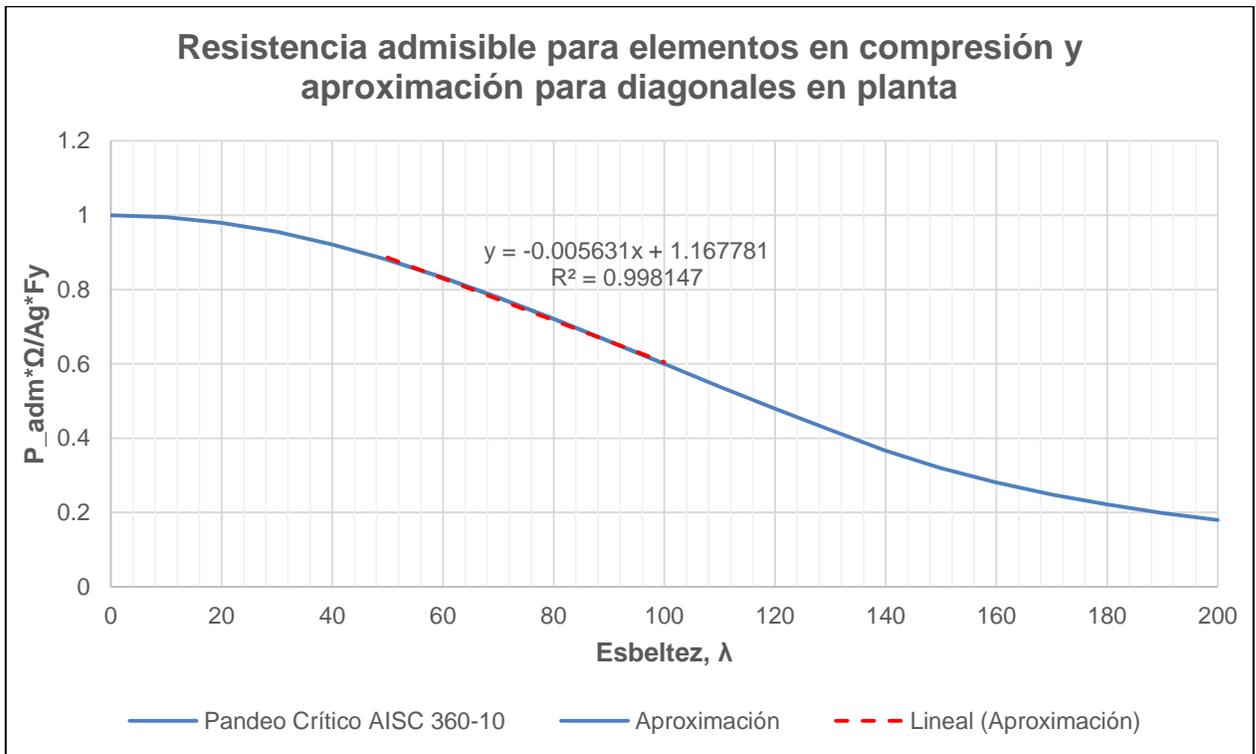
En la siguiente tabla se muestra el resumen de los parámetros para diagonales en elevación de sección cajón con esbeltez entre 30 y 120.

*Tabla 7-2: Resumen de parámetros para diagonales en elevación.*

Parámetro	Valor
$\alpha$	4/33
$\beta$	0.39
$d$	1.143
$c$	1/185

## 7.4 PARÁMETROS PARA DIAGONALES EN PLANTA

Al igual que para los dos casos anteriores, se considera un intervalo en donde es posible aproximar linealmente la resistencia admisible. Para esto se considera el intervalo de esbeltez en donde se agrupan la mayoría de las diagonales, esto es entre 50 y 100. Al hacer la regresión lineal de la resistencia admisible en compresión de una sección cualquiera se obtiene lo siguiente:



*Figura 7-5: Resistencia admisible y aproximada para diagonales en planta*

De donde se puede obtener la siguiente ecuación para la resistencia admisible:

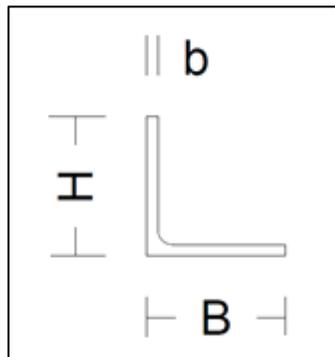
$$\frac{P_{adm} * \Omega}{A_g * F_y} = 1,168 - \frac{\lambda}{178}$$

Válida para esbelteces entre 50 y 100. Con lo que, para diagonales en elevación de sección L:

$$d = 1.168$$

$$c = \frac{1}{178}$$

De manera análoga se realizará el análisis para un perfil L laminado usualmente utilizado en diagonales en planta, que se muestra en la siguiente figura, donde B es igual a H.



*Figura 7-6: Dimensiones principales perfil L laminado, elaboración propia.*

La estadística mostró que, en promedio, los elementos están diseñados al 81% de su esbeltez límite, por lo que se asumirá que la relación ancho espesor será igual a 0,81 veces  $\lambda_r$ . De esta forma, para el caso del acero A36 se tiene lo siguiente tanto para alma como para ala:

$$\lambda_r = 0,45 \sqrt{E/F_y} = 0,45 \sqrt{2100/2,53} = 12,96$$

Con lo anterior se puede aproximar los valores de los espesores en función de las dimensiones principales, H o B

$$\frac{B}{b} = 12,96 * 0,81 \rightarrow b \approx \frac{2B}{21}$$

Con lo anterior, y suponiendo que para una diagonal en planta con perfil ángulo laminado se tiene que H=B, el área gruesa se calcula como:

$$A_g = 2Bb$$

Ahora, al aproximar b en función de H se tiene lo siguiente para el área:

$$A_g = 2Bb \approx 2B * \frac{2B}{21} = \frac{4B^2}{21}$$

De igual manera, para la inercia en x,  $I_x$  al considerar un ángulo laminado, el momento de inercia es, teóricamente:

$$I_x = \frac{b}{3}(B^3 + Bb^2 - b^3) - \frac{\left(\frac{b}{2}(B^2 + Bb - b^2)\right)^2}{A_g}$$

En donde el primer término corresponde a la inercia medida desde el extremo en donde se unen las secciones y el segundo corresponde a la traslación de dicho punto al centroide. De la última ecuación se pueden reducir los términos  $Bb^2$ ,  $b^3$  y  $b^2$  pues al aplicar la potencia al denominador (21) queda un valor muy pequeño y despreciable. Luego de esa aproximación se aplica el valor ya obtenido de b en función de B para obtener:

$$I_x \approx \frac{2B^4}{3 * 21} - \frac{\left(\frac{2B}{2 * 21}\left(B^2 + \frac{2B^2}{21}\right)\right)^2}{\frac{4B^2}{21}} = \frac{2B^4}{63} - \frac{\left(\frac{23B^3}{21^2}\right)^2}{\frac{4B^2}{21}} = \frac{2B^4}{63} - \frac{23^2 B^4}{4 * 21^3} = 0,0174 B^4$$

Con estos resultados se puede aproximar el radio de giro en x:

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} \approx \sqrt{\frac{0,0174 B^4}{0,1905 B^2}} \approx \mathbf{0,3 B}$$

Para las propiedades en el eje y,  $I_y$  y  $r_y$  se tienen los mismos valores que para x, pues la sección es simétrica.

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los parámetros para diagonales en planta de sección ángulo con esbeltez entre 50 y 100.

Tabla 7-3: Resumen de parámetros para diagonales en planta

Parámetro	Valor
$\alpha$	4/21
$\beta$	0.3
$d$	1.168
$c$	1/178

## 7.5 PARÁMETROS PARA UNA SECCIÓN HN CUALQUIERA

Ahora bien, para estimar una esbeltez óptima para un miembro cualquiera, es necesario escoger una sección típica. Por su uso frecuente se escoge la sección Doble T de ancho de ala igual a ancho de alma (HN), de la cual ya se conocen sus parámetros geométricos. Sin embargo, no se conoce el rango de esbelteces general explícitamente, aunque si se combinan los tres rangos para los miembros anteriores, se obtiene aproximadamente un rango de esbeltez entre 30 y 100. Dado lo anterior se tiene que para el gráfico de resistencia admisible:

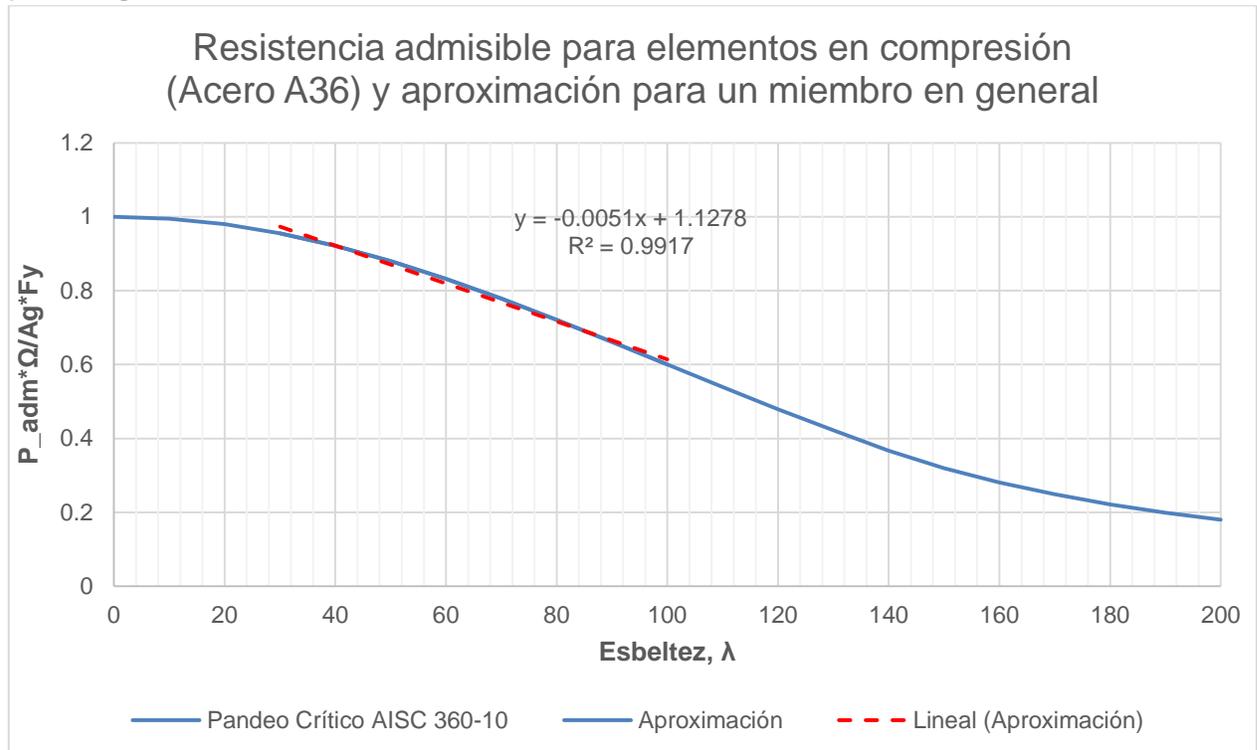


Figura 7-7: Resistencia admisible y aproximada para un miembro cualquiera

Con lo anterior, se tiene que la resistencia admisible se puede aproximar como:

$$\frac{P_{adm} * \Omega}{A_g * F_y} = 1,128 - \frac{\lambda}{196}$$

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los parámetros para un elemento cualquiera de sección HN con esbeltez entre 30 y 100.

Tabla 7-4: Resumen de parámetros para un miembro cualquiera (HN)

Parámetro	Valor
$\alpha$	0.11
$\beta$	0.44
$d$	1.128
$c$	1/196

## 7.6 OBTENCIÓN DE ESBELTEZ ÓPTIMA MEDIANTE REDUCCIÓN DE $\tau$

En la sección 7.1 se determinó una fórmula para una esbeltez óptima. Sin embargo, esta esbeltez puede ser simplificada aún más con el uso de los parámetros obtenidos en las secciones 7.2 a 7.5. La ecuación a reducir correspondía a la siguiente:

$$\lambda = \frac{\alpha F_y L^2 c}{2\beta^2 P_{adm} \Omega} \left( \sqrt{1 + \frac{4d\beta^2 P_{adm} \Omega}{\alpha F_y L^2 c^2}} - 1 \right)$$

Lo que se busca reducir o simplificar es el argumento de la raíz, o  $\tau$ .

### 7.6.1 Para columnas

Utilizando los parámetros obtenidos en 7.2 se tiene:

$$\frac{4d\beta^2 P_{adm} \Omega}{\alpha F_y L^2 c^2} = \frac{4 * 1,085 * 0,44^2 * P_{adm}}{0,11 * F_y L^2 \left(\frac{1}{230}\right)^2} = 405000 \frac{P_{adm} \Omega}{F_y L^2} = 405000 \frac{P_{adm} \Omega}{F_y A_g} * \frac{A_g}{L^2}$$

Pero el rango de W es conocido, pues es precisamente el valor de la ordenada del gráfico de resistencia admisible. Para este caso W oscila entre 0,72 y 0,98. Finalmente se tiene:

$$\frac{4d\beta^2 P_{adm} \Omega}{\alpha F_y L^2 c^2} = 405000 * 0,11 * [0,72 a 0,98] * \left(\frac{H}{L}\right)^2 = [32000 a 44000] \left(\frac{H}{L}\right)^2$$

Y por la estadística de H/L se sabe que para columnas H/L va de 1/22 a 1/6, con lo que:

$$\frac{4d\beta^2 P_{adm} \Omega}{\alpha F_y L^2 c^2} = 66 a 1222 \gg 1$$

Es decir, se puede despreciar el aporte del 1 dentro de la raíz y la resta, obteniendo para la esbeltez:

$$\lambda_{\text{óptimo}} = \frac{\alpha F_y L^2 c}{2\beta^2 P_{adm} \Omega} \left( \frac{2\beta}{Lc} \sqrt{\frac{P_{adm} d \Omega}{\alpha F_y}} \right) = \frac{1}{\beta} \sqrt{\frac{\alpha d}{\Omega}} \sqrt{\frac{F_y L^2}{P_{adm}}} \approx 0,61 \sqrt{\frac{F_y L^2}{P_{adm}}}$$

### 7.6.2 Para diagonales en elevación

Análogamente, se obtiene la esbeltez óptima para diagonales en elevación, de sección cajón con esbelteces entre 30 y 120. Utilizando los parámetros obtenidos en 7.3 se tiene:

$$\frac{4d\beta^2 P_{adm} \Omega}{\alpha F_y L^2 c^2} = \frac{4 * 1,143 * 0,39^2 * P_{adm}}{\frac{4}{33} * F_y L^2 \left(\frac{1}{185}\right)^2} = 197000 \frac{P_{adm} \Omega}{F_y L^2} = 197000 \frac{P_{adm} \Omega}{F_y A_g} * \frac{A_g}{L^2}$$

Pero el rango de W es conocido, pues es precisamente el valor de la ordenada del gráfico de resistencia admisible. Para este caso W oscila entre 0,48 y 0,96. Finalmente se tiene:

$$\frac{4d\beta^2 P_{adm} \Omega}{\alpha F_y L^2 c^2} = 197000 * \frac{4}{33} * [0,48 \text{ a } 0,96] * \left(\frac{H}{L}\right)^2 = [11500 \text{ a } 23000] \left(\frac{H}{L}\right)^2$$

Y por la estadística de H/L se sabe que para diagonales en elevación H/L va de 1/40 a 1/10, con lo que:

$$\frac{4d\beta^2 P_{adm} \Omega}{\alpha F_y L^2 c^2} = 7 \text{ a } 230 \gg 1$$

Si bien 4 es del mismo orden de magnitud, ese valor considera la columna más esbelta, es decir, esbeltez cercana a 120; y la razón H/L más pequeña, esto es, cercano a 1/40, es decir, para un cajón cuadrado de 20cm x 20cm, una luz de pandeo de 8 metros aproximadamente, lo cual tiene poca relación con la realidad, ya que los perfiles cajón comúnmente utilizados como diagonales en elevación tienen luces de pandeo entre 2,5 y 5 metros. Esto lleva a que en realidad el rango 7 a 230 parta con mayor seguridad en un valor más alto que 7 y de al menos un orden de magnitud sobre 1. Con esto ya dicho, se puede despreciar el aporte del 1 dentro de la raíz y la resta, obteniendo para la esbeltez óptima del miembro considerado:

$$\lambda_{\text{optimo}} = \frac{\alpha F_y L^2 c}{2\beta^2 P_{adm} \Omega} \left( \frac{2\beta}{Lc} \sqrt{\frac{P_{adm} d \Omega}{\alpha F_y}} \right) = \frac{1}{\beta} \sqrt{\frac{\alpha d}{\Omega}} \sqrt{\frac{F_y L^2}{P_{adm}}} \approx 0,74 \sqrt{\frac{F_y L^2}{P_{adm}}}$$

