

Desarrollo de un sistema integral para el diseño de elementos estructurales.



Abstract.

This document will focus on providing the company AESA, a series of electronic tools, to optimize the design of various structural elements of different materials such as iron, concrete and wood.

Spreadsheets were developed for the calculation of different processes of design, using the Excel program (2010 version), and in turn aid also some Visual Basic, to grant a greater versatility to the user in cases where necessary.

The purpose of this project is to provide the company AESA with standard spreadsheets for some processes, and that workers use only a single type of spreadsheet for the calculation and design of some structural elements.

Resumen

El presente documento se enfocará en proporcionar a la empresa AESA una serie de herramientas electrónicas, para optimizar el diseño de diferentes elementos estructurales, de diferentes materiales como acero, concreto, y madera.

Se desarrollaron hojas electrónicas para el cálculo de diferentes procesos de diseño, utilizando el programa Excel (versión 2010), y a su vez también algunas ayudas de Visual Basic, con otorgar una mayor versatilidad al usuario en los casos en que fuera necesario.

El fin de este proyecto es proveer a la empresa AESA con hojas electrónicas estándar para algunos procesos, y que los trabajadores utilicen un solo tipo de hoja electrónica para el cálculo y diseño de algunos elementos estructurales.

Palabras clave: Hoja de cálculo, hoja de Excel, Excel, concreto, acero, madera, estándar.

Desarrollo de un sistema integral para el diseño de elementos estructurales.

DANIEL ROJAS CHÁVEZ.

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Cartago, Mayo 2015.

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

CONTENIDO

Descripción del problema.....	1
Resumen ejecutivo.	2
Objetivos.....	4
Objetivo general.	4
Objetivos específicos.....	4
Metodología.	5
1. Investigación y recopilación de información.....	5
2. Desarrollo de las hojas electrónicas.....	5
3. Calibración y evaluación de las hojas electrónicas.	6
Marco Teórico.	6
1. Diseño de elementos circulares laminados en frío.....	6
2. Diseño de columnas de concreto esbeltas.....	9
A. Columnas arriostradas.	9
B. Columnas no arriostradas.	11
3. Diseño de elementos de madera.	11
A. Diseño de por tensión.	12
B. Diseño por flexión.....	13
C. Diseño por cortante.	14
D. Diseño por compresión.	14
4. Diseño de vigas de acero.....	15
A. Diseño por flexión.....	15
B. Diseño por tensión.	17
C. Diseño por cortante.	17
5. Diagramas de interacción para columnas de concreto regulares e irregulares.....	18
Resultados.....	21
1. Instrucciones columnas irregulares.	21
2. Instrucciones vigas de acero.....	25
3. Instrucciones secciones laminadas en frío.	26

4. Instrucciones hoja de madera.	28
A. Características	28
B. Diseño por flexión.....	29
C. Diseño por cortante.	30
D. Diseño por tensión.	31
E. Diseño por compresión.	32
F. Deformaciones.	34
5. Diseño de columnas esbeltas.	35
A. Arriostradas.....	36
B. No Arriostradas.	36
C. Diagrama de interacción.	38
6. Resultados obtenidos con SAP2000 y con dos hojas de cálculo.	39
A. Secciones circulares de acero laminadas en frío.	39
B. Vigas de acero.	41
Análisis de resultados.....	42
Recomendaciones.	43
Conclusiones.	44
Anexos.....	45
Anexo A.....	45
1. Factores de ajuste para diseño de elementos de madera.	46
2. Tipos de Madera.	47
3. Tipos de acero según el AISC.....	49
4. Diámetros y áreas de varillas.	49
6. Tipos de concreto.....	50
Anexo B.....	51
A. Diseño de un elemento circular laminado en frío.	53
B. Diseño de columnas esbeltas.	55
C. Diagrama de interacción para la columna de 40x40cm.....	55
Referencias.....	57

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

La empresa AESA, consultora en ingeniería estructural, con amplia experiencia en el diseño estructural de edificios y de otros tipos variados, desarrolla mucho de sus labores de cálculo y análisis estructural, utilizando hojas electrónicas, generalmente en el programa Excel, que sus profesionales han desarrollado y adaptado a sus propias necesidades, por lo que cuenta con una gama grande de herramientas personales para realizar sus labores. Esto en cierta manera, facilita el trabajo individual, pero a la vez dificulta, el contar con un solo estándar de diseño. Por eso, la empresa tiene la necesidad de uniformizar las herramientas y contar con una sola herramienta que puedan utilizar todos sus profesionales de manera inequívoca, logrando así contar con un solo estándar para todos sus diseños. Estas hojas electrónicas de cálculo, incluyen la mayoría de los procedimientos para diseñar todo tipo de elementos como son: vigas, columnas, muros, cimentaciones y otros elementos más particulares.