### 7.6.3 Para diagonales en planta

Análogamente, se obtiene la esbeltez óptima para diagonales en planta, de sección ángulo con esbelteces entre 50 y 100. Utilizando los parámetros obtenidos en 7.4 se tiene:

$$\frac{4d\beta^2 P_{adm} \Omega}{\alpha F_y L^2 c^2} = \frac{4 * 1,168 * 0,3^2 * P_{adm}}{\frac{4}{21} * F_y L^2 \left(\frac{1}{178}\right)^2} = 70000 \frac{P_{adm} \Omega}{F_y L^2} = 70000 \frac{P_{adm} \Omega}{F_y A_g} * \frac{A_g}{L^2}$$

Pero el rango de W es conocido, pues es precisamente el valor de la ordenada del gráfico de resistencia admisible. Para este caso W oscila entre 0,60 y 0,88. Finalmente se tiene:

$$\frac{4d\beta^2 P_{adm} \Omega}{\alpha F_y L^2 c^2} = 70000 * \frac{4}{21} * [0,6 \text{ a } 0,88] * \left(\frac{H}{L}\right)^2 = [8000 \text{ a } 11700] \left(\frac{H}{L}\right)^2$$

Y por la estadística de H/L se sabe que para diagonales en planta H/L va de 1/33 a 1/14, con lo que:

$$\frac{4d\beta^2 P_{adm} \Omega}{\alpha F_y L^2 c^2} = 7 \text{ a } 60 \gg 1$$

Si bien 7 es del mismo orden de magnitud, ese valor considera la columna más esbelta, es decir, cercano a 100; y la razón H/L más pequeña, esto es, cercano a 1/33, es decir, para un ángulo de 20cm x 20cm, una luz de pandeo de 7 metros aproximadamente. Lo anterior tiene poca relación con la realidad, ya que los perfiles ángulo comúnmente utilizados como diagonales en planta tienen luces de pandeo entre 1 y 3 metros. Esto lleva a que en realidad el rango 7 a 60 parta con mayor seguridad en un valor más alto que 7 y de al menos un orden de magnitud sobre 1. Con esto ya dicho, se puede despreciar el aporte del 1 dentro de la raíz y la resta, obteniendo para la esbeltez óptima del miembro considerado:

$$\lambda_{\text{óptimo}} = \frac{\alpha F_y L^2 c}{2\beta^2 P_{adm} \Omega} \left( \frac{2\beta}{Lc} \sqrt{\frac{P_{adm} d\Omega}{\alpha F_y}} \right) = \frac{1}{\beta} \sqrt{\frac{\alpha d}{\Omega}} \sqrt{\frac{F_y L^2}{P_{adm}}} \approx 1,22 \sqrt{\frac{F_y L^2}{P_{adm}}}$$

#### 7.6.4 Para una sección HN cualquiera

Utilizando los parámetros obtenidos en 7.5 se tiene para un miembro de sección HN cualquiera con esbeltez entre 30 y 100:

$$\frac{4d\beta^2 P_{adm} \Omega}{\alpha F_y L^2 c^2} = \frac{4 * 1,128 * 0,44^2 * P_{adm}}{0,11 * F_y L^2 \left(\frac{1}{196}\right)^2} = 305000 \frac{P_{adm} \Omega}{F_y L^2} = 305000 \frac{P_{adm} \Omega}{F_y A_g} * \frac{A_g}{L^2}$$

Pero el rango de W es conocido, pues es precisamente el valor de la ordenada del gráfico de resistencia admisible. Para este caso W oscila entre 0,6 y 0,96. Finalmente se tiene:

$$\frac{4d\beta^2 P_{adm} \Omega}{\alpha F_y L^2 c^2} = 305000 * 0,11 * [0,6 \text{ a } 0,96] * \left(\frac{H}{L}\right)^2 = [20000 \text{ a } 32000] \left(\frac{H}{L}\right)^2$$

Y por la estadística de H/L se sabe que para miembros en general H/L va de 1/34 a 1/10, con lo que:

$$\frac{4d\beta^2 P_{adm} \Omega}{\alpha F_y L^2 c^2} = 17 \text{ a } 320 \gg 1$$

Es decir, se puede despreciar el aporte del 1 dentro de la raíz y la resta, obteniendo para la esbeltez:

$$\lambda_{\text{óptimo}} = \frac{\alpha F_y L^2 c}{2\beta^2 P_{adm} \Omega} \left( \frac{2\beta}{Lc} \sqrt{\frac{P_{adm} d\Omega}{\alpha F_y}} \right) = \frac{1}{\beta} \sqrt{\frac{\alpha d}{\Omega}} \sqrt{\frac{F_y L^2}{P_{adm}}} \approx 0,62 \sqrt{\frac{F_y L^2}{P_{adm}}}$$

## Capítulo 8 : CONCLUSIONES

En este capítulo se expondrán las conclusiones del trabajo realizado y recomendaciones para futuras investigaciones

### 8.1 CONCLUSIONES

A lo largo de todo el trabajo se observaron miembros de diversos tipos de estructuras industriales mineras con distintos tipos de perfiles, los cuales entregaron ciertos rangos y valores promedio que pueden ser útiles para el proceso de diseño, al saber de antemano el valor esperado de los parámetros estudiados. Los datos fueron tomados de proyectos reales de proyectos ya construidos, por lo que los resultados tienen relación directa con la realidad de la práctica chilena. Esto se prueba también por el hecho de la diversidad de oficinas que realizaron el diseño de los proyectos observados, en donde de los 11 proyectos, se contabilizaron 10 oficinas.

El primer parámetro observable relevante es la esbeltez global del miembro estructural, que además de ser un parámetro clave del diseño a compresión, es muy completo, pues depende tanto de la inercia y área del perfil, como de la condición de apoyo en los extremos y largo de pandeo del miembro.

En resumen, el rango observado de esbeltez global para columnas es entre 20 y 80 con un promedio de 40; para diagonales en elevación es entre 30 y 120, con un promedio de 65; y para las diagonales en planta el rango está entre 50 y 100, con un promedio de 75. Esto muestra que, como era esperable, las columnas tienen esbelteces mucho más pequeñas que las diagonales, debido a su mayor envergadura y, en algunos casos, a menores luces efectivas de pandeo.

Sin embargo, vale la pena cuestionarse si el promedio es en realidad el estadístico más representativo de la forma de diseñar. En general, los miembros observados corresponden a perfiles que se diseñan para el miembro más solicitado, y el resto se denotan con el sufijo "TIP.", de "sección típica". De esta forma, como se diseña para un miembro de toda la gama que tienen características parecidas en cuanto a geometría y esfuerzos, el resto queda sobredimensionado. Esto es económico ya que se simplifica mucho el diseño por poca cantidad de material. Así, el promedio obtenido no es más que el promedio de esbeltez de todos esos miembros que, en mayor o menor cantidad, han quedado sobredimensionados y esto refleja la esbeltez real de los miembros observados.

Dado lo anterior, se puede pensar que se obtendrían valores cercanos a la esbeltez límite para miembros en compresión propuesta por la norma chilena estudiada (135 aproximadamente para acero ASTM A36) ya que el diseño debe ajustarse al límite para ser lo más económico posible. A pesar de lo anterior, se observaron distribuciones de esbelteces lejos de dicho límite y ni siquiera cerca del límite propuesto por la AISC de 200. En general, las esbelteces se mueven entre 30 y 100 y muy rara vez las superan el valor de 120. Esto evidencia que, desde el punto de vista de la práctica del diseño, la disposición normativa es poco aterrizada a la realidad, ya que escasa vez controla el diseño.

En cuanto a los resultados de esbeltez global separados por tipos de estructuras, se nota mayor diferencia para las diagonales en elevación, en donde el tipo de estructura define, por ejemplo, un promedio muy distinto entre un tipo de estructura y otro. Para las columnas se tienen principalmente diferencias leves entre estructuras con marcos rígidos, como las naves, de esbelteces mayores; y las estructuras de marcos arriostrados en ambas direcciones, como las estructuras de soporte de silos, de esbelteces menores. Para las diagonales en planta no se observan diferencias relevantes de la esbeltez global entre un tipo de estructura y otro.

Desde otra perspectiva, de los resultados separados por tipo de perfil para las columnas se observa una predominancia fuerte de los perfiles doble T. Se observa, además, una leve diferencia entre los perfiles H e I que se puede deber al tipo de estructura a la cual pertenecen, pues en general las columnas H se utilizan para marcos arriostrados en ambos sentidos y las I en marcos rígidos para su eje fuerte y marcos arriostrados en su eje débil.

Por otra parte, para diagonales en elevación se tiene mucha dispersión por la cantidad de perfiles utilizados, en donde se tienen comportamientos similares para perfiles cajón, XL y Doble T, que son los que dominan en las frecuencias. Sin embargo, para los perfiles compuestos se observan esbelteces muy grandes y dispersas. Mucho más regular es la distribución por perfil de diagonales en planta, para las cuales no se ven diferencias considerables y en donde los perfiles L predominan (más los laminados que los plegados).

Por otra parte, el otro parámetro observable relevante es la esbeltez local de cada elemento. Este se compara con la relación ancho-espesor límite de forma de obtener una razón de la esbeltez local del elemento. Así, un elemento bajo la esbeltez límite estará con valores bajo 1 y uno sobre ella tendrá valores mayores que 1.

La estadística mostró que las columnas son diseñadas, en promedio a 0.83 veces su esbeltez límite, en donde se consideró la mayor esbeltez local entre el ala y el alma. Por su parte, las diagonales en elevación se diseñan en promedio a 0.73, mientras que las diagonales en planta al 0.81. En general, para todos los tres casos se tuvo una tendencia clara con frecuencias crecientes en torno a 1 y que caían estrepitosamente al sobrepasar dicho valor, aunque nunca nulas. Esto último porque se observaron con frecuencia relevante secciones con elementos con relación ancho-espesor mayor a la permitida por la norma.

Estos datos son relevantes pues evidencian que el diseño está orientado a economizar lo más posible la elección del perfil, tratando de hacerlo lo más esbelto considerando las restricciones dispuestas. Por ejemplo, dadas dos secciones con área similar, es económico escoger la con mayor inercia (y por lo tanto mayor radio de giro), ya que con la misma cantidad de material se construye un perfil con mejores propiedades. El ejemplo anterior es aún más claro cuando se minimiza el área del perfil dadas las propiedades de rigidez, pues lo que se economiza es la cantidad de material dados los requerimientos de rigidez.

En síntesis, se ha evidenciado que, en la práctica, el diseño de elementos comprimidos busca el óptimo y se ubica cerca de él de manera intuitiva. Ese óptimo se logró caracterizar en función de la carga admisible en compresión, el largo de pandeo, y el límite de fluencia del acero como  $\varphi \sqrt{\frac{F_y L^2}{P_{adm}}}$  y  $\varphi$  toma los valores de la siguiente tabla.

Tabla 8-1: Valores de  $\varphi$  para ecuación de esbeltez óptima observada

$\varphi$	Miembro	Sección	Rango de esbeltez válido
0.61	Columna	HN	20 y 80
0.74	Diagonal en elevación	Cajón cuadrado uniforme	30 y 120
1.22	Diagonal en planta	Ángulo laminado con ala igual al alma	50 y 100
0.62	Cualquiera	HN	30 y 100

## 8.2 FUTURAS INVESTIGACIONES

Se deja propuesto para futuros estudios estadísticos en estructuras industriales:

- Caracterizar la relación entre el área de una columna y su diagonal respectiva, de modo de obtener un valor para un mecanismo de falla columna fuerte-diagonal débil.
- Caracterizar la relación entre el área de una columna y su área total de pernos de anclaje, de forma de obtener rápidamente una aproximación para el cálculo de la conexión a la fundación. Esto puede ser de relevancia si es que se considera que los pernos son los grandes disipadores de energía.
- Caracterizar el peso de las conexiones en función del peso de la estructura total, de forma de validar estadísticamente los valores aproximados utilizados como conocidos para el peso de la estructura.
- Caracterizar relaciones entre el período de una estructura y diferentes parámetros como la altura, peso, niveles, equipos, etc., de forma de tener una aproximación del período de la estructura conociendo poca información de ella.
- Caracterizar la capacidad a la cual se diseñan las conexiones para visualizar que se entiende por lo que dice la norma de “capacidad del perfil”. Si bien las conexiones pueden ser diseñadas a partir de los esfuerzos de diseño, resulta mucho más útil diseñarlas con el esfuerzo máximo que puede ejercer el elemento conectado (o capacidad del perfil), de manera de no perder ductilidad a través de ellas.

Estos temas pueden ser estudiados a partir de la misma base de proyectos utilizada para esta memoria.

## Capítulo 9 : BIBLIOGRAFÍA

- [1] American Institute of Steel Construction. Specification for Structural Steel Buildings, ANSI / AISC 360-16 (2016). Chicago, Illinois.
- [2] American Society for Testing Materials International (2012). *ASTM A53/A53M - 12, Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated, Welded and Seamless*. West Conshohocken, Pennsylvania.
- [3] American Society for Testing Materials International (2014). *ASTM A36/A36M - 14, Standard Specification for Carbon Structural Steel*. West Conshohocken, Pennsylvania.
- [4] Arze L., E. (1981). *Guía para el diseño en acero*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- [5] Burgos, C., y (&) Ibarra, A. (1999). *Caracterización de Edificios Industriales en Acero Estructural Aplicado a Plantas de Proceso de la Minería del Cobre* (tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- [6] Corporación Nacional del Cobre (2018). Descripción de procesos productivos del cobre. Recuperado de [https://www.codelcoeduca.cl/site/edic/base/port/proceso\\_productivo.html](https://www.codelcoeduca.cl/site/edic/base/port/proceso_productivo.html)
- [7] Durán, A., y (&) Herrera, R. (2017). *Estado del arte de arriostramientos en estructuras de acero* (tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- [8] Guendelman, T., y (&) Guendelman, M., y (&) Lindenberg, J. (1997). Perfil bio-sísmico de edificios. *VII Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica y Primer Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica*. La Serena, Chile.
- [9] Instituto Chileno del Acero (2000). *Manual de diseño para estructuras de acero*. Santiago de Chile.
- [10] Instituto Nacional de Normalización (2003), *NCh2369.Of2003 - Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales*. Santiago de Chile.
- [11] Meli, R. (1985). *Diseño Estructural*. México: Editorial Limusa.
- [12] Montecinos, R. (2016). Avances en diseño de estructuras industriales en Chile. *Revista Ingenieros*, N°215, pp. 26-28.
- [13] Montecinos, R. (2010). Diseño de estructuras industriales en Chile. *Revista AOA*, N°13, pp. 134-146.

# Apéndice A: TABLAS DE DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS DE FIGURAS

Tabla A-1: Distribución de frecuencias de esbeltez global para columnas

Columnas en general	
Intervalo	Frecuencia
]0,10]	22
]10,20]	234
]20,30]	260
]30,40]	307
]40,50]	307
]50,60]	119
]60,70]	87
]70,80]	55
]80,90]	14
]90,100]	0
]100,110]	16
]110,120]	0
]120,130]	3
]130,140]	2
]140,150]	0
]150,160]	0
]160,170]	0
]170,180]	0
]180,190]	0
]190,200]	0
>200	0
<b>Total</b>	<b>1426</b>
<b>Promedio</b>	<b>38,2</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>100%</b>

Tabla A-2: Distribución de frecuencias de esbeltez global para columnas separadas por tipo de estructura

<b>Columnas - Por tipo de estructura</b>				
<b>Intervalo</b>	<b>Soporte de Silos</b>	<b>Nave</b>	<b>Nave de molienda</b>	<b>Edificio</b>
	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia</b>
]0,10]	18	0	4	0
]10,20]	127	35	32	40
]20,30]	120	91	30	19
]30,40]	101	84	50	72
]40,50]	133	85	22	67
]50,60]	42	39	14	24
]60,70]	8	18	61	0
]70,80]	9	20	26	0
]80,90]	6	8	0	0
]90,100]	0	0	0	0
]100,110]	0	16	0	0
]110,120]	0	0	0	0
]120,130]	0	3	0	0
]130,140]	0	2	0	0
]140,150]	0	0	0	0
]150,160]	0	0	0	0
]160,170]	0	0	0	0
]170,180]	0	0	0	0
]180,190]	0	0	0	0
]190,200]	0	0	0	0
>200	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>564</b>	<b>401</b>	<b>239</b>	<b>222</b>
<b>Promedio</b>	<b>32,9</b>	<b>43,4</b>	<b>44,7</b>	<b>35,7</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>40%</b>	<b>28%</b>	<b>17%</b>	<b>16%</b>

Tabla A-3: Distribución de frecuencias de esbeltez global para columnas separadas por tipo de perfil.