RESUMEN EJECUTIVO.

Con este trabajo se brindará a la empresa AESA, Asesores Estructurales, una serie de herramientas electrónicas, con el fin de ayudar a dicha empresa a solucionar el problema que acarrea, el cual consiste que en ella no existe un estándar de las hojas de electrónicas que se utilizan para los diferentes diseños que la empresa realiza. La solución consiste en brindar a la empresa con una serie de hojas que compartan entre sí un formato básico y que puedan ser usadas por todos los ingenieros que en ella laboran.

INTRODUCCIÓN.

El siguiente proyecto se desarrolló en la empresa AESA, Asesores Estructurales. La empresa posee el problema que nunca ha tenido un control sobre las hojas de cálculo que utilizan los que laboran en la empresa (tanto en la actualidad como en años anteriores), por lo tanto existe una gran cantidad de hojas electrónicas, que comparten muy pocos aspectos entre ellas, y además no son aptas para ser utilizadas por todas las personas, porque son desarrolladas muchas veces según los gustos propios de quien las realiza.

Es debido a la razón expresada con anterioridad, que surge la necesidad de solucionar el problema ya mencionado, con el fin de proveer a la empresa con una serie de herramientas electrónicas que le sean útiles, y que además sean sencillas de utilizar, para ayudar a la empresa a solucionar el problema.

En este proyecto se presentarán cinco hojas electrónicas de cálculo, que pretenden ayudar en la solución del problema, todas ellas comparten un formato básico; las hojas desarrolladas son las siguientes:

1. Diseño de elementos circulares laminados en frío.
2. Diseño de columnas esbeltas.
3. Diseño de elementos de madera.
4. Diseño de vigas de acero.
5. Diagrama de interacción para columnas de cualquier forma de concreto.

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

Desarrollar un sistema unificado para el diseño de elementos estructurales, que se integren en una sola aplicación basados en la hoja electrónica Excel, en resumen estandarizar las hojas de cálculo estructural utilizadas en la empresa AESA.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Realizar una investigación/evaluación sobre las hojas de cálculo utilizadas en la empresa.
2. Desarrollar hojas de cálculo de los principales elementos estructurales que puedan ser utilizadas de manera estandarizada y que cumplan con los últimos requerimientos de los códigos vigentes.
3. Calibrar las hojas de cálculo con diseños existentes de la empresa.

METODOLOGÍA.

Inicialmente se procederá realizar una investigación/evaluación sobre las diferentes hojas de cálculo que utiliza la empresa, ya que cada empleado utiliza el que se ajusta mejor a sus necesidades, por lo que existe una gran cantidad de estos. A partir de esta investigación/evaluación inicial, se procederá a escoger aquellas hojas de cálculo que se encuentren más completas, sobre las cuales basarse para comenzar a desarrollar nuevas; si se considera que ninguna de las existentes pueda servir como base, se desarrollarán nuevas hojas desde cero. Una vez que las hojas de cálculo se encuentren listas, se procederá a calibrarlas con diseños existentes en la empresa con el fin de buscar errores o alguna clase de problema que se pueda haber pasado desapercibido durante su programación.

La ejecución de este proyecto se desarrolló en 3 etapas:

1. INVESTIGACIÓN Y RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.

El proyecto se comenzó por elaborar, junto a profesionales de la empresa, una lista de las hojas electrónicas que estén interesados que sean desarrolladas. Dicha lista consiste en los siguientes temas:

- Vigas de acero.

- Diseño de elementos circulares laminados en frío.
- Diseño de columnas de concreto esbeltas.
- Diseño de elementos de madera.
- Diagrama de interacción para cualquier polígono.

Una vez que se comenzó con el desarrollo del proyecto, se recopiló una gran cantidad de hojas de cálculo que existen en la empresa, que han sido desarrolladas por los profesionales que trabajan en la empresa actualmente, como por otros que laboraban en ella con anterioridad; incluso existen hojas de cálculo que nadie sabe quién las desarrolló. En total se recopilaron más de 100 hojas electrónicas, sobre temas variados, diseño de elementos en madera, diseño de columnas de concreto, diseño de elementos laminados en frío, de elementos de acero, etc. Al ser una cantidad de hojas tan grande, se decidió revisarlas conforme se fueran necesitando, según el tema que se fuera desarrollando en el momento.

2. DESARROLLO DE LAS HOJAS ELECTRÓNICAS.

Para comenzar con el desarrollo de las diferentes hojas electrónicas, se escoge un tema (vigas de acero, columnas de concreto, elementos de madera, etc.) y se busca entre la recopilación de documentos realizada anteriormente, las hojas de Excel de dicho tema. En primera instancia, al revisar las hojas de cálculo existentes en la empresa, se

busca algún formato en común que pueda ser utilizado como base para el desarrollo del proyecto; al no encontrarse ninguno, se propone un formato básico que será el estándar de ahora en adelante. El formato base escogido consistirá en que cada hoja electrónica tendrá:

- a) Una portada, en donde se encontrará el logotipo de la empresa, y el contenido de la hoja.
- b) Cada hoja del documento, tendrá un marco en el cual se incluirá información acerca del proyecto y en la esquina superior izquierda, el logotipo de la empresa.

Para el desarrollo del proyecto, se utilizaron ejemplos tomados de la literatura, con el fin de asegurarse que los procesos realizados están correctos.

Cuando se consideró necesario se hizo uso de Visual Basic, con el fin de simplificar algunos procesos y de hacerlo mucho más agradable para el usuario.

3. CALIBRACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS HOJAS ELECTRÓNICAS.

Una vez que las hojas electrónicas se encuentran completas, se continúa con un proceso que consiste en comparación, calibración, prueba y arreglos finales. Para la realización del proceso anteriormente mencionado, utiliza un programa de diseño conocido como SAP2000 o también alguna otra

hoja electrónica, en donde se ejecutará un diseño sencillo (como una viga de acero, por ejemplo); los resultados obtenidos con el programa se compararán con los obtenidos en las hojas electrónicas. No se puede esperar que los resultados obtenidos sean exactamente iguales, por lo que se acepta un rango de variación de un 10%, de no encontrarse en ese ámbito, la hoja se revisa exhaustivamente hasta encontrar el problema y reparar el error.

Las hojas son pasadas a los ingenieros que laboran en la oficina, para que estos las revisen, con el fin que se familiaricen con ellas, las revisen y den recomendaciones sobre qué está bien, qué se tiene que cambiar, qué no se incluyó...

Con este último filtro superado, las hojas electrónicas están listas para ser usadas por los ingenieros de AESA, para sus diferentes proyectos.

MARCO TEÓRICO.

1. DISEÑO DE ELEMENTOS CIRCULARES LAMINADOS EN FRÍO.

El siguiente procedimiento fue tomado del AISI, versión 2007, utilizando la metodología LRFD.

Generalidades y determinación de las propiedades geométricas.

Cuando se va llevar a cabo el diseño de un elemento circular laminado en frío,

este primero debe cumplir con el siguiente requerimiento:

$$D/t < 0.441 \cdot E/F_y$$

En donde:

D= diámetro externo de la sección transversal.

t=espesor.

E=módulo de elasticidad del acero.

F_y=límite elástico del acero (resistencia del acero).

- Determinación del área y del radio de giro:

$$A = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}$$

En donde:

A=área de la sección.

d= diámetro interno de la sección (d=D-2•t)

$$r = \frac{\sqrt{D^2 - d^2}}{4}$$

En donde:

r= radio de giro.

- Determinación del módulo de sección elástico para la sección no reducida.

Este módulo se utiliza para calcular la capacidad en flexión de un elemento circular laminado en frío, y se calcula de la siguiente manera:

$$S_f = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32 \cdot D}$$

S_f = módulo de sección elástico para la sección no reducida

1) Diseño por compresión.