<b>Columnas - Por tipo de perfil</b>			
<b>Intervalo</b>	<b>I</b>	<b>H</b>	<b>Tubular</b>
	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia</b>
]0,10]	18	4	0
]10,20]	51	179	4
]20,30]	124	106	30
]30,40]	139	164	4
]40,50]	122	153	32
]50,60]	54	62	3
]60,70]	42	45	0
]70,80]	41	14	0
]80,90]	0	14	0
]90,100]	0	0	0
]100,110]	16	0	0
]110,120]	0	0	0
]120,130]	0	3	0
]130,140]	2	0	0
]140,150]	0	0	0
]150,160]	0	0	0
]160,170]	0	0	0
]170,180]	0	0	0
]180,190]	0	0	0
]190,200]	0	0	0
>200	0	0	0
<b>Total</b>	<b>609</b>	<b>744</b>	<b>73</b>
<b>Promedio</b>	<b>41,1</b>	<b>36,2</b>	<b>35,0</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>43%</b>	<b>52%</b>	<b>5%</b>

Tabla A-4: Distribución de frecuencias de esbeltez global para diagonales en elevación

<b>Diagonales en elevación en general</b>	
<b>Intervalo</b>	<b>Frecuencia</b>
]0,10]	0
]10,20]	0
]20,30]	12
]30,40]	282
]40,50]	174
]50,60]	392
]60,70]	448
]70,80]	246
]80,90]	150
]90,100]	43
]100,110]	96
]110,120]	65
]120,130]	29
]130,140]	4
]140,150]	4
]150,160]	0
]160,170]	0
]170,180]	0
]180,190]	0
]190,200]	4
>200	0
<b>Total</b>	<b>1949</b>
<b>Promedio</b>	<b>65,2</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>100%</b>

Tabla A-5: Distribución de frecuencias de esbeltez global para diagonales en elevación separadas por tipo de estructura.

<b>Diagonales en elevación - Por tipo de estructura</b>				
<b>Intervalo</b>	<b>Soporte de Silos</b>	<b>Nave</b>	<b>Nave de molinenda</b>	<b>Edificio</b>
	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia</b>
]0,10]	0	0	0	0
]10,20]	0	0	0	0
]20,30]	2	4	0	6
]30,40]	34	234	0	14
]40,50]	116	50	0	8
]50,60]	224	104	42	22
]60,70]	370	40	28	10
]70,80]	130	52	32	32
]80,90]	63	26	30	31
]90,100]	27	4	12	0
]100,110]	6	28	44	18
]110,120]	40	4	14	7
]120,130]	4	0	18	7
]130,140]	0	0	4	0
]140,150]	4	0	0	0
]150,160]	0	0	0	0
]160,170]	0	0	0	0
]170,180]	0	0	0	0
]180,190]	0	0	0	0
]190,200]	4	0	0	0
>200	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1024</b>	<b>546</b>	<b>224</b>	<b>155</b>
<b>Promedio</b>	<b>66,0</b>	<b>52,7</b>	<b>85,9</b>	<b>74,0</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>53%</b>	<b>28%</b>	<b>11%</b>	<b>8%</b>

Tabla A-6: Distribución de frecuencias de esbeltez global para diagonales en elevación separadas por tipo de perfil.

Diagonales verticales - Por tipo de perfil											
Intervalo	Cajón	XL	Doble T			Compuestos				Tubular	
			I	H	I+H	T	C	2L	C+T+2L		
]0,10]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
]10,20]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
]20,30]	10	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
]30,40]	88	160	0	16	16	0	8	0	8	10	
]40,50]	62	56	0	42	42	0	12	0	12	2	
]50,60]	190	108	0	60	60	10	16	0	26	8	
]60,70]	66	134	4	92	96	24	4	0	28	124	
]70,80]	146	20	8	52	60	12	8	0	20	0	
]80,90]	52	28	26	28	54	10	0	6	16	0	
]90,100]	0	9	10	16	26	8	0	0	8	0	
]100,110]	18	8	2	20	22	24	0	24	48	0	
]110,120]	8	29	10	4	14	14	0	0	14	0	
]120,130]	0	23	0	0	0	6	0	0	6	0	
]130,140]	0	0	0	0	0	4	0	0	4	0	
]140,150]	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	
]150,160]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
]160,170]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
]170,180]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
]180,190]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
]190,200]	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	
>200	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Total</b>	<b>640</b>	<b>575</b>				<b>398</b>				<b>190</b>	<b>146</b>
<b>Promedio</b>	<b>61,0</b>	<b>60,1</b>				<b>72,4</b>				<b>82,3</b>	<b>61,6</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>33%</b>	<b>30%</b>				<b>20%</b>				<b>10%</b>	<b>7%</b>

Tabla A-7: Distribución de frecuencias de esbeltez global para diagonales en planta.

<b>Diagonales en planta en general</b>	
<b>Intervalo</b>	<b>Frecuencia</b>
]0,10]	0
]10,20]	0
]20,30]	0
]30,40]	60
]40,50]	139
]50,60]	401
]60,70]	821
]70,80]	885
]80,90]	378
]90,100]	621
]100,110]	38
]110,120]	140
]120,130]	16
]130,140]	0
]140,150]	0
]150,160]	0
]160,170]	0
]170,180]	0
]180,190]	0
]190,200]	0
>200	0
<b>Total</b>	<b>3499</b>
<b>Promedio</b>	<b>75,3</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>100%</b>

Tabla A-8: Distribución de frecuencias de esbeltez global para diagonales en planta separadas por tipo de estructura

<b>Diagonales en planta - Por tipo de estructura</b>				
<b>Intervalo</b>	<b>Soporte de Silos</b>	<b>Nave</b>	<b>Nave de molienda</b>	<b>Edificio</b>
	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia</b>
]0,10]	0	0	0	0
]10,20]	0	0	0	0
]20,30]	0	0	0	0
]30,40]	0	0	60	0
]40,50]	24	111	4	0
]50,60]	171	210	20	0
]60,70]	581	220	20	0
]70,80]	450	64	317	54
]80,90]	134	16	40	188
]90,100]	413	138	70	0
]100,110]	8	8	2	20
]110,120]	104	0	0	36
]120,130]	16	0	0	0
]130,140]	0	0	0	0
]140,150]	0	0	0	0
]150,160]	0	0	0	0
]160,170]	0	0	0	0
]170,180]	0	0	0	0
]180,190]	0	0	0	0
]190,200]	0	0	0	0
>200	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1901</b>	<b>767</b>	<b>533</b>	<b>298</b>
<b>Promedio</b>	<b>77,6</b>	<b>66,4</b>	<b>72,6</b>	<b>88,2</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>54%</b>	<b>22%</b>	<b>15%</b>	<b>9%</b>

Tabla A- 9: Distribución de frecuencias de esbeltez global para diagonales en planta separadas por tipo de perfil

Diagonales en planta - Por tipo de perfil					
Intervalo	L-Laminado	XL-Laminado	Cajón	L-Plegado	XL-Plegado
	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia	Frecuencia
]0,10]	0	0	0	0	0
]10,20]	0	0	0	0	0
]20,30]	0	0	0	0	0
]30,40]	60	0	0	0	0
]40,50]	12	4	111	0	12
]50,60]	77	0	160	164	0
]60,70]	74	16	220	511	0
]70,80]	324	57	78	378	48
]80,90]	64	4	188	90	32
]90,100]	146	34	30	367	44
]100,110]	2	0	28	0	8
]110,120]	0	0	36	8	96
]120,130]	0	0	0	0	16
]130,140]	0	0	0	0	0
]140,150]	0	0	0	0	0
]150,160]	0	0	0	0	0
]160,170]	0	0	0	0	0
]170,180]	0	0	0	0	0
]180,190]	0	0	0	0	0
]190,200]	0	0	0	0	0
>200	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>759</b>	<b>115</b>	<b>851</b>	<b>1518</b>	<b>256</b>
<b>Promedio</b>	<b>73,1</b>	<b>78,8</b>	<b>70,3</b>	<b>75,1</b>	<b>97,3</b>
<b>Porcentaje</b>	<b>22%</b>	<b>3%</b>	<b>24%</b>	<b>43%</b>	<b>7%</b>

Tabla A-10: Distribución de frecuencias de esbeltez local para distintos miembros y en general.

<b>Porcentaje de esbeltez local con respecto a esbeltez límite</b>				
<b>Intervalo</b>	<b>General</b>	<b>Columnas</b>	<b>Diag. Vert</b>	<b>Diag Planta</b>
	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia</b>
[0,0,1]	0	0	0	0
[0,1;0,2]	25	25	0	0
[0,2;0,3]	258	48	210	0
[0,3;0,4]	192	0	88	104
[0,4;0,5]	518	98	114	306
[0,5;0,6]	222	138	68	16
[0,6;0,7]	1843	215	108	1520
[0,7;0,8]	796	96	458	242
[0,8;0,9]	978	195	436	347
[0,9;1]	680	436	132	112
[1,1,1]	277	26	109	142
[1,1;1,2]	577	20	196	361
>1,2	478	129	0	349
<b>Total</b>	<b>6844</b>	<b>1426</b>	<b>1919</b>	<b>3499</b>
<b>Promedio</b>	<b>0,79</b>	<b>0,83</b>	<b>0,74</b>	<b>0,81</b>

Tabla A-11: Distribución de frecuencias de H/L para distintos tipos de miembro.

H/L	General	Columnas	Diagonal elev.	Diagonal Planta
]0;0,017]	0	0	0	0
]0,017;0,033]	729	11	214	504
]0,033;0,05]	2513	139	620	1754
]0,05;0,067]	1796	307	451	1038
]0,067;0,083]	522	165	230	127
]0,083;0,1]	475	219	196	60
]0,1;0,117]	134	64	66	4
]0,117;0,133]	137	113	12	12
]0,133;0,15]	274	114	160	0
]0,15;0,167]	85	85	0	0
]0,167;0,183]	31	31	0	0
]0,183;0,2]	47	47	0	0
]0,2;0,217]	54	54	0	0
]0,217;0,233]	12	12	0	0
]0,233;0,25]	20	20	0	0
]0,25;0,267]	3	3	0	0
]0,267;0,283]	0	0	0	0
]0,283;0,3]	34	34	0	0
]0,3;0,317]	0	0	0	0
]0,317;0,333]	4	4	0	0
]0,333;0]	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>6870</b>	<b>1422</b>	<b>1949</b>	<b>3499</b>
<b>promedio</b>	<b>0,064</b>	<b>0,107</b>	<b>0,064</b>	<b>0,047</b>

# Apéndice B: BASE DE DATOS EXTRAÍDOS DE PLANOS

En este apéndice se mostrarán los datos observados en cada proyecto. Para eso se enumerarán las columnas correspondientes con una breve descripción de cada una.

1. Edificio: Simplemente el nombre del edificio del cual se extrajeron los datos
2. Miembro: Puede ser columna, diagonal en elevación, o en planta.
3. Perfil: El nombre del perfil observado, HN50x121, por ejemplo.
4. H: La altura del perfil, en milímetros.
5. t: El espesor del alma, en milímetros.
6. B: El ancho del ala, en milímetros.
7. e: El espesor del ala, en milímetros.
8. Ag: El área gruesa del perfil, en milímetros cuadrados.
9. Ixx: La inercia en el eje fuerte, en centímetros elevados a la cuarta potencia.
10. Iyy: La inercia en el eje débil, en centímetros elevados a la cuarta potencia.
11. Rx: Radio de giro en el eje fuerte, en milímetros.
12. Ry: Radio de giro en el eje débil, en milímetros.
13. Cant.: Cantidad de elementos con las mismas características.
14. Lx: Luz de pandeo en el eje fuerte, en milímetros.
15. Ly: Luz de pandeo en el eje débil, en milímetros.
16. kx: Factor de longitud efectiva para el eje fuerte.
17. ky: Factor de longitud efectiva para el eje débil.
18.  $\lambda_x$ : Esbeltez global en el eje fuerte.
19.  $\lambda_y$ : Esbeltez global en el eje débil.
20.  $\lambda_f$ : Esbeltez local del ala.
21.  $\lambda_{ff}$ : Relación ancho espesor límite para el ala.
22. %: Porcentaje del punto 20 con respecto a 21.
23.  $\lambda_w$ : Esbeltez local del alma.
24.  $\lambda_{fw}$ : Relación ancho espesor límite para el alma.
25. %: Porcentaje del punto 23 con respecto al 24.

Tabla B-1: Datos proyecto 1, acero A36

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	t [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm <sup>2</sup> ]	Ixx [cm <sup>4</sup> ]	Iyy [cm <sup>4</sup> ]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
1- Molienda	Columna	HN40x160	400	12	400	20	20300	62500	21300	175	102	1	8900	8900	0,8	0,8	41	70	10,00	15,76	63%	30,00	42,93	70%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	3	8900	8900	0,8	0,8	41	68	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	4	4475	4475	0,65	0,65	17	28	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	4	4425	4425	0,8	0,8	20	34	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	8900	8900	0,8	0,8	41	68	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	4	4475	4475	0,65	0,65	17	28	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	4	4425	4425	0,8	0,8	20	34	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x160	400	12	400	20	20300	62500	21300	175	102	2	8900	8900	0,8	0,8	41	70	10,00	15,76	63%	30,00	42,93	70%
1- Molienda	Columna	HN40x160	400	12	400	20	20300	62500	21300	175	102	4	2700	2700	0,65	0,65	10	17	10,00	15,76	63%	30,00	42,93	70%
1- Molienda	Columna	HN40x160	400	12	400	20	20300	62500	21300	175	102	2	968	968	0,65	0,65	4	6	10,00	15,76	63%	30,00	42,93	70%
1- Molienda	Columna	HN40x160	400	12	400	20	20300	62500	21300	175	102	2	2532	2532	0,8	0,8	12	20	10,00	15,76	63%	30,00	42,93	70%
1- Molienda	Columna	HN20x54,8	200	8	200	14	6980	5190	1870	86	52	2	2700	2700	0,65	0,65	20	34	7,14	16,11	44%	21,50	42,93	50%
1- Molienda	Columna	HN20x54,8	200	8	200	14	6980	5190	1870	86	52	2	2700	2700	0,8	0,8	25	42	7,14	16,11	44%	21,50	42,93	50%
1- Molienda	Columna	HN20x54,8	200	8	200	14	6980	5190	1870	86	52	2	968	968	0,65	0,65	7	12	7,14	16,11	44%	21,50	42,93	50%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	8900	8900	0,8	0,8	41	68	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	968	968	0,65	0,65	4	6	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	4	2700	2700	0,65	0,65	10	17	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	2532	2532	0,8	0,8	12	19	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN20x54,8	200	8	200	14	6980	5190	1870	86	52	2	968	968	0,65	0,65	7	12	7,14	16,11	44%	21,50	42,93	50%
1- Molienda	Columna	HN20x54,8	200	8	200	14	6980	5190	1870	86	52	2	2700	2700	0,65	0,65	20	34	7,14	16,11	44%	21,50	42,93	50%
1- Molienda	Columna	HN20x54,8	200	8	200	14	6980	5190	1870	86	52	2	2700	2700	0,8	0,8	25	42	7,14	16,11	44%	21,50	42,93	50%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	8900	8900	0,8	0,8	41	68	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	4450	4450	0,8	0,8	20	34	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	4450	4450	0,65	0,65	17	28	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	4450	4450	0,8	0,8	20	34	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	4585	4585	0,65	0,65	17	28	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	4315	4315	0,8	0,8	20	33	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x160	400	12	400	20	20300	62500	21300	175	102	2	4585	4585	0,65	0,65	17	29	10,00	15,76	63%	30,00	42,93	70%
1- Molienda	Columna	HN40x160	400	12	400	20	20300	62500	21300	175	102	2	4315	4315	0,8	0,8	20	34	10,00	15,76	63%	30,00	42,93	70%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	4619	4619	0,65	0,65	17	29	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	4619	4619	0,8	0,8	21	35	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	4281	4281	0,8	0,8	20	33	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	8900	8900	0,8	0,8	41	68	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	2400	2400	0,8	0,8	11	18	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	1	8900	8900	0,8	0,8	41	68	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x160	400	12	400	20	20300	62500	21300	175	102	2	8900	8900	0,8	0,8	41	70	10,00	15,76	63%	30,00	42,93	70%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	8900	8900	0,8	0,8	41	68	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	4	2450	2450	0,65	0,65	9	15	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	6500	6500	0,8	0,8	30	50	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	2900	2900	0,65	0,65	11	18	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	2	3600	3600	0,8	0,8	17	27	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	4	8900	8900	0,8	0,8	41	68	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	4	8900	8900	0,8	0,8	41	68	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	4	4585	4585	0,65	0,65	17	28	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	4	4315	4315	0,8	0,8	20	33	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x160	400	12	400	20	20300	62500	21300	175	102	2	4585	4585	0,65	0,65	17	29	10,00	15,76	63%	30,00	42,93	70%
1- Molienda	Columna	HN40x160	400	12	400	20	20300	62500	21300	175	102	2	4315	4315	0,8	0,8	20	34	10,00	15,76	63%	30,00	42,93	70%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	4	8900	8900	0,8	0,8	41	68	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	T [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm2]	Ixx [cm4]	Iyy [cm4]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	4	8900	8900	0,8	0,8	41	68	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x160	400	12	400	20	20300	62500	21300	175	102	2	8900	8900	0,8	0,8	41	70	10,00	15,76	63%	30,00	42,93	70%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	8	2900	2900	0,65	0,65	11	18	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Columna	HN40x214	400	14	400	28	27200	82400	29900	174	105	4	2900	2900	0,8	0,8	13	22	7,14	16,11	44%	24,57	42,93	57%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN25x57,7	250	6	250	12	7360	9080	3130	111	65	4	5684	5684	1	1	51	87	10,42	14,89	70%	37,67	42,93	88%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN25x57,7	250	6	250	12	7360	9080	3130	111	65	4	6359	6359	1	1	57	98	10,42	14,89	70%	37,67	42,93	88%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN25x57,7	250	6	250	12	7360	9080	3130	111	65	4	4759	4759	1	1	43	73	10,42	14,89	70%	37,67	42,93	88%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN25x57,7	250	6	250	12	7360	9080	3130	111	65	8	6538	6538	1	1	59	100	10,42	14,89	70%	37,67	42,93	88%
1- Molienda	Diagonal Elev.	XL16x14.1x6	160	6	160	6	1870	177	222	31	38	12	3800	3800	1	1	124	100	12,33	10,66	116%	12,33	10,66	116%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN20x33,8	200	6	200	8	4300	3260	1070	87	50	4	3555	3555	1	1	41	71	12,50	15,67	80%	30,67	42,93	71%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN20x33,8	200	6	200	8	4300	3260	1070	87	50	4	3541	3541	1	1	41	71	12,50	15,67	80%	30,67	42,93	71%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN20x33,8	200	6	200	8	4300	3260	1070	87	50	4	3555	3555	1	1	41	71	12,50	15,67	80%	30,67	42,93	71%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN20x33,8	200	6	200	8	4300	3260	1070	87	50	4	3541	3541	1	1	41	71	12,50	15,67	80%	30,67	42,93	71%
1- Molienda	Diagonal Elev.	XL16x14.1x6	160	6	160	6	1870	177	222	31	38	8	1731	1731	1	1	56	46	12,33	10,66	116%	12,33	10,66	116%
1- Molienda	Diagonal Elev.	XL16x14.1x6	160	6	160	6	1870	177	222	31	38	8	1731	1731	1	1	56	46	12,33	10,66	116%	12,33	10,66	116%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN25x57,7	250	6	250	12	7360	9080	3130	111	65	4	3510	3510	1	1	32	54	10,42	14,89	70%	37,67	42,93	88%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN25x57,7	250	6	250	12	7360	9080	3130	111	65	2	3587	3587	1	1	32	55	10,42	14,89	70%	37,67	42,93	88%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN25x57,7	250	6	250	12	7360	9080	3130	111	65	2	3587	3587	1	1	32	55	10,42	14,89	70%	37,67	42,93	88%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN20x33,8	200	6	200	8	4300	3260	1070	87	50	2	4167	4167	1	1	48	84	12,50	15,67	80%	30,67	42,93	71%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN20x33,8	200	6	200	8	4300	3260	1070	87	50	2	4456	4456	1	1	51	89	12,50	15,67	80%	30,67	42,93	71%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN25x57,7	250	6	250	12	7360	9080	3130	111	65	4	3510	3510	1	1	32	54	10,42	14,89	70%	37,67	42,93	88%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN25x57,7	250	6	250	12	7360	9080	3130	111	65	2	3587	3587	1	1	32	55	10,42	14,89	70%	37,67	42,93	88%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN25x57,7	250	6	250	12	7360	9080	3130	111	65	2	3587	3587	1	1	32	55	10,42	14,89	70%	37,67	42,93	88%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN25x57,7	250	6	250	12	7360	9080	3130	111	65	2	4317	4317	1	1	39	66	10,42	14,89	70%	37,67	42,93	88%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN25x57,7	250	6	250	12	7360	9080	3130	111	65	2	4380	4380	1	1	39	67	10,42	14,89	70%	37,67	42,93	88%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN20x39,9	200	6	200	8	4300	3260	1070	87	50	12	4318	4318	1	1	50	87	12,50	15,67	80%	30,67	42,93	71%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN25x117	250	12	250	25	14900	16700	6510	106	66	4	7126	7126	1	1	67	108	5,00	16,11	31%	16,67	42,93	39%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN25x117	250	12	250	25	14900	16700	6510	106	66	4	7182	7182	1	1	68	109	5,00	16,11	31%	16,67	42,93	39%
1- Molienda	Diagonal Elev.	HN35x102	350	10	350	14	13000	30500	10000	153	88	4	9305	9305	1	1	61	106	12,50	15,48	81%	32,20	42,93	75%
1- Molienda	Diagonal Planta	L12,5x14,9	125	8	125	8	1890	291	291	39	39	120	2916,5	2916,5	1	1	74	74	14,63	10,66	137%	14,63	10,66	137%
1- Molienda	Diagonal Planta	L8x7,07	80	6	80	6	901	56	56	25	25	2	2631,5	2631,5	1	1	105	105	12,33	10,66	116%	12,33	10,66	116%
1- Molienda	Diagonal Planta	L12,5x14,9	125	8	125	8	1890	291	291	39	39	60	1463	1463	1	1	37	37	14,63	10,66	137%	14,63	10,66	137%
1- Molienda	Diagonal Planta	L8x7,07	80	6	80	6	901	56	56	25	25	80	1900	1900	1	1	76	76	12,33	10,66	116%	12,33	10,66	116%
1- Molienda	Diagonal Planta	L5x2,93	50	4	50	4	374	9	9	16	16	20	1045	1045	1	1	67	67	11,50	10,66	108%	11,50	10,66	108%
1- Molienda	Diagonal Planta	L5x2,93	50	4	50	4	374	9	9	16	16	10	1425	1425	1	1	92	92	11,50	10,66	108%	11,50	10,66	108%
1- Molienda	Diagonal Planta	XL13x9,56	130	5	130	5	1220	82	103	26	29	20	2470	2470	1	1	95	85	12,00	10,66	113%	12,00	10,66	113%
1- Molienda	Diagonal Planta	XL13x9,56	130	5	130	5	1220	82	103	26	29	35	1900	1900	1	1	73	66	12,00	10,66	113%	12,00	10,66	113%
1- Molienda	Diagonal Planta	XL13x9,56	130	5	130	5	1220	82	103	26	29	4	1235	1235	1	1	48	43	12,00	10,66	113%	12,00	10,66	113%
1- Molienda	Diagonal Planta	L8x4,82	80	4	80	4	614	39	39	25	25	24	2375	2375	1	1	94	94	19,00	10,66	178%	19,00	10,66	178%
1- Molienda	Diagonal Planta	L8x7,07	80	6	80	6	901	56	56	25	25	26	1900	1900	1	1	76	76	12,33	10,66	116%	12,33	10,66	116%
1- Molienda	Diagonal Planta	L8x7,07	80	6	80	6	901	56	56	25	25	26	1900	1900	1	1	76	76	12,33	10,66	116%	12,33	10,66	116%
1- Molienda	Diagonal Planta	L8x7,07	80	6	80	6	901	56	56	25	25	40	2090	2090	1	1	84	84	12,33	10,66	116%	12,33	10,66	116%
1- Molienda	Diagonal Planta	L8x7,07	80	6	80	6	901	56	56	25	25	20	1425	1425	1	1	57	57	12,33	10,66	116%	12,33	10,66	116%
1- Molienda	Diagonal Planta	L8x4,82	80	4	80	4	614	39	39	25	25	30	1900	1900	1	1	75	75	19,00	10,66	178%	19,00	10,66	178%
2- Filtros	Columna	IE60x235,6	600	14	400	28	30016	202151	29879	260	100	16	2450	2450	0,65	0,65	6	16	7,14	14,77	48%	38,86	42,93	91%
2- Filtros	Columna	IE60x235,6	600	14	400	28	30016	202151	29879	260	100	16	15973	15973	0,65	0,65	40	104	7,14	14,77	48%	38,86	42,93	91%
2- Filtros	Columna	HN25x50,1	250	6	250	10	6380	7810	2600	111	64	8	6920	6920	0,80	0,80	50	87	12,50	14,82	84%	38,33	42,93	89%
2- Filtros	Columna	HN25x50,1	250	6	250	10	6380	7810	2600	111	64	12	2650	2650	0,65	0,65	16	27	12,50	14,82	84%	38,33	42,93	89%
2- Filtros	Columna	HN30x64,7	300	8	300	10	8240	14100	4500	131	74	12	2650	2650	0,65	0,65	13	23	15,00	15,16	99%	35,00	42,93	82%
2- Filtros	Columna	HN25x50,1	250	6	250	10	6380	7810	2600	111	64	4	4370	4370	0,80	0,80	32	55	12,50	14,82	84%	38,33	42,93	89%
2- Filtros	Columna	HN25x50,1	250	6	250	10	6380	7810	2600	111	64	4	2550	2550	0,65	0,65	15	26	12,50	14,82	84%	38,33	42,93	89%
2- Filtros	Columna	HN25x50,1	250	6	250	10	6380	7810	2600	111	64	4	2550	2550	0,80	0,80	18	32	12,50	14,82	84%	38,33	42,93	89%

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	T [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm <sup>2</sup> ]	Ixx [cm <sup>4</sup> ]	Iyy [cm <sup>4</sup> ]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
2- Filtros	Diagonal Elev.	[]20x20x35,8	200	6	200	6	4656	2923	2923	79	79	20	3016	3016	1,00	1,00	38	38	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
2- Filtros	Diagonal Elev.	[]20x20x35,8	200	6	200	6	4656	2923	2923	79	79	20	3168	3168	1,00	1,00	40	40	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
2- Filtros	Diagonal Elev.	[]20x20x35,8	200	6	200	6	4656	2923	2923	79	79	20	3140	3140	1,00	1,00	40	40	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
2- Filtros	Diagonal Elev.	[]25x25x59,5	250	8	250	8	7740	7567	7567	99	99	2	3016	3016	1,00	1,00	31	31	29,25	40,33	73%	29,25	40,33	73%
2- Filtros	Diagonal Elev.	[]25x25x59,5	250	8	250	8	7740	7567	7567	99	99	2	3168	3168	1,00	1,00	32	32	29,25	40,33	73%	29,25	40,33	73%
2- Filtros	Diagonal Elev.	[]25x25x59,5	250	8	250	8	7740	7567	7567	99	99	2	3140	3140	1,00	1,00	32	32	29,25	40,33	73%	29,25	40,33	73%
2- Filtros	Diagonal Elev.	[]20x20x35,8	200	6	200	6	4656	2923	2923	79	79	4	1901	1901	1,00	1,00	24	24	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
2- Filtros	Diagonal Planta	L8x7,07	80	6	80	6	901	56	56	25	25	42	1824	1824	1	1	73	73	12,33	10,66	116%	12,33	10,66	116%
2- Filtros	Diagonal Planta	L8x7,07	80	6	80	6	901	56	56	25	25	50	1425	1425	1	1	57	57	12,33	10,66	116%	12,33	10,66	116%
2- Filtros	Diagonal Planta	XL20x15,1	200	5	200	5	1920	307	355	40	43	12	3705	3705	1	1	93	86	19,00	10,66	178%	19,00	10,66	178%
2- Filtros	Diagonal Planta	XL20x15,1	200	5	200	5	1920	307	355	40	43	22	3135	3135	1	1	78	73	19,00	10,66	178%	19,00	10,66	178%