El AISI 1996, menciona que para hallar la resistencia nominal (P_{nc}) a compresión de elementos cilíndricos, se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$P_{nc} = F_n \cdot A_e$$

Donde F_n, el esfuerzo de pandeo por flexión, se determina de la siguiente manera:

a) Para λ_c ≤ 1.5

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

b) Para λ_c > 1.5

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

El valor de λ_c se encuentra de la siguiente manera:

$$\lambda_c = \sqrt{F_y/F_e}$$

En donde:

F_e=esfuerzo elástico de pandeo por flexión

$$F_e = \pi^2 \cdot E / (KL/r)^2$$

Se debe calcular también el área efectiva (A_e) y el área reducida debido al pandeo local (A_o):

$$A_e = A_o + R \cdot (A - A_o)$$

$$A_o = \left[\frac{0.037}{(D/t) \cdot (F_y/E)} + 0.667 \right] \cdot A \leq A$$

$$R = \sqrt{\frac{F_y}{2 \cdot F_e}}$$

En caso de que al calcular A_o , este valor sea mayor que el área de la sección (A), entonces: $A_o=A$

Finalmente, como se dijo anteriormente, la resistencia última (P_{uc}) está dada por la ecuación que se muestra a continuación:

$$P_{uc} = \phi_c \cdot P_n$$

En donde:

$$\phi_c = 0.85$$

2) Diseño por flexión.

Para determinar la capacidad a flexión de un elemento circular laminado en frío, lo primero que se debe realizar es el cálculo del módulo de sección elástico para la sección no reducida (S_f), la fórmula para su cálculo se mostró anteriormente, en la parte (Generalidades y propiedades geométricas).

La resistencia a flexión se encuentra dada por la siguiente ecuación:

$$M_n = F_c \cdot S_f$$

El valor de F_c se puede conocer de la siguiente manera:

a) Si $D/t \leq 0.0714 \cdot E/F_y$

$$F_c = 1.25 \cdot F_y$$

b) Si $0.0714 < D/t \leq 0.318 \cdot E/F_y$

$$F_c = \left[0.970 + 0.020 \cdot \left(\frac{E/F_y}{D/t} \right) \right] \cdot F_y$$

c) Si $0.318 \cdot E/F_y < D/t$

$$F_c = \frac{0.328 \cdot E}{(D/t)}$$

La capacidad última está dada por:

$$M_u = \phi_b \cdot M_n$$

En donde $\phi_b = 0.8$.

3) Diseño por tensión.

El diseño por tensión para este tipo de elementos, es bastante sencillo, la resistencia nominal a tensión (P_{nt}) se halla con la siguiente ecuación:

$$P_{nt} = A \cdot F_y$$

Mientras que la resistencia última es:

$$P_{ut} = \phi_t \cdot P_{nt}$$

4) Diseño por cortante.¹

La resistencia por cortante se encuentra dada por la siguiente ecuación:

$$V_n = A_w \cdot F_v$$

El valor de F_v , puede ser hallado como se describe a continuación:

a) $D/t \leq \sqrt{Ek_v/F_y}$

$$F_v = 0.60 \cdot F_y$$

b) $\sqrt{Ek_v/F_y} < D/t \leq 1.51 \cdot \sqrt{Ek_v/F_y}$

$$F_v = \frac{0.60 \cdot \sqrt{Ek_v F_y}}{D/t}$$

c) $1.51 \cdot \sqrt{Ek_v/F_y} < D/t$

$$F_v = \frac{0.904 \cdot Ek_v}{(D/t)^2}$$

Al tratarse de un elemento circular, puede utilizarse: $A_w = A$.

La resistencia última será:

$$V_u = \phi_v \cdot V_n$$

2. DISEÑO DE COLUMNAS DE CONCRETO ESBELTAS.

Para el diseño de columnas de concreto esbeltas, lo primero que se debe considerar, es si se trabajará con una columna arriostrada (se restringen desplazamientos laterales) o no arriostrada (no restringen desplazamientos laterales). El ACI

¹ Este diseño se adaptó a partir del diseño de elementos que no son circulares, como canales o RT's, ya que el AISI no tiene un diseño específico por cortante para elementos circulares.

ofrece dos criterios para decidir de qué tipo de columnas se trata, el primer criterio es:

“El aumento de momentos en un extremo de la columna por efectos de un momento de segundo orden, no debe exceder el cinco por ciento de los momentos en los extremos de primer orden” (Nilson, 1999)

El segundo criterio, es una ecuación, la cual se presenta a continuación:

$$Q = \frac{\sum P_u \cdot \Delta_o}{V_u \cdot l_c}$$

En donde:

Δ_o = deflexión relativa de primer orden.

$\sum P_u$ = carga vertical mayorada total.

V_u = cortante total del piso

l_c = longitud del elemento medido de centro a centro.

Q = índice de estabilidad; si $Q \leq 0.05$, se trata de una columna o marco arriostrado.