Tabla B-2: Datos proyecto 2, acero A36

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	T [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm <sup>2</sup> ]	Ixx [cm <sup>4</sup> ]	Iyy [cm <sup>4</sup> ]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
1- Chancado peb.	Columna	HN50x462	500	22	500	50	58800	266000	104000	213	133	6	6740	6740	0,80	0,80	25	41	5,00	16,11	31%	18,18	42,93	42%
1- Chancado peb.	Columna	HN50x462	500	22	500	50	58800	266000	104000	213	133	6	3500	3500	0,65	0,65	11	17	5,00	16,11	31%	18,18	42,93	42%
1- Chancado peb.	Columna	HN50x462	500	22	500	50	58800	266000	104000	213	133	6	5859	5859	0,65	0,65	18	29	5,00	16,11	31%	18,18	42,93	42%
1- Chancado peb.	Columna	HN50x462	500	22	500	50	58800	266000	104000	213	133	6	5440	5440	0,65	0,65	17	27	5,00	16,11	31%	18,18	42,93	42%
1- Chancado peb.	Columna	IE30x49	300	8	200	10	6240	9877	1335	126	46	6	1500	1500	0,65	0,65	8	21	10,00	15,16	66%	35,00	42,93	82%
1- Chancado peb.	Columna	IE30x49	300	8	200	10	6240	9877	1335	126	46	6	3513	3513	0,65	0,65	18	49	10,00	15,16	66%	35,00	42,93	82%
1- Chancado peb.	Columna	IE30x49	300	8	200	10	6240	9877	1335	126	46	6	5624	5624	0,65	0,65	29	79	10,00	15,16	66%	35,00	42,93	82%
1- Chancado peb.	Columna	IE40x91,7	400	10	250	16	11680	33661	4170	170	60	16	6740	2250	0,65	0,65	26	24	7,81	14,97	52%	36,80	42,93	86%
1- Chancado peb.	Columna	IE40x91,7	400	10	250	16	11680	33661	4170	170	60	16	8128	2710	0,65	0,65	31	29	7,81	14,97	52%	36,80	42,93	86%
1- Chancado peb.	Columna	IN25x54,4	250	6	200	14	6930	8350	1870	110	52	16	6671	2551	0,65	0,65	40	32	7,14	14,95	48%	37,00	42,93	86%
1- Chancado peb.	Columna	IE40x91,7	400	10	250	16	11680	33661	4170	170	60	3	6750	6750	1,20	0,65	48	73	7,81	14,97	52%	36,80	42,93	86%
1- Chancado peb.	Columna	IE40x91,7	400	10	250	16	11680	33661	4170	170	60	3	4359	3500	1,20	0,65	31	38	7,81	14,97	52%	36,80	42,93	86%
1- Chancado peb.	Columna	IE40x91,7	400	10	250	16	11680	33661	4170	170	60	3	1500	4359	2,00	0,65	18	47	7,81	14,97	52%	36,80	42,93	86%
1- Chancado peb.	Columna	IE40x91,7	400	10	250	16	11680	33661	4170	170	60	3	1500	1500	2,00	0,65	18	16	7,81	14,97	52%	36,80	42,93	86%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	HN35x212	350	16	350	32	27000	59900	22900	149	92	4	4616	4616	1	1	31	50	5,47	16,11	34%	17,88	42,93	42%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	HN35x113	350	10	350	16	14400	33900	11400	153	89	4	3717	3717	1	1	24	42	10,94	15,53	70%	31,80	42,93	74%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	HN35x113	350	10	350	16	14400	33900	11400	153	89	4	4697	4697	1	1	31	53	10,94	15,53	70%	31,80	42,93	74%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	IE30x77,2	300	10	200	18	9840	15867	2402	127	49	2	3374	3374	1	1	27	68	5,56	16,11	34%	26,40	42,93	61%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	HN20x33,8	200	6	200	8	4300	3260	1070	87	50	2	2458	2458	1	1	28	49	12,50	15,67	80%	30,67	42,93	71%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	IE30x55	300	8	200	12	7008	11361	1601	127	48	2	4265	4265	1	1	33	89	8,33	15,22	55%	34,50	42,93	80%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	IN20x13,8	200	4	100	5	1760	1180	83	82	22	2	4265	4265	1	1	52	196	10,00	14,05	71%	47,50	42,93	111%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	IE30x55	300	8	200	12	7008	11361	1601	127	48	2	4616	4616	1	1	36	97	8,33	15,22	55%	34,50	42,93	80%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	IE30x55	300	8	200	12	7008	11361	1601	127	48	2	5095	5095	1	1	40	107	8,33	15,22	55%	34,50	42,93	80%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	IN25x54,4	250	6	200	14	6930	8350	1870	110	52	2	4593	4593	1	1	42	88	7,14	14,95	48%	37,00	42,93	86%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	HN35x212	350	16	350	32	27000	59900	22900	149	92	4	4616	4616	1	1	31	50	5,47	16,11	34%	17,88	42,93	42%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	HN35x113	350	10	350	16	14400	33900	11400	153	89	4	3717	3717	1	1	24	42	10,94	15,53	70%	31,80	42,93	74%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	HN35x113	350	10	350	16	14400	33900	11400	153	89	4	4697	4697	1	1	31	53	10,94	15,53	70%	31,80	42,93	74%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	IE30x77,2	300	10	200	18	9840	15867	2402	127	49	2	3374	3374	1	1	27	68	5,56	16,11	34%	26,40	42,93	61%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	HN20x33,8	200	6	200	8	4300	3260	1070	87	50	2	2458	2458	1	1	28	49	12,50	15,67	80%	30,67	42,93	71%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	IE30x55	300	8	200	12	7008	11361	1601	127	48	2	4265	4265	1	1	33	89	8,33	15,22	55%	34,50	42,93	80%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	IN20x13,8	200	4	100	5	1760	1180	83	82	22	2	4265	4265	1	1	52	196	10,00	14,05	71%	47,50	42,93	111%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	IE30x49	300	8	200	10	6240	9877	1335	126	46	2	5095	5095	1	1	41	110	10,00	15,16	66%	35,00	42,93	82%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	IN25x54,4	250	6	200	14	6930	8350	1870	110	52	4	4593	4593	1	1	42	88	7,14	14,95	48%	37,00	42,93	86%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	IE30x49	300	8	200	10	6240	9877	1335	126	46	8	4616	4616	1	1	37	100	10,00	15,16	66%	35,00	42,93	82%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	IE30x49	300	8	200	10	6240	9877	1335	126	46	8	5095	5095	1	1	41	110	10,00	15,16	66%	35,00	42,93	82%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	IN25x54,4	250	6	200	14	6930	8350	1870	110	52	16	4593	4593	1	1	42	88	7,14	14,95	48%	37,00	42,93	86%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	HN40X190	400	12	400	25	24200	74700	26700	176	105	6	7421	7421	1	1	42	71	8,00	15,87	50%	29,17	42,93	68%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	HN40X190	400	12	400	25	24200	74700	26700	176	105	6	5014	5014	1	1	29	48	8,00	15,87	50%	29,17	42,93	68%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	HN40X190	400	12	400	25	24200	74700	26700	176	105	6	6713	6713	1	1	38	64	8,00	15,87	50%	29,17	42,93	68%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	IE30x77,2	300	10	200	18	9840	15867	2402	127	49	4	3665	3665	1	1	29	74	5,56	16,11	34%	26,40	42,93	61%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	HN20x33,8	200	6	200	8	4300	3260	1070	87	50	4	2129	2129	1	1	24	43	12,50	15,67	80%	30,67	42,93	71%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	IE30x49	300	8	200	10	6240	9877	1335	126	46	4	3265	3265	1	1	26	71	10,00	15,16	66%	35,00	42,93	82%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	IN20x13,8	200	4	100	5	1760	1180	83	82	22	4	3265	3265	1	1	40	150	10,00	14,05	71%	47,50	42,93	111%
1- Chancado peb.	Diagonal Elev.	XL8x19,3	160	8	160	8	2450	229	309	31	41	4	2483	2483	1	1	81	61	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	L10x15,04	100	10	100	10	1920	177	177	30	30	12	1710	1710	1	1	56	56	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	L10x15,04	100	10	100	10	1920	177	177	30	30	13	1900	1900	1	1	63	63	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	L10x15,04	100	10	100	10	1920	177	177	30	30	20	1900	1900	1	1	63	63	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	L10x15,04	100	10	100	10	1920	177	177	30	30	90	1900	1900	1	1	63	63	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	L10x15,04	100	10	100	10	1920	177	177	30	30	44	2660	2660	1	1	88	88	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	T [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm2]	Ixx [cm4]	Iyy [cm4]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	L10x15,04	100	10	100	10	1920	177	177	30	30	16	2280	2280	1	1	75	75	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	L10x15,04	100	10	100	10	1920	177	177	30	30	32	1805	1805	1	1	59	59	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	L10x15,04	100	10	100	10	1920	177	177	30	30	28	1995	1995	1	1	66	66	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	L10x15,04	100	10	100	10	1920	177	177	30	30	8	3610	3610	1	1	119	119	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	L12,5x18,17	125	10	125	10	2340	353	353	39	39	18	2850	2850	1	1	73	73	11,50	12,96	89%	11,50	12,96	89%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	L12,5x18,17	125	10	125	10	2340	353	353	39	39	18	3040	3040	1	1	78	78	11,50	12,96	89%	11,50	12,96	89%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	L12,5x18,17	125	10	125	10	2340	353	353	39	39	18	3040	3040	1	1	78	78	11,50	12,96	89%	11,50	12,96	89%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	L8x9,63	80	8	80	8	1230	72	72	24	24	40	1330	1330	1	1	55	55	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	L8x9,63	80	8	80	8	1230	72	72	24	24	12	1995	1995	1	1	82	82	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	XL20x30,1	200	10	200	10	3830	553	776	38	45	8	4750	4750	1	1	125	106	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	XL20x30,1	200	10	200	10	3830	553	776	38	45	48	4560	4560	1	1	120	101	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	XL20x30,1	200	10	200	10	3830	553	776	38	45	48	4560	4560	1	1	120	101	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	XL20x30,1	200	10	200	10	3830	553	776	38	45	8	4655	4655	1	1	123	103	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
1- Chancado peb.	Diagonal Planta	XL13x11,8	130	6	130	6	1510	94	127	25	29	8	2660	2660	1	1	106	92	9,83	12,96	76%	9,83	12,96	76%
2- Molienda	Columna	IE140x609	1400	32	500	35	77560	2258000	73280	540	97	8	24200	5678	1,2	0,65	54	38	7,14	14,52	49%	41,56	42,93	97%
2- Molienda	Columna	IE150X767	1500	35	600	40	97700	3394000	144500	589	122	8	15850	8228	1,2	0,65	32	44	7,50	14,61	51%	40,57	42,93	95%
2- Molienda	Columna	IE150X767	1500	35	600	40	97700	3394000	144500	589	122	8	8350	8250	1,2	0,65	17	44	7,50	14,61	51%	40,57	42,93	95%
2- Molienda	Columna	IE140x609	1400	32	500	35	77560	2258000	73280	540	97	8	24200	10800	1,2	0,65	54	72	7,14	14,52	49%	41,56	42,93	97%
2- Molienda	Columna	IE150X767	1500	35	600	40	97700	3394000	144500	589	122	8	9450	9450	1,2	0,8	19	62	7,50	14,61	51%	40,57	42,93	95%
2- Molienda	Columna	IE140x609	1400	32	500	35	77560	2258000	73280	540	97	6	12700	6350	1,2	0,8	28	52	7,14	14,52	49%	41,56	42,93	97%
2- Molienda	Columna	IE140x609	1400	32	500	35	77560	2258000	73280	540	97	2	9900	9450	1,2	0,8	22	78	7,14	14,52	49%	41,56	42,93	97%
2- Molienda	Columna	IE140x609	1400	32	500	35	77560	2258000	73280	540	97	8	9900	7600	1,2	0,8	22	63	7,14	14,52	49%	41,56	42,93	97%
2- Molienda	Columna	IE90x308	900	20	400	28	39280	526200	29920	366	87	16	4545	4545	1,2	0,65	15	34	7,14	14,47	49%	42,20	42,93	98%
2- Molienda	Columna	IE90x308	900	20	400	28	39280	526200	29920	366	87	8	10545	10545	1,2	0,65	35	79	7,14	14,47	49%	42,20	42,93	98%
2- Molienda	Columna	HN50x462	500	22	500	50	58800	266000	104000	213	133	8	10600	10600	1,2	0,8	60	64	5,00	16,11	31%	18,18	42,93	42%
2- Molienda	Columna	HN50x462	500	22	500	50	58800	266000	104000	213	133	8	8350	8350	2	0,65	79	41	5,00	16,11	31%	18,18	42,93	42%
2- Molienda	Diagonal Elev.	WT5x16,5	124	7	202	11	3013	311		32,1	50,1	22	5054	5054	1	1	61	50	9,18	16,11	57%	15,33	21,61	71%
2- Molienda	Diagonal Elev.	WT5x16,5	124	7	202	11	3013	311		32,1	50,1	16	4985	4985	1	1	101	55	9,18	16,11	57%	15,33	21,61	71%
2- Molienda	Diagonal Elev.	WT5x16,5	124	7	202	11	3013	311		32,1	50,1	2	6199	6199	1	1	100	54	9,18	16,11	57%	15,33	21,61	71%
2- Molienda	Diagonal Elev.	WT5x44	138	15	262	25	8245	856		32,2	67,4	6	5111	5111	1	1	124	68	5,22	16,11	32%	7,33	21,61	34%
2- Molienda	Diagonal Elev.	WT5x44	138	15	262	25	8245	856		32,2	67,4	6	5232	5232	1	1	76	56	5,22	16,11	32%	7,33	21,61	34%
2- Molienda	Diagonal Elev.	WT5x16,5	124	7	202	11	3013	311		32,1	50,1	6	5792	5792	1	1	78	57	9,18	16,11	57%	15,33	21,61	71%
2- Molienda	Diagonal Elev.	WT5x24,5	127	9	254	14	4573	433		30,8	64,7	6	5799	5799	1	1	116	63	8,94	16,11	56%	13,06	21,61	60%
2- Molienda	Diagonal Elev.	WT5x44	138	15	262	25	8245	856		32,2	67,4	10	6199	6199	1	1	90	66	5,22	16,11	32%	7,33	21,61	34%
2- Molienda	Diagonal Elev.	WT5x16,5	124	7	202	11	3013	311		32,1	50,1	4	6585	6585	1	1	92	68	9,18	16,11	57%	15,33	21,61	71%
2- Molienda	Diagonal Elev.	WT5x16,5	124	7	202	11	3013	311		32,1	50,1	4	5054	5054	1	1	131	72	9,18	16,11	57%	15,33	21,61	71%
2- Molienda	Diagonal Elev.	WT5x16,5	124	7	202	11	3013	311		32,1	50,1	4	5054	5054	1	1	101	55	9,18	16,11	57%	15,33	21,61	71%
2- Molienda	Diagonal Elev.	WT5x44	138	15	262	25	8245	856		32,2	67,4	4	6678	6678	1	1	101	55	5,22	16,11	32%	7,33	21,61	34%
2- Molienda	Diagonal Elev.	WT7x45	178	11	368	18	8384	1495		42,2	94,4	2	6355	6355	1	1	99	73	10,22	16,11	63%	14,29	21,61	66%
2- Molienda	Diagonal Elev.	WT7x45	178	11	368	18	8384	1495		42,2	94,4	2	5437	5437	1	1	67	53	10,22	16,11	63%	14,29	21,61	66%
2- Molienda	Diagonal Elev.	WT7x45	178	11	368	18	8384	1495		42,2	94,4	2	5650	5650	1	1	58	45	10,22	16,11	63%	14,29	21,61	66%
2- Molienda	Diagonal Elev.	WT5x16,5	124	7	202	11	3013	311		32,1	50,1	8	5864	5864	1	1	60	47	9,18	16,11	57%	15,33	21,61	71%
2- Molienda	Diagonal Elev.	WT7x54,5	182	13	371	22	10242	1849		42,5	95,6	8	6551	6551	1	1	117	64	8,51	16,11	53%	12,05	21,61	56%
2- Molienda	Diagonal Planta	L6,5x5,91	65	6	65	6	753	29	29	20	20	16	1900	1900	1	1	96	96	9,83	10,66	92%	9,83	10,66	92%
3- Tolva Calcina	Columna	HE80x456	800	18	800	28	58192	729600	239000	354	203	18	5000	5000	0,8	0,8	11	20	14,29	14,54	98%	41,33	42,93	96%
3- Tolva Calcina	Columna	HE80x456	800	18	800	28	58192	729600	239000	354	203	18	5300	5300	0,65	0,65	10	17	14,29	14,54	98%	41,33	42,93	96%
3- Tolva Calcina	Columna	HE80x456	800	18	800	28	58192	729600	239000	354	203	18	5900	5900	0,65	0,65	11	19	14,29	14,54	98%	41,33	42,93	96%
3- Tolva Calcina	Columna	HE80x456	800	18	800	28	58192	729600	239000	354	203	6	8150	4450	0,65	0,65	15	14	14,29	14,54	98%	41,33	42,93	96%
3- Tolva Calcina	Columna	HN40x123	400	12	400	14	15700	46900	14900	173	97	18	5750	7750	0,65	0,65	22	52	14,29	15,63	91%	31,00	42,93	72%
3- Tolva Calcina	Columna	HN40x123	400	12	400	14	15700	46900	14900	173	97	18	4080	6080	0,65	0,65	15	41	14,29	15,63	91%	31,00	42,93	72%

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	T [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm2]	Ixx [cm4]	Iyy [cm4]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
3- Tolva Calcina	Columna	IE100x719	1000	40	450	63	91660	1469000	96150	400	102	6	4500	4500	0,65		7	0	3,57	16,11	22%	21,85	42,93	51%
3- Tolva Calcina	Columna	IE100x719	1000	40	450	63	91660	1469000	96150	400	102	6	4450	4450	0,65		7	0	3,57	16,11	22%	21,85	42,93	51%
3- Tolva Calcina	Columna	IE100x719	1000	40	450	63	91660	1469000	96150	400	102	6	3520	3520	0,65		6	0	3,57	16,11	22%	21,85	42,93	51%
3- Tolva Calcina	Columna	HN30X115	300	10	300	20	14600	25000	9000	131	79	6	10760	5730	0,65	0,65	53	47	7,50	16,11	47%	26,00	42,93	61%
3- Tolva Calcina	Columna	HN30X115	300	10	300	20	14600	25000	9000	131	79	6	5300	5300	0,8	1,2	32	81	7,50	16,11	47%	26,00	42,93	61%
3- Tolva Calcina	Columna	HN25x87,4	250	10	250	18	11100	13000	4690	108	65	7	5000	2500	1,2	0,65	55	25	6,94	16,11	43%	21,40	42,93	50%
3- Tolva Calcina	Columna	HN25x87,4	250	10	250	18	11100	13000	4690	108	65	3	2700	2500	1,2	0,65	30	25	6,94	16,11	43%	21,40	42,93	50%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN35x102	350	10	350	14	13000	30500	10000	153	88	8	3195	3195	1	1	21	36	12,50	15,48	81%	32,20	42,93	75%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN35x102	350	10	350	14	13000	30500	10000	153	88	8	3303	3303	1	1	22	38	12,50	15,48	81%	32,20	42,93	75%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN35x102	350	10	350	14	13000	30500	10000	153	88	8	3525	3525	1	1	23	40	12,50	15,48	81%	32,20	42,93	75%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN35x102	350	10	350	14	13000	30500	10000	153	88	8	4774	4774	1	1	31	54	12,50	15,48	81%	32,20	42,93	75%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN35x102	350	10	350	14	13000	30500	10000	153	88	8	5320	5320	1	1	35	61	12,50	15,48	81%	32,20	42,93	75%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN30x92,2	300	8	300	16	11700	20700	7200	133	78	8	4774	4774	1	1	36	61	9,38	15,33	61%	33,50	42,93	78%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN30x92,2	300	8	300	16	11700	20700	7200	133	78	8	5320	5320	1	1	40	68	9,38	15,33	61%	33,50	42,93	78%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN30x64,7	300	8	300	10	8240	14100	4500	131	74	8	4774	4774	1	1	36	65	15,00	15,16	99%	35,00	42,93	82%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN30x64,7	300	8	300	10	8240	14100	4500	131	74	8	5320	5320	1	1	41	72	15,00	15,16	99%	35,00	42,93	82%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN20x33,8	200	6	200	8	4300	3260	1070	87	50	8	2767	2767	1	1	32	55	12,50	15,67	80%	30,67	42,93	71%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN20x33,8	200	6	200	8	4300	3260	1070	87	50	8	3031	3031	1	1	35	61	12,50	15,67	80%	30,67	42,93	71%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN20x33,8	200	6	200	8	4300	3260	1070	87	50	12	4897	4897	1	1	56	98	12,50	15,67	80%	30,67	42,93	71%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	XL10x24,4	200	8	200	8	3100	460	585	39	49	12	4333	4333	1	1	112	88	11,50	10,66	108%	11,50	10,66	108%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN35x113	350	10	350	16	14400	33900	11400	153	89	18	6112	6112	1	1	40	69	10,94	15,53	70%	31,80	42,93	74%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN35x113	350	10	350	16	14400	33900	11400	153	89	18	6337	6337	1	1	41	71	10,94	15,53	70%	31,80	42,93	74%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN40x123	400	12	400	14	15700	46900	14900	173	97	12	6798	6798	1	1	39	70	14,29	15,63	91%	31,00	42,93	72%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN35x113	350	10	350	16	14400	33900	11400	153	89	12	5212	5212	1	1	34	59	10,94	15,53	70%	31,80	42,93	74%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN35x113	350	10	350	16	14400	33900	11400	153	89	12	5716	5716	1	1	37	64	10,94	15,53	70%	31,80	42,93	74%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	XL10X35,7	200	12	200	12	4540	655	937	38	52	2	4522	4522	1	1	119	87	7,33	10,66	69%	7,33	10,66	69%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	XL10X35,7	200	12	200	12	4540	655	937	38	52	2	4598	4598	1	1	121	88	7,33	10,66	69%	7,33	10,66	69%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	XL10X35,7	200	12	200	12	4540	655	937	38	52	4	4524	4524	1	1	119	87	7,33	10,66	69%	7,33	10,66	69%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	XL10X35,7	200	12	200	12	4540	655	937	38	52	2	4437	4437	1	1	117	85	7,33	10,66	69%	7,33	10,66	69%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	XL10X35,7	200	12	200	12	4540	655	937	38	52	2	4616	4616	1	1	122	89	7,33	10,66	69%	7,33	10,66	69%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	XL10X35,7	200	12	200	12	4540	655	937	38	52	2	4523	4523	1	1	119	87	7,33	10,66	69%	7,33	10,66	69%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN30x128	300	12	300	22	16300	27200	9900	129	78	4	6919	6919	1	1	54	89	6,82	16,11	42%	21,33	42,93	50%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN30x128	300	12	300	22	16300	27200	9900	129	78	4	6596	6596	1	1	51	85	6,82	16,11	42%	21,33	42,93	50%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN25x87,4	250	10	250	18	11100	13000	4690	108	65	4	7594	7594	1	1	70	117	6,94	16,11	43%	21,40	42,93	50%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN25x87,4	250	10	250	18	11100	13000	4690	108	65	4	2871	2871	1	1	27	44	6,94	16,11	43%	21,40	42,93	50%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN25x87,4	250	10	250	18	11100	13000	4690	108	65	4	2782	2782	1	1	26	43	6,94	16,11	43%	21,40	42,93	50%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	HN25x87,4	250	10	250	18	11100	13000	4690	108	65	4	2667	2667	1	1	25	41	6,94	16,11	43%	21,40	42,93	50%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	XL8x19,3	160	8	160	8	2450	229	309	31	41	4	3029	3029	1	1	99	74	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	XL8x19,3	160	8	160	8	2450	229	309	31	41	4	3298	3298	1	1	108	80	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	XL8x19,3	160	8	160	8	2450	229	309	31	41	2	2660	2660	1	1	87	65	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	XL8x19,3	160	8	160	8	2450	229	309	31	41	2	2274	2274	1	1	74	55	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	XL8x19,3	160	8	160	8	2450	229	309	31	41	2	2201	2201	1	1	72	54	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	XL8x19,3	160	8	160	8	2450	229	309	31	41	10	2214	2214	1	1	72	54	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
3- Tolva Calcina	Diagonal Elev.	XL8x19,3	160	8	160	8	2450	229	309	31	41	2	2647	2647	1	1	87	65	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
3- Tolva Calcina	Diagonal Planta	L6,5x5,91	65	6	65	6	753	29	29	20	20	80	1140	1140	1	1	58	58	9,83	12,96	76%	9,83	12,96	76%
3- Tolva Calcina	Diagonal Planta	L6,5x5,91	65	6	65	6	753	29	29	20	20	14	1710	1710	1	1	87	87	9,83	12,96	76%	9,83	12,96	76%
3- Tolva Calcina	Diagonal Planta	L6,5x5,91	65	6	65	6	753	29	29	20	20	38	1520	1520	1	1	77	77	9,83	12,96	76%	9,83	12,96	76%
3- Tolva Calcina	Diagonal Planta	L8x9,63	80	8	80	8	1230	72	72	24	24	340	2185	2185	1	1	90	90	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
3- Tolva Calcina	Diagonal Planta	L8x9,63	80	8	80	8	1230	72	72	24	24	360	1520	1520	1	1	63	63	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
3- Tolva Calcina	Diagonal Planta	L8x9,63	80	8	80	8	1230	72	72	24	24	270	1710	1710	1	1	71	71	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	T [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm <sup>2</sup> ]	Ixx [cm <sup>4</sup> ]	Iyy [cm <sup>4</sup> ]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
3- Tolva Calcina	Diagonal Planta	L8x9,63	80	8	80	8	1230	72	72	24	24	20	2090	2090	1	1	86	86	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
3- Tolva Calcina	Diagonal Planta	L8x9,63	80	8	80	8	1230	72	72	24	24	27	2185	2185	1	1	90	90	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
3- Tolva Calcina	Diagonal Planta	XL20x24,4	200	8	200	8	3100	472	573	39	43	12	1663	1663	1	1	43	39	11,50	12,96	89%	11,50	12,96	89%
3- Tolva Calcina	Diagonal Planta	XL20x24,4	200	8	200	8	3100	472	573	39	43	48	2993	2993	1	1	77	70	11,50	12,96	89%	11,50	12,96	89%
3- Tolva Calcina	Diagonal Planta	XL20x30,1	200	10	200	10	3830	553	776	38	45	44	3705	3705	1	1	98	82	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%
3- Tolva Calcina	Diagonal Planta	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	283	31	34	32	2660	2660	1	1	86	78	9,00	12,96	69%	9,00	12,96	69%

Tabla B-3: Datos proyecto 3, Acero A36

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	T [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm <sup>2</sup> ]	Ixx [cm <sup>4</sup> ]	Iyy [cm <sup>4</sup> ]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
1- Taller de Camiones	Columna	IN45x83,3	450	8	300	12	10600	39700	5400	194	Comp	2	21300		1,2		132	0	12,50	13,65	92%	53,25	42,93	124%
1- Taller de Camiones	Columna	IN45x83,3	450	8	300	12	10600	39700	5400	194	Comp	1	12700		1,2		79	0	12,50	13,65	92%	53,25	42,93	124%
1- Taller de Camiones	Columna	IN45x83,3	450	8	300	12	10600	39700	5400	194	Comp	1	8250		1,2		51	0	12,50	13,65	92%	53,25	42,93	124%
1- Taller de Camiones	Columna	HN45x214	450	12	450	25	27300	108000	38000	199	Comp	3	21300		1,2		129	0	9,00	15,35	59%	33,33	42,93	78%
1- Taller de Camiones	Columna	HN45x214	450	12	450	25	27300	108000	38000	199	Comp	3	12700		1,2		77	0	9,00	15,35	59%	33,33	42,93	78%
1- Taller de Camiones	Columna	HN45x214	450	12	450	25	27300	108000	38000	199	Comp	3	8250		1,2		50	0	9,00	15,35	59%	33,33	42,93	78%
1- Taller de Camiones	Columna	IN45x83,3	450	8	300	12	10600	39700	5400	194	71	9	11500	4850	1,2	0,8	71	54	12,50	13,65	92%	53,25	42,93	124%
1- Taller de Camiones	Diagonal Elev.	XL20x35,7	200	12	200	12	4540	656	919	38	45	4	3852	3852	1	1	101	86	7,33	10,66	69%	7,33	10,66	69%
1- Taller de Camiones	Diagonal Elev.	XL20x35,7	200	12	200	12	4540	656	919	38	45	4	3529	3529	1	1	93	78	7,33	10,66	69%	7,33	10,66	69%
1- Taller de Camiones	Diagonal Elev.	XL20x35,7	200	12	200	12	4540	656	919	38	45	4	3420	3420	1	1	90	76	7,33	10,66	69%	7,33	10,66	69%

Tabla B-4: Datos proyecto 4, Acero A36

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	T [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm <sup>2</sup> ]	Ixx [cm <sup>4</sup> ]	Iyy [cm <sup>4</sup> ]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
1- Chancado Primario	Columna	IE600x550x20x14	600	14	550	20	29840	205582	55471	262	136	8	6200	6200	0,8	0,8	19	36	13,75	14,66	94%	40,00	42,93	93%
1- Chancado Primario	Columna	IE600x550x20x14	600	14	550	20	29840	205582	55471	262	136	4	4700	4700	0,8	0,8	14	28	13,75	14,66	94%	40,00	42,93	93%
1- Chancado Primario	Columna	IE600x550x28x14	600	14	550	28	38416	270915	77654	266	142	8	6200	6200	0,8	0,8	19	35	9,82	14,77	66%	38,86	42,93	91%
1- Chancado Primario	Columna	IE600x550x28x14	600	14	550	28	38416	270915	77654	266	142	4	4700	4700	0,8	0,8	14	26	9,82	14,77	66%	38,86	42,93	91%
1- Chancado Primario	Columna	IE600x550x20x14	600	14	550	20	29840	205582	55471	262	136	8	6200	6200	0,8	0,8	19	36	13,75	14,66	94%	40,00	42,93	93%
1- Chancado Primario	Columna	IE600x550x20x14	600	14	550	20	29840	205582	55471	262	136	4	6200	6200	0,8	0,8	19	36	13,75	14,66	94%	40,00	42,93	93%
1- Chancado Primario	Columna	HE300x200x25x14	300	14	200	25	13500	20781	3339	124	50	36	4935	2500	0,8	0,8	32	40	4,00	16,11	25%	17,86	42,93	42%
1- Chancado Primario	Columna	IE750x500x50x18	750	18	500	50	61700	654735	104198	326	130	4	9200	7200	0,8	0,8	23	44	5,00	15,04	33%	36,11	42,93	84%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]250x250x12	250	12	250	12	11424	10812	10812	97	97	6	5998	5998	1	1	62	62	18,83	40,33	47%	18,83	40,33	47%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]300x300x16	300	16	300	16	18176	24511	24511	116	116	2	5925	5925	1	1	51	51	16,75	40,33	42%	16,75	40,33	42%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]250x250x14	250	14	250	14	13216	12311	12311	97	97	2	7009	7009	1	1	73	73	15,86	40,33	39%	15,86	40,33	39%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]200x200x6	200	6	200	6	4556	2923	2923	80	80	2	3272	3272	1	1	41	41	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]200x200x6	200	6	200	6	4556	2923	2923	80	80	2	3783	3783	1	1	47	47	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]200x200x12	200	12	200	12	9024	5337	5337	77	77	2	3783	3783	1	1	49	49	14,67	40,33	36%	14,67	40,33	36%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]200x200x12	200	12	200	12	9024	5337	5337	77	77	2	5058	5058	1	1	66	66	14,67	40,33	36%	14,67	40,33	36%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	XL13x11,8	130	6	130	6	1510	94	127	25	29	36	1436	1436	1	1	57	50	9,83	10,66	92%	9,83	10,66	92%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	XL13x11,8	130	6	130	6	1510	94	127	25	29	12	1077	1077	1	1	43	37	9,83	10,66	92%	9,83	10,66	92%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	XL13x11,8	130	6	130	6	1510	94	127	25	29	12	1686	1686	1	1	67	58	9,83	10,66	92%	9,83	10,66	92%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]200x200x10	200	10	200	10	7600	4585	4585	78	78	4	8607	8607	1	1	111	111	18,00	40,33	45%	18,00	40,33	45%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]200x200x10	200	10	200	10	7600	4585	4585	78	78	4	6824	6824	1	1	88	88	18,00	40,33	45%	18,00	40,33	45%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]200x200x10	200	10	200	10	7600	4585	4585	78	78	2	4247	4247	1	1	55	55	18,00	40,33	45%	18,00	40,33	45%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]200x200x10	200	10	200	10	7600	4585	4585	78	78	2	3340	3340	1	1	43	43	18,00	40,33	45%	18,00	40,33	45%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]200x200x18	200	18	200	18	13104	7305	7305	75	75	8	6020	6020	1	1	81	81	9,11	40,33	23%	9,11	40,33	23%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]200x200x18	200	18	200	18	13104	7305	7305	75	75	8	5287	5287	1	1	71	71	9,11	40,33	23%	9,11	40,33	23%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]200x200x18	200	18	200	18	13104	7305	7305	75	75	8	4813	4813	1	1	64	64	9,11	40,33	23%	9,11	40,33	23%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]200x200x18	200	18	200	18	13104	7305	7305	75	75	8	3712	3712	1	1	50	50	9,11	40,33	23%	9,11	40,33	23%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]200x200x18	200	18	200	18	13104	7305	7305	75	75	8	4309	4309	1	1	58	58	9,11	40,33	23%	9,11	40,33	23%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]200x200x18	200	18	200	18	13104	7305	7305	75	75	8	2591	2591	1	1	35	35	9,11	40,33	23%	9,11	40,33	23%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]250x250x18	250	18	250	18	16704	15075	15075	95	95	16	6811	6811	1	1	72	72	11,89	40,33	29%	11,89	40,33	29%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]250x250x12	250	16	250	16	14976	13731	13731	96	96	16	6811	6811	1	1	71	71	13,63	40,33	34%	13,63	40,33	34%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]250x250x12	250	12	250	12	11424	10812	10812	97	97	8	5328	5328	1	1	55	55	18,83	40,33	47%	18,83	40,33	47%
1- Chancado Primario	Diagonal Elev.	]250x250x12	250	12	250	12	11424	10812	10812	97	97	8	3983	3983	1	1	41	41	18,83	40,33	47%	18,83	40,33	47%
2- Chancado Secundario	Columna	HE800x300x28x18	800	18	300	28	30192	312198	12636	322	65	4	5370	2700	0,8	0,8	13	33	5,36	14,54	37%	41,33	42,93	96%
2- Chancado Secundario	Columna	HE800x300x28x18	800	18	300	28	30192	312198	12636	322	65	4	2800	2800	0,65	0,65	6	28	5,36	14,54	37%	41,33	42,93	96%
2- Chancado Secundario	Columna	HE800x300x28x18	800	18	300	28	30192	312198	12636	322	65	12	3800	3800	0,65	0,65	8	38	5,36	14,54	37%	41,33	42,93	96%
2- Chancado Secundario	Columna	HE800x300x28x18	800	18	300	28	30192	312198	12636	322	65	4	6600	6600	0,65	0,65	13	66	5,36	14,54	37%	41,33	42,93	96%
2- Chancado Secundario	Columna	HE800x300x28x18	800	18	300	28	30192	312198	12636	322	65	4	5000	5000	0,65	0,65	10	50	5,36	14,54	37%	41,33	42,93	96%
2- Chancado Secundario	Columna	HE800x300x28x18	800	18	300	28	30192	312198	12636	322	65	4	2500	2500	0,8	0,8	6	31	5,36	14,54	37%	41,33	42,93	96%
2- Chancado Secundario	Columna	HE800x500x35x18	800	18	500	35	48140	570782	72952	344	123	24	3800	3800	0,65	0,65	7	20	7,14	14,61	49%	40,56	42,93	94%
2- Chancado Secundario	Columna	HE800x500x35x18	800	18	500	35	48140	570782	72952	344	123	24	2800	2800	0,8	0,8	7	18	7,14	14,61	49%	40,56	42,93	94%
2- Chancado Secundario	Columna	HE800x500x35x18	800	18	500	35	48140	570782	72952	344	123	8	6600	4413	0,65	0,65	12	23	7,14	14,61	49%	40,56	42,93	94%
2- Chancado Secundario	Columna	HE800x500x35x18	800	18	500	35	48140	570782	72952	344	123	8	4800	2000	0,65	0,65	9	11	7,14	14,61	49%	40,56	42,93	94%
2- Chancado Secundario	Columna	HE800x500x35x18	800	18	500	35	48140	570782	72952	344	123	8	2500	7305	0,8	0,8	6	47	7,14	14,61	49%	40,56	42,93	94%
2- Chancado Secundario	Columna	HE400x200x12x10	400	10	200	12	8560	22501	1603	162	43	4	2570	2570	0,8	0,8	13	48	8,33	14,89	56%	37,60	42,93	88%
2- Chancado Secundario	Columna	HE400x200x12x10	400	10	200	12	8560	22501	1603	162	43	4	2800	2800	0,8	0,8	14	52	8,33	14,89	56%	37,60	42,93	88%
2- Chancado Secundario	Columna	HE600x250x14x14	600	14	250	14	15008	81940	3659	234	49	4	2500	2500	0,8	0,8	9	41	8,93	14,59	61%	40,86	42,93	95%
2- Chancado Secundario	Columna	HE600x250x14x14	600	14	250	14	15008	81940	3659	234	49	8	2800	2800	0,65	0,65	8	37	8,93	14,59	61%	40,86	42,93	95%
2- Chancado Secundario	Columna	HE600x250x14x14	600	14	250	14	15008	81940	3659	234	49	4	4000	4000	0,8	0,8	14	65	8,93	14,59	61%	40,86	42,93	95%
2- Chancado Secundario	Diagonal Elev.	]200x200x8	200	6	200	6	4556	2923	2923	80	80	30	4783	4783	1	1	60	60	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	T [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm <sup>2</sup> ]	Ixx [cm <sup>4</sup> ]	Iyy [cm <sup>4</sup> ]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
2- Chancado Secundario	Diagonal Elev.	]200x200x8	200	6	200	6	4556	2923	2923	80	80	10	5292	5292	1	1	66	66	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
2- Chancado Secundario	Diagonal Elev.	]200x200x8	200	6	200	6	4556	2923	2923	80	80	20	5610	5610	1	1	70	70	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
2- Chancado Secundario	Diagonal Elev.	]200x200x8	200	6	200	6	4556	2923	2923	80	80	8	5821	5821	1	1	73	73	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
2- Chancado Secundario	Diagonal Elev.	]200x200x8	200	6	200	6	4556	2923	2923	80	80	8	4054	4054	1	1	51	51	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
2- Chancado Secundario	Diagonal Elev.	]200x200x8	200	6	200	6	4556	2923	2923	80	80	24	3941	4054	1	1	49	51	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
2- Chancado Secundario	Diagonal Elev.	]200x200x8	200	6	200	6	4556	2923	2923	80	80	4	4225	4225	1	1	53	53	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
2- Chancado Secundario	Diagonal Elev.	]200x200x8	200	6	200	6	4556	2923	2923	80	80	4	4750	4750	1	1	59	59	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
2- Chancado Secundario	Diagonal Elev.	]250x250x10	250	10	250	10	9600	9232	9232	98	98	24	4446	4446	1	1	45	45	23,00	40,33	57%	23,00	40,33	57%
2- Chancado Secundario	Diagonal Elev.	]250x250x10	250	10	250	10	9600	9232	9232	98	98	8	4940	4940	1	1	50	50	23,00	40,33	57%	23,00	40,33	57%
2- Chancado Secundario	Diagonal Elev.	]250x250x10	250	10	250	10	9600	9232	9232	98	98	16	5209	5209	1	1	53	53	23,00	40,33	57%	23,00	40,33	57%
2- Chancado Secundario	Diagonal Elev.	]200x200x6	200	6	200	6	4556	2923	2923	80	80	4	4319	4319	1	1	54	54	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%

Tabla B-5: Datos proyecto 5, acero A36.