A. COLUMNAS ARRIOSTRADAS.

Siendo que lo que se desea diseñar es una esbelta, se debe revisar que verdaderamente se trate de una columna esbelta y no de una columna corta o robusta. Se debe calcular la relación de esbeltez ($K \cdot l_u / r$) y esta debe ser menor a un valor dado, el cual varía del tipo de columna que se tenga (arriostrada o no arriostrada); para

saber si una columna arriostrada es esbelta se debe cumplir la siguiente relación:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} > 34 - 12 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2}\right)$$

En donde:

M_1 = menor de extremo factorizado; positivo si el elemento presenta curvatura doble, negativo si el miembro presenta curvatura simple.

M_2 = mayor momento de extremo factorizado.

l_u = longitud libre (sin soporte)

r = radio de giro.

k = factor de longitud efectiva.

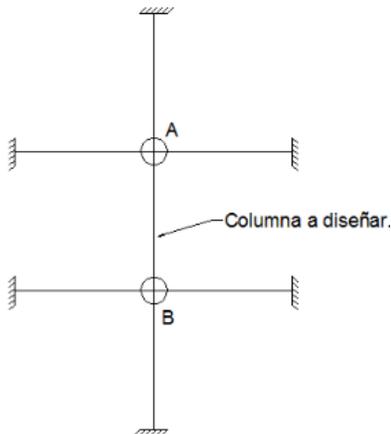


Figura N°: 1. Posicionamiento de las vigas y columnas para el cálculo de "k". Fuente el autor.

Para determinar el valor de k , se debe primero calcular el grado de restricción en cada uno de los extremos de la columna que se desea diseñar (observar figura N° 1), este se determina mediante:

$$\psi = \frac{\sum(EI/l) \text{ de las columnas}}{\sum(EI/l) \text{ de los elementos de piso (vigas)}}$$

La anterior expresión se calcula para ambos puntos (a y b, de la figura N° 1); si existe un empotramiento el valor de ψ (factor de restricción) es uno, mas si trata de una articulación su valor es diez. El valor de k puede hallarse, finalmente, mediante nomogramas o mediante las siguientes ecuaciones:

$$k = 0.7 + 0.05 \cdot (\psi_A + \psi_B) \leq 1$$

o

$$k = 0.85 + 0.05\psi_{min} \leq 1$$

En donde:

$$\psi_{min} = \min(\psi_A, \psi_B)$$

De no cumplirse la relación anteriormente presentada², los efectos de la esbeltez pueden ser ignorados.

Para una columna arriostrada, el momento mayorado que actúa al mismo tiempo que la carga axial, P_u , puede calcularse de la siguiente manera:

$$M_c = \delta_{ns} \cdot M_2$$

En donde, δ_{ns} , es el factor de amplificación, y se calcula como se muestra a continuación:

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{(1 - P_u)/(0.75 \cdot P_c)} \geq 1$$

Se debe revisar que:

$$^2 \frac{k \cdot l_u}{r} > 34 - 12 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2}\right)$$

$$1 - \frac{P_u}{0.75 \cdot P_c} \geq 1$$

En donde:

$$C_m = 0.6 + 0.4 \cdot \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(kl_u)^2}$$

B. COLUMNAS NO ARRIOSTRADAS.

Para este tipo de columnas, también debe ser revisada la relación de esbeltez, esta cambia un poco en comparación con las columnas arriostradas:

$$\frac{k \cdot l_u}{r} > 22$$

El cálculo para el valor de k, se realiza utilizando las siguientes ecuaciones:

Si $\psi_m < 2$

$$k = \frac{20 - \psi_m}{20} \sqrt{1 + \psi_m}$$

Si $\psi_m > 2$

$$k = 0.9 \cdot \sqrt{1 + \psi_m}$$

Cuando existe articulación en un extremo:

$$k = 2 + 0.3\psi_m$$

En donde:

ψ_m = factor de restricción promedio.

$$\psi_m = (\psi_A + \psi_B)/2$$

El momento factorado para este tipo de columna es:

$$M_c = M_{2,ns} + \delta_s \cdot M_{2,s}$$

En donde:

$M_{2,ns}$ = mayor momento factorizado sin cargas que generen desplazamiento lateral.

$M_{2,s}$ = mayor momento factorizado con cargas que generen desplazamiento lateral (sismo o viento).