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	T [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm <sup>2</sup> ]	Ixx [cm <sup>4</sup> ]	Iyy [cm <sup>4</sup> ]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
1- Estación de Bombeo	Columna	IE80x159	800	10	350	18	20240	229826	12869	337	80	8	6735	6735	1,2	0,65	24	55	9,72	12,47	78%	76,40	42,93	178%
1- Estación de Bombeo	Columna	IE80x159	800	10	350	18	20240	229826	12869	337	80	24	6735	3370	1,2	0,65	24	27	9,72	12,47	78%	76,40	42,93	178%
1- Estación de Bombeo	Columna	IE57,5x232	575	10	350	35	29550	189587	25015	253	92	20	3165	3165	2	0,8	25	28	5,00	13,83	36%	50,50	42,93	118%
1- Estación de Bombeo	Diagonal Elev.	2LE17.5	175	14	150	14	4227			65	30	24	3222	3222	1	1	50	107	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
1- Estación de Bombeo	Diagonal Elev.	2LE17.5	175	14	150	14	4227			65	30	6	2423	2423	1	1	37	81	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
1- Estación de Bombeo	Diagonal Planta	L10x11,7	100	8	100	8	1490	145	145	31	31	96	3990	3990	1	1	128	128	11,50	10,66	108%	11,50	10,66	108%
1- Estación de Bombeo	Diagonal Planta	L10x11,7	100	8	100	8	1490	145	145	31	31	16	2660	2660	1	1	85	85	11,50	10,66	108%	11,50	10,66	108%
2- Edificio Bóveda Superior	Columna	IE1200	1200	14	400	22	33784	790879	23493	484	83	10	10150	6011	1,2	0,8	25	58	9,09	12,23	74%	82,57	42,93	192%
2- Edificio Bóveda Superior	Columna	IE1200	1200	14	400	22	33784	790879	23493	484	83	16	10150	4139	1,2	0,65	25	32	9,09	12,23	74%	82,57	42,93	192%
2- Edificio Bóveda Superior	Columna	IN90x255	900	12	400	28	32528	486083	29879	387	96	16	4500	4500	1,2	0,8	14	38	7,14	12,73	56%	70,33	42,93	164%
2- Edificio Bóveda Superior	Diagonal Elev.	2C30x36,7	300	10	100	10	4670	5750	396	111	550	4	5624	5624	1	1	51	10	10,00	12,10	83%	#N/A	#N/A	#N/A
2- Edificio Bóveda Superior	Diagonal Elev.	2C30x36,7	300	10	100	10	4670	5750	396	111	550	4	5229	5229	1	1	47	10	10,00	12,10	83%	#N/A	#N/A	#N/A
2- Edificio Bóveda Superior	Diagonal Elev.	2C30x36,7	300	10	100	10	4670	5750	396	111	550	4	5296	5296	1	1	48	10	10,00	12,10	83%	#N/A	#N/A	#N/A
2- Edificio Bóveda Superior	Diagonal Elev.	2C30x36,7	300	10	100	10	4670	5750	396	111	550	4	4251	4251	1	1	38	8	10,00	12,10	83%	#N/A	#N/A	#N/A
2- Edificio Bóveda Superior	Diagonal Elev.	2C30x36,7	300	10	100	10	4670	5750	396	111	550	4	4152	4152	1	1	37	8	10,00	12,10	83%	#N/A	#N/A	#N/A
2- Edificio Bóveda Superior	Diagonal Elev.	2C30x36,7	300	10	100	10	4670	5750	396	111	550	4	4640	4640	1	1	42	8	10,00	12,10	83%	#N/A	#N/A	#N/A

Tabla B-6: Datos proyecto 6, acero A53 Gr.B para tubos y A36 para Cajón

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	T [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm <sup>2</sup> ]	Ixx [cm <sup>4</sup> ]	Iyy [cm <sup>4</sup> ]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
1 - Soporte chimenea	Columna	273,1x21,44	273,1	21,44			16951	13517	13517	89	89	3	7750	7750	0,65	0,65	56	56	12,74	91,30	14%	12,74	91,30	14%
1 - Soporte chimenea	Columna	φ273,1x21,44	273,1	21,44			16951	13517	13517	89	89	1	3725	3725	0,65	0,65	27	27	12,74	91,30	14%	12,74	91,30	14%
1 - Soporte chimenea	Columna	φ273,1x21,44	273,1	21,44			16951	13517	13517	89	89	1	4025	4025	0,65	0,65	29	29	12,74	91,30	14%	12,74	91,30	14%
1 - Soporte chimenea	Columna	φ273,1x21,44	273,1	21,44			16951	13517	13517	89	89	4	2550	2550	0,65	0,65	19	19	12,74	91,30	14%	12,74	91,30	14%
1 - Soporte chimenea	Columna	φ219,1x12,7	219,1	12,7			8235	4402	4402	73	73	4	3150	3150	0,65	0,65	28	28	17,25	91,30	19%	17,25	91,30	19%
1 - Soporte chimenea	Columna	φ219,1x12,7	219,1	12,7			8235	4402	4402	73	73	12	3000	3000	0,65	0,65	27	27	17,25	91,30	19%	17,25	91,30	19%
1 - Soporte chimenea	Columna	φ219,1x8,2	219,1	8,2			5433	3025	3025	75	75	12	3000	3000	0,65	0,65	26	26	26,72	91,30	29%	26,72	91,30	29%
1 - Soporte chimenea	Columna	φ168,3x7,1	168,3	7,1			3596	1170	1170	57	57	32	3000	3000	0,8	0,8	42	42	23,70	91,30	26%	23,70	91,30	26%
1 - Soporte chimenea	Columna	φ168,3x7,1	168,3	7,1			3596	1170	1170	57	57	4	2590	2590	0,8	0,8	36	36	23,70	91,30	26%	23,70	91,30	26%
1 - Soporte chimenea	Diagonal Elev.	φ219,1x8,2	219,1	8,2			5433	3025	3025	75	75	8	4281	4281	1	1	57	57	26,72	91,30	29%	26,72	91,30	29%
1 - Soporte chimenea	Diagonal Elev.	φ168,3x7,1	168,3	7,1			3596	1170	1170	57	57	8	1796	1796	1	1	31	31	23,70	91,30	26%	23,70	91,30	26%
1 - Soporte chimenea	Diagonal Elev.	φ168,3x7,1	168,3	7,1			3596	1170	1170	57	57	2	1853	1853	1	1	32	32	23,70	91,30	26%	23,70	91,30	26%
1 - Soporte chimenea	Diagonal Elev.	φ168,3x7,1	168,3	7,1			3596	1170	1170	57	57	2	1631	1631	1	1	29	29	23,70	91,30	26%	23,70	91,30	26%
1 - Soporte chimenea	Diagonal Elev.	φ114,3x6	114,3	6			2041	300	300	38	38	106	2609	2609	1	1	68	68	19,05	91,30	21%	19,05	91,30	21%
1 - Soporte chimenea	Diagonal Elev.	φ114,3x6	114,3	6			2041	300	300	38	38	4	2498	2498	1	1	65	65	19,05	91,30	21%	19,05	91,30	21%
1 - Soporte chimenea	Diagonal Elev.	φ114,3x6	114,3	6			2041	300	300	38	38	6	2648	2648	1	1	69	69	19,05	91,30	21%	19,05	91,30	21%
1 - Soporte chimenea	Diagonal Elev.	φ114,3x6	114,3	6			2041	300	300	38	38	2	1631	1631	1	1	43	43	19,05	91,30	21%	19,05	91,30	21%
1 - Soporte chimenea	Diagonal Elev.	φ114,3x6	114,3	6			2041	300	300	38	38	8	2508	2508	1	1	65	65	19,05	91,30	21%	19,05	91,30	21%
1 - Soporte chimenea	Diagonal Planta	[]100x50x4	100	4	50	4	1090	134	45	35	20	6	1425	1425	1	1	41	70	10,50	40,33	26%	23,00	40,33	57%
1 - Soporte chimenea	Diagonal Planta	[]100x100x5	100	5	100	5	1840	270	270	38	38	4	2755	2755	1	1	72	72	18,00	40,33	45%	18,00	40,33	45%
1 - Soporte chimenea	Diagonal Planta	[]100x50x4	100	4	50	4	1090	134	45	35	20	2	1425	1425	1	1	41	70	10,50	40,33	26%	23,00	40,33	57%
1 - Soporte chimenea	Diagonal Planta	[]100x100x5	100	5	100	5	1840	270	270	38	38	4	2755	2755	1	1	72	72	18,00	40,33	45%	18,00	40,33	45%
1 - Soporte chimenea	Diagonal Planta	[]100x50x4	100	4	50	4	1090	134	45	35	20	8	1425	1425	1	1	41	70	10,50	40,33	26%	23,00	40,33	57%

Tabla B-7: Datos proyecto 7, Acero A36

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	T [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm <sup>2</sup> ]	Ixx [cm <sup>4</sup> ]	Iyy [cm <sup>4</sup> ]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
1-Taller de camiones	Columna	I 100x50x316	1000	16	500	25	40200	708588	52116	420	114	14	16860	5700	1,2	0,8	48	40	10,00	13,28	75%	59,38	42,93	138%
1-Taller de camiones	Columna	I 100x50x316	1000	16	500	25	40200	708588	52116	420	114	14	16860	8710	1,2	0,8	48	61	10,00	13,28	75%	59,38	42,93	138%
1-Taller de camiones	Columna	I 100x50x316	1000	16	500	25	40200	708588	52116	420	114	14	8150	8150	1,2	0,65	23	47	10,00	13,28	75%	59,38	42,93	138%
1-Taller de camiones	Columna	I60x35x189	600	12	350	25	24100	161377	17873	259	86	14	3610	3610	1,2	0,65	17	27	7,00	14,17	49%	45,83	42,93	107%
1-Taller de camiones	Columna	I60x35x189	600	12	350	25	24100	161377	17873	259	86	6	6000	6820	1,2	0,65	28	51	7,00	14,17	49%	45,83	42,93	107%
1-Taller de camiones	Columna	I60x40x209	600	12	400	25	26600	182054	26675	262	100	6	6000	6820	1,2	0,65	28	44	8,00	14,17	56%	45,83	42,93	107%
1-Taller de camiones	Diagonal Elev.	2[]15x18	150	4	150	4	2336	831	831	60	60	24	4275	4275	1	1	72	72	35,50	40,33	88%	35,50	40,33	88%
1-Taller de camiones	Diagonal Elev.	2[]15x18	150	4	150	4	2336	831	831	60	60	16	5308	5308	1	1	89	89	35,50	40,33	88%	35,50	40,33	88%
1-Taller de camiones	Diagonal Elev.	[]15x18	150	4	150	4	2336	831	831	60	60	8	4642	4642	1	1	78	78	35,50	40,33	88%	35,50	40,33	88%
1-Taller de camiones	Diagonal Elev.	[]25x20x40,5	250	6	200	6	5256	4921	3488	97	81	16	4642	4642	1	1	48	57	31,33	40,33	78%	39,67	40,33	98%
1-Taller de camiones	Diagonal Elev.	[]15x18	150	4	150	4	2336	831	831	60	60	12	4750	4750	1	1	80	80	35,50	40,33	88%	35,50	40,33	88%
1-Taller de camiones	Diagonal Elev.	[]20x35,8	200	6	200	6	4656	2923	2923	79	79	16	4750	4750	1	1	60	60	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
1-Taller de camiones	Diagonal Elev.	[]15x18	150	4	150	4	2336	831	831	60	60	28	4086	4086	1	1	69	69	35,50	40,33	88%	35,50	40,33	88%

Tabla B-8: Datos proyecto 8, Acero A36

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	T [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm <sup>2</sup> ]	Ixx [cm <sup>4</sup> ]	Iyy [cm <sup>4</sup> ]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
1-Filtros	Columna	HN30x92,2	300	8	300	16	11700	20700	7200	133	78	36	1665	4250	0,65	0,8	8	43	9,38	15,33	61%	33,50	42,93	78%
1-Filtros	Columna	HN30x92,2	300	8	300	16	11700	20700	7200	133	78	36	1672	3200	0,8	0,8	10	33	9,38	15,33	61%	33,50	42,93	78%
1-Filtros	Diagonal Elev.	XL25x36,6	250	10	250	10	4670	1168	1465	50	56	32	2708	2708	1	1	54	48	11,50	10,66	108%	11,50	10,66	108%
1-Filtros	Diagonal Elev.	XL25x36,6	250	10	250	10	4670	1168	1465	50	56	32	2427	2427	1	1	49	43	11,50	10,66	108%	11,50	10,66	108%
1-Filtros	Diagonal Elev.	XL16x14,1	160	6	160	6	1800	184	233	32	36	160	1081	1081	1	1	34	30	12,33	10,66	116%	12,33	10,66	116%

Tabla B-9: Datos proyecto 9, Acero A36

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	T [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm <sup>2</sup> ]	Ixx [cm <sup>4</sup> ]	Iyy [cm <sup>4</sup> ]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
1-Torre de transferencia	Columna	HN30x141	300	12	300	25	18000	30000	11300	129	79	8	2400	1200	0,65	0,65	12	10	6,00	16,11	37%	20,83	42,93	49%
1-Torre de transferencia	Columna	HN30x141	300	12	300	25	18000	30000	11300	129	79	4	2800	1400	0,65	0,65	14	11	6,00	16,11	37%	20,83	42,93	49%
1-Torre de transferencia	Columna	HN30x92,2	300	8	300	16	11700	20700	7200	133	78	4	2800	1400	0,65	0,65	14	12	9,38	15,33	61%	33,50	42,93	78%
1-Torre de transferencia	Columna	HN30x92,2	300	8	300	16	11700	20700	7200	133	78	8	2800	2800	0,65	0,65	14	23	9,38	15,33	61%	33,50	42,93	78%
1-Torre de transferencia	Columna	HN30x73,9	300	8	300	12	9410	16300	5400	132	76	12	2625	5250	0,65	0,65	13	45	12,50	15,22	82%	34,50	42,93	80%
1-Torre de transferencia	Columna	HN30x73,9	300	8	300	12	9410	16300	5400	132	76	6	3656	3656	0,8	0,8	22	39	12,50	15,22	82%	34,50	42,93	80%
1-Torre de transferencia	Columna	HN30x73,9	300	8	300	12	9410	16300	5400	132	76	6	2625	1875	0,8	0,8	16	20	12,50	15,22	82%	34,50	42,93	80%
1-Torre de transferencia	Columna	HN30x73,9	300	8	300	12	9410	16300	5400	132	76	1	3656	1600	0,8	0,8	22	17	12,50	15,22	82%	34,50	42,93	80%
1-Torre de transferencia	Diagonal Elev.	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	318	31	36	6	1807	1807	1	1	58	50	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1-Torre de transferencia	Diagonal Elev.	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	318	31	36	14	1956	1956	1	1	63	54	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1-Torre de transferencia	Diagonal Elev.	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	318	31	36	12	1716	1716	1	1	55	48	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1-Torre de transferencia	Diagonal Elev.	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	318	31	36	4	2077	2077	1	1	67	58	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1-Torre de transferencia	Diagonal Elev.	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	318	31	36	12	1541	1541	1	1	50	43	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1-Torre de transferencia	Diagonal Elev.	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	318	31	36	2	1936	1936	1	1	62	54	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1-Torre de transferencia	Diagonal Elev.	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	318	31	36	32	1900	1900	1	1	61	53	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1-Torre de transferencia	Diagonal Elev.	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	318	31	36	32	2080	2080	1	1	67	58	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1-Torre de transferencia	Diagonal Elev.	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	318	31	36	8	2080	2080	1	1	67	58	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1-Torre de transferencia	Diagonal Elev.	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	318	31	36	24	2044	2044	1	1	66	57	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1-Torre de transferencia	Diagonal Elev.	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	318	31	36	4	2730	2730	1	1	88	76	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1-Torre de transferencia	Diagonal Elev.	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	318	31	36	2	2437	2437	1	1	79	68	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1-Torre de transferencia	Diagonal Elev.	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	318	31	36	1	2953	2953	1	1	95	82	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1-Torre de transferencia	Diagonal Elev.	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	318	31	36	1	2530	2530	1	1	82	70	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1-Torre de transferencia	Diagonal Elev.	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	318	31	36	4	2423	2423	1	1	78	67	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1-Torre de transferencia	Diagonal Elev.	XL16x28,1	160	12	160	12	3570	321	516	30	38	4	2689	2689	1	1	90	71	5,67	10,66	53%	5,67	10,66	53%
1-Torre de transferencia	Diagonal Planta	L10x8,96	100	6	100	6	1140	113	113	31	31	7	1900	1900	1	1	60	60	15,67	10,66	147%	15,67	10,66	147%
1-Torre de transferencia	Diagonal Planta	L10x8,96	100	6	100	6	1140	113	113	31	31	8	2660	2660	1	1	84	84	15,67	10,66	147%	15,67	10,66	147%
1-Torre de transferencia	Diagonal Planta	L10x8,96	100	6	100	6	1140	113	113	31	31	7	1615	1615	1	1	51	51	15,67	10,66	147%	15,67	10,66	147%
1-Torre de transferencia	Diagonal Planta	L10x8,96	100	6	100	6	1140	113	113	31	31	21	1900	1900	1	1	60	60	15,67	10,66	147%	15,67	10,66	147%
1-Torre de transferencia	Diagonal Planta	L10x8,96	100	6	100	6	1140	113	113	31	31	12	1425	1425	1	1	45	45	15,67	10,66	147%	15,67	10,66	147%
1-Torre de transferencia	Diagonal Planta	L10x8,96	100	6	100	6	1140	113	113	31	31	15	1900	1900	1	1	60	60	15,67	10,66	147%	15,67	10,66	147%
1-Torre de transferencia	Diagonal Planta	XL16x14,1	160	6	160	6	1800	184	233	32	36	16	1995	1995	1	1	62	55	12,33	10,66	116%	12,33	10,66	116%
1-Torre de transferencia	Diagonal Planta	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	318	31	36	2	2993	2993	1	1	97	83	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1-Torre de transferencia	Diagonal Planta	XL16x19,3	160	8	160	8	2450	235	318	31	36	4	2565	2565	1	1	83	71	9,00	10,66	84%	9,00	10,66	84%
1-Torre de transferencia	Diagonal Planta	L10x8,96	100	6	100	6	1140	113	113	31	31	11	1900	1900	1	1	60	60	15,67	10,66	147%	15,67	10,66	147%

Tabla B-10: Datos proyecto 10, Acero A36

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	T [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm <sup>2</sup> ]	Ixx [cm <sup>4</sup> ]	Iyy [cm <sup>4</sup> ]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
1- Barrio Cívico	Columna	HN25x68,9	250	8	250	14	8780	10500	3650	109	64	52	3650	3525	0,8	0,8	27	44	8,93	16,07	56%	27,75	42,93	65%
1- Barrio Cívico	Columna	HN25x68,9	250	8	250	14	8780	10500	3650	109	64	2	2900	2900	0,8	0,8	21	36	8,93	16,07	56%	27,75	42,93	65%
1- Barrio Cívico	Columna	HN25x68,9	250	8	250	14	8780	10500	3650	109	64	6	2175	2175	0,8	0,8	16	27	8,93	16,07	56%	27,75	42,93	65%
1- Barrio Cívico	Columna	HN25x68,9	250	8	250	14	8780	10500	3650	109	64	60	3800	3800	0,65	0,65	23	38	8,93	16,07	56%	27,75	42,93	65%
1- Barrio Cívico	Columna	HN25x68,9	250	8	250	14	8780	10500	3650	109	64	20	4755	4755	0,8	0,8	35	59	8,93	16,07	56%	27,75	42,93	65%
1- Barrio Cívico	Columna	HN25x68,9	250	8	250	14	8780	10500	3650	109	64	20	1847	1847	0,65	0,65	11	19	8,93	16,07	56%	27,75	42,93	65%
1- Barrio Cívico	Columna	HN25x68,9	250	8	250	14	8780	10500	3650	109	64	20	1708	1708	0,65	0,65	10	17	8,93	16,07	56%	27,75	42,93	65%
1- Barrio Cívico	Columna	HN25x50,1	250	6	250	10	6380	7810	2600	111	64	6	3650	3650	0,8	0,8	26	46	12,50	14,82	84%	38,33	42,93	89%
1- Barrio Cívico	Columna	HN25x50,1	250	6	250	10	6380	7810	2600	111	64	6	2920	2920	0,8	0,8	21	37	12,50	14,82	84%	38,33	42,93	89%
1- Barrio Cívico	Columna	HN25x50,1	250	6	250	10	6380	7810	2600	111	64	4	4025	4025	0,8	0,8	29	50	12,50	14,82	84%	38,33	42,93	89%
1- Barrio Cívico	Columna	HN25x50,1	250	6	250	10	6380	7810	2600	111	64	4	2150	2150	0,8	0,8	16	27	12,50	14,82	84%	38,33	42,93	89%
1- Barrio Cívico	Columna	HN25x50,1	250	6	250	10	6380	7810	2600	111	64	4	3080	3080	0,8	0,8	22	39	12,50	14,82	84%	38,33	42,93	89%
1- Barrio Cívico	Columna	HN25x50,1	250	6	250	10	6380	7810	2600	111	64	6	3975	3975	0,8	0,8	29	50	12,50	14,82	84%	38,33	42,93	89%
1- Barrio Cívico	Columna	HN25x50,1	250	6	250	10	6380	7810	2600	111	64	3	3225	3225	0,8	0,8	23	40	12,50	14,82	84%	38,33	42,93	89%
1- Barrio Cívico	Columna	HN25x50,1	250	6	250	10	6380	7810	2600	111	64	9	1912	1912	0,8	0,8	14	24	12,50	14,82	84%	38,33	42,93	89%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	[]20x30,1	200	5	200	5	3840	2410	2410	79	79	8	3148	3148	1	1	40	40	38,00	40,33	94%	38,00	40,33	94%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	[]20x30,1	200	5	200	5	3840	2410	2410	79	79	8	4322	4322	1	1	55	55	38,00	40,33	94%	38,00	40,33	94%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	[]15x22,3	150	5	150	5	2840	981	981	59	59	8	2983	2983	1	1	51	51	28,00	40,33	69%	28,00	40,33	69%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	[]15x22,3	150	5	150	5	2840	981	981	59	59	8	2906	2906	1	1	49	49	28,00	40,33	69%	28,00	40,33	69%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	[]10x14,4	100	5	100	5	1840	270	270	38	38	16	3278	3278	1	1	86	86	18,00	40,33	45%	18,00	40,33	45%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	[]7,5x10,5	75	5	75	5	1340	106	106	28	28	18	2877	2877	1	1	102	102	13,00	40,33	32%	13,00	40,33	32%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	[]15x22,3	150	5	150	5	2840	981	981	59	59	6	1566	1566	1	1	27	27	28,00	40,33	69%	28,00	40,33	69%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	[]15x22,3	150	5	150	5	2840	981	981	59	59	6	2161	2161	1	1	37	37	28,00	40,33	69%	28,00	40,33	69%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	[]10x14,4	100	5	100	5	1840	270	270	38	38	8	3278	3278	1	1	86	86	18,00	40,33	45%	18,00	40,33	45%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	[]10x14,4	100	5	100	5	1840	270	270	38	38	8	2916	2916	1	1	76	76	18,00	40,33	45%	18,00	40,33	45%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	[]10x14,4	100	5	100	5	1840	270	270	38	38	14	2983	2983	1	1	78	78	18,00	40,33	45%	18,00	40,33	45%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	[]10x17	100	6	100	6	2160	310	310	38	38	10	2941	2941	1	1	78	78	14,67	40,33	36%	14,67	40,33	36%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	[]10x17	100	6	100	6	2160	310	310	38	38	4	2590	2590	1	1	68	68	14,67	40,33	36%	14,67	40,33	36%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	XL20x23,5	200	8	200	8	2990	478	968760	40	45	6	2081	2081	1	1	52	46	11,50	10,66	108%	11,50	10,66	108%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	XL20x23,5	200	8	200	8	2990	478	968760	40	45	6	2632	2632	1	1	66	58	11,50	10,66	108%	11,50	10,66	108%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	XL20x23,5	200	8	200	8	2990	478	968760	40	45	7	3485	3485	1	1	87	77	11,50	10,66	108%	11,50	10,66	108%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	XL20x23,5	200	8	200	8	2990	478	968760	40	45	7	4410	3485	1	1	110	77	11,50	10,66	108%	11,50	10,66	108%
1- Barrio Cívico	Diagonal Elev.	XL20x23,5	200	8	200	8	2990	478	968760	40	45	7	4956	3485	1	1	124	77	11,50	10,66	108%	11,50	10,66	108%
1- Barrio Cívico	Diagonal Planta	[]100x100x14,4	100	5	100	5	1840	270	270	38	38	20	4180	4180	1	1	109	109	18,00	40,33	45%	18,00	40,33	45%
1- Barrio Cívico	Diagonal Planta	[]100x100x14,4	100	5	100	5	1840	270	270	38	38	30	2850	2850	1	1	74	74	18,00	40,33	45%	18,00	40,33	45%
1- Barrio Cívico	Diagonal Planta	[]100x100x14,4	100	5	100	5	1840	270	270	38	38	36	4465	4465	1	1	117	117	18,00	40,33	45%	18,00	40,33	45%
1- Barrio Cívico	Diagonal Planta	[]100x100x14,4	100	5	100	5	1840	270	270	38	38	16	2945	2945	1	1	77	77	18,00	40,33	45%	18,00	40,33	45%
1- Barrio Cívico	Diagonal Planta	[]100x100x14,4	100	5	100	5	1840	270	270	38	38	8	3325	3325	1	1	87	87	18,00	40,33	45%	18,00	40,33	45%
1- Barrio Cívico	Diagonal Planta	[]100x100x14,4	100	5	100	5	1840	270	270	38	38	8	2755	2755	1	1	72	72	18,00	40,33	45%	18,00	40,33	45%
1- Barrio Cívico	Diagonal Planta	[]100x100x14,4	100	5	100	5	1840	270	270	38	38	180	3325	3325	1	1	87	87	18,00	40,33	45%	18,00	40,33	45%
2 - Taller de mantención	Columna	HN40x123	400	12	400	14	15700	46900	14900	173	97	3	7260	8605	0,8	0,8	34	71	14,29	15,63	91%	31,00	42,93	72%
2 - Taller de mantención	Columna	HN40x123	400	12	400	14	15700	46900	14900	173	97	3	4804	3209	0,65	0,65	18	21	14,29	15,63	91%	31,00	42,93	72%
2 - Taller de mantención	Columna	HN40x123	400	12	400	14	15700	46900	14900	173	97	3	6933	6755	0,8	0,8	32	55	14,29	15,63	91%	31,00	42,93	72%
2 - Taller de mantención	Columna	HN40x123	400	12	400	14	15700	46900	14900	173	97	3	4881	5059	0,65	0,65	18	34	14,29	15,63	91%	31,00	42,93	72%
2 - Taller de mantención	Columna	HN40x123	400	12	400	14	15700	46900	14900	173	97	6	1924	1924	0,8	0,8	9	16	14,29	15,63	91%	31,00	42,93	72%
2 - Taller de mantención	Columna	HN40x123	400	12	400	14	15700	46900	14900	173	97	7	8364	4182	0,8	0,8	39	34	14,29	15,63	91%	31,00	42,93	72%
2 - Taller de mantención	Columna	HN40x123	400	12	400	14	15700	46900	14900	173	97	2	3776	4182	0,65	0,65	14	28	14,29	15,63	91%	31,00	42,93	72%
2 - Taller de mantención	Columna	HN40x123	400	12	400	14	15700	46900	14900	173	97	2	4590	4182	0,8	0,8	21	34	14,29	15,63	91%	31,00	42,93	72%
2 - Taller de mantención	Columna	HN40x123	400	12	400	14	15700	46900	14900	173	97	9	2000	2000	0,8	0,8	9	16	14,29	15,63	91%	31,00	42,93	72%

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	T [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm2]	Ixx [cm4]	Iyy [cm4]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
2 - Taller de mantención	Columna	HN45X180	450	12	450	20	22900	90200	30400	198	115	1	10089	7010	0,8	0,8	41	49	11,25	15,25	74%	34,17	42,93	80%
2 - Taller de mantención	Columna	HN50x208	500	14	500	20	26400	127000	41700	219	126	3	7145	6933	0,8	0,8	26	44	12,50	15,40	81%	32,86	42,93	77%
2 - Taller de mantención	Columna	HN45X180	450	12	450	20	22900	90200	30400	198	115	1	6930	6755	0,8	0,8	28	47	11,25	15,25	74%	34,17	42,93	80%
2 - Taller de mantención	Columna	HN50x208	500	14	500	20	26400	127000	41700	219	126	3	2829	2829	0,65	0,65	8	15	12,50	15,40	81%	32,86	42,93	77%
2 - Taller de mantención	Columna	HN45X180	450	12	450	20	22900	90200	30400	198	115	1	2829	2829	0,65	0,65	9	16	11,25	15,25	74%	34,17	42,93	80%
2 - Taller de mantención	Diagonal Elev.	[]15x22,3	150	5	150	5	2840	981	981	59	59	4	3992	3992	1	1	68	68	28,00	40,33	69%	28,00	40,33	69%
2 - Taller de mantención	Diagonal Elev.	[]15x22,3	150	5	150	5	2840	981	981	59	59	4	3379	3379	1	1	57	57	28,00	40,33	69%	28,00	40,33	69%
2 - Taller de mantención	Diagonal Elev.	[]15x22,3	150	5	150	5	2840	981	981	59	59	8	3096	3096	1	1	53	53	28,00	40,33	69%	28,00	40,33	69%
2 - Taller de mantención	Diagonal Elev.	[]20x30,1	200	5	200	5	3840	2410	2410	79	79	4	4890	4890	1	1	62	62	38,00	40,33	94%	38,00	40,33	94%
2 - Taller de mantención	Diagonal Elev.	[]20x35,8	200	6	200	6	4560	2830	2830	79	79	4	4305	4305	1	1	55	55	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
2 - Taller de mantención	Diagonal Elev.	[]20x30,1	200	5	200	5	3840	2410	2410	79	79	4	3557	3557	1	1	45	45	38,00	40,33	94%	38,00	40,33	94%
2 - Taller de mantención	Diagonal Elev.	[]20x35,8	200	6	200	6	4560	2830	2830	79	79	2	3557	3557	1	1	45	45	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
2 - Taller de mantención	Diagonal Elev.	[]20x46,9	200	8	200	8	5980	3620	3620	78	78	4	4214	4214	1	1	54	54	23,00	40,33	57%	23,00	40,33	57%
2 - Taller de mantención	Diagonal Elev.	[]20x46,9	200	8	200	8	5980	3620	3620	78	78	4	8795	8795	1	1	113	113	23,00	40,33	57%	23,00	40,33	57%
2 - Taller de mantención	Diagonal Elev.	[]20x30,1	200	5	200	5	3840	2410	2410	79	79	4	4277	4277	1	1	54	54	38,00	40,33	94%	38,00	40,33	94%
2 - Taller de mantención	Diagonal Planta	[]20x20x30,1	200	5	200	5	3840	2410	2410	79	79	96	3800	3800	1	1	48	48	38,00	40,33	94%	38,00	40,33	94%
2 - Taller de mantención	Diagonal Planta	[]15x15x18	150	4	150	4	2290	1200	1200	72	72	96	3800	3800	1	1	52	52	35,50	40,33	88%	35,50	40,33	88%
2 - Taller de mantención	Diagonal Planta	[]10x8,96	100	3	100	3	1140	177	177	39	39	8	4275	4275	1	1	108	108	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
2 - Taller de mantención	Diagonal Planta	[]10x8,96	100	3	100	3	1140	177	177	39	39	64	2328	2328	1	1	59	59	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%
2 - Taller de mantención	Diagonal Planta	[]15x15x18	150	4	150	4	2290	1200	1200	72	72	116	4750	4750	1	1	66	66	35,50	40,33	88%	35,50	40,33	88%
2 - Taller de mantención	Diagonal Planta	[]15x15x18	150	4	150	4	2290	1200	1200	72	72	15	3325	3325	1	1	46	46	35,50	40,33	88%	35,50	40,33	88%
2 - Taller de mantención	Diagonal Planta	[]5x4,25	50	3	50	3	541	19	19	19	19	104	1235	1235	1	1	65	65	14,67	40,33	36%	14,67	40,33	36%
2 - Taller de mantención	Diagonal Planta	[]10x8,96	100	3	100	3	1140	177	177	39	39	30	4750	4750	1	1	121	121	31,33	40,33	78%	31,33	40,33	78%

Tabla B-11: Datos proyecto 11, Acero A36

Edificio	Miembro	Perfil	H [mm]	T [mm]	B [mm]	e [mm]	Ag [mm <sup>2</sup> ]	Ixx [cm <sup>4</sup> ]	Iyy [cm <sup>4</sup> ]	Rx [mm]	Ry [mm]	Cant.	Lx [mm]	Ly [mm]	kx	ky	λx	λy	λf	λff	%	λw	λfw	%
1- Edificio Sopladores	Columna	IE80x263	800	18	400	25	33500	363698	26703	329	89	4	20450	9200	1,2	0,65	74	67	8,00	14,51	55%	41,67	42,93	97%
1- Edificio Sopladores	Columna	IE80x263	800	18	400	25	33500	363698	26703	329	89	4	5400	6250	1,2	0,8	20	56	8,00	14,51	55%	41,67	42,93	97%
1- Edificio Sopladores	Columna	IE80x263	800	18	400	25	33500	363698	26703	329	89	4	6800	9200	1,2	0,65	25	67	8,00	14,51	55%	41,67	42,93	97%
1- Edificio Sopladores	Columna	IE80x263	800	18	400	25	33500	363698	26703	329	89	4	8200	4750	1,2	0,8	30	43	8,00	14,51	55%	41,67	42,93	97%
1- Edificio Sopladores	Columna	IE80x263	800	18	400	25	33500	363698	26703	329	89	3	5400	5400	1,2	0,8	20	48	8,00	14,51	55%	41,67	42,93	97%
1- Edificio Sopladores	Columna	IE80x263	800	18	400	25	33500	363698	26703	329	89	3	5400	5700	1,2	0,8	20	51	8,00	14,51	55%	41,67	42,93	97%
1- Edificio Sopladores	Diagonal Elev.	C25x23,5	250	8	75	8	2990	136		21	91	8	6435	6435	1	1	55	71	9,38	12,10	77%	#N/A	#N/A	#N/A
1- Edificio Sopladores	Diagonal Elev.	C25x23,5	250	8	75	8	2990	136		21	91	8	5089	5089	1	1	54	56	9,38	12,10	77%	#N/A	#N/A	#N/A
1- Edificio Sopladores	Diagonal Elev.	C25x23,5	250	8	75	8	2990	136		21	91	4	5479	5479	1	1	54	60	9,38	12,10	77%	#N/A	#N/A	#N/A
1- Edificio Sopladores	Diagonal Elev.	C25x23,5	250	8	75	8	2990	136		21	91	4	5031	5031	1	1	54	55	9,38	12,10	77%	#N/A	#N/A	#N/A