El factor de amplificación (δ_s), se calcula de la siguiente manera:

$$\delta_2 = \frac{1}{1 - (\sum P_u / 0.75 \sum P_c)} > 1$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(kl_u)^2}$$

En donde:

$\sum P_u$ = carga vertical mayorada total.

$\sum P_c$ = carga crítica total.

Es importante recordar, de que en caso de que el factor de amplificación, tanto para columnas arriostradas como no arriostradas, es menor a uno (δ_{ns} o $\delta_s < 1$), este tomará un valor de uno.

3. DISEÑO DE ELEMENTOS DE MADERA.

Para el diseño de elementos se utilizará únicamente la metodología LRFD.

Generalidades.

Cuando se trabaja con madera, se debe considerar que las que las dimensiones que se indican no son realmente las que posee, dichas dimensiones mostradas son las que se conocen como nominales, para para conocer el tamaño real de la pieza de madera, se deben tomar en cuenta tres diferentes procesos: aserrado, cepillado y secado, por cada proceso se reducen 3 mm y se obtiene lo que se conoce como dimensiones reales, con las se trabajará. Cabe destacar que dependiendo de las condiciones de uso o de los tratamientos que reciba la madera, no siempre se restan todas las propiedades.

madera que se vaya a utilizar y también del diseño que se vaya a realizar, es decir, a diferencia del acero para el cual se utiliza la misma resistencia, F_y , ya sea para diseñar a compresión, a tensión, a cortante, etc., en la madera este esfuerzo básico varía según el diseño que se desea realizar, a tensión, a compresión (perpendicular o paralela a las fibras), cortante. Cada esfuerzo debe corregirse por diferentes factores, y estos también varían del tipo de diseño. Cuando el esfuerzo es corregido por los diferentes factores, se le denomina como esfuerzo ajustado. Vale la pena mencionar K_f para convertir esfuerzos básicos del ASD al LRFD.

El esfuerzo básico de la madera, depende principalmente del tipo de

	ASD only	ASD and LRFD											LRFD only		
	Load Duration Factor	Wet Service Factor	Temperature Factor	Burn Stability Factor	Size Factor	Flat Use Factor	Loading Factor	Repetitive Member Factor	Column Stability Factor	Blocking/Stiffness Factor	Beaming Area Factor	F_{cp} Format Conversion Factor	ϕ Resistance Factor	Time Effect Factor	
$F_b' = F_b$	x	C_D	C_M	C_t	C_L	C_F	C_{fu}	C_i	C_r	-	-	-	2.54	0.85	λ
$F_t' = F_t$	x	C_D	C_M	C_t	-	C_F	-	C_i	-	-	-	-	2.70	0.80	λ
$F_v' = F_v$	x	C_D	C_M	C_t	-	-	-	C_i	-	-	-	-	2.88	0.75	λ
$F_c' = F_c$	x	C_D	C_M	C_t	-	C_F	-	C_i	-	C_P	-	-	2.40	0.90	λ
$F_{c\perp}' = F_{c\perp}$	x	-	C_M	C_t	-	-	-	C_i	-	-	-	C_b	1.67	0.90	-
$E' = E$	x	-	C_M	C_t	-	-	-	C_i	-	-	-	-	-	-	-
$E_{min}' = E_{min}$	x	-	C_M	C_t	-	-	-	C_i	-	-	C_T	-	1.76	0.85	-

Figura N° 2. Factores de ajuste utilizados. Tomada del NDS, 2012.

A. DISEÑO DE POR TENSION.

El diseño por tensión de elementos de madera, es bastante sencillo, consiste únicamente en multiplicar el esfuerzo

básico para tensión (F_t) de la madera por los diferentes factores de ajuste y por el área neta, siendo esta área el área transversal de la sección menos los agujeros debidos a elementos de unión, como pernos o tornillos. A

continuación se muestra el procedimiento.

a) Cálculo del esfuerzo nominal:

$$F'_{t,n} = F_t \cdot C_{ch} \cdot C_f \cdot C_t \cdot C_i \cdot K_f \cdot \lambda$$

En donde:

F'_t =esfuerzo básico de tensión.

C_{ch} = factor de ajuste por humedad.

C_f = factor de ajuste por tamaño.

C_i = factor de ajuste por incisiones.

C_t = factor de ajuste por temperatura.

K_f = factor de conversión ASD-LRFD.

λ =Coeficiente de reducción.

b) Cálculo del esfuerzo nominal de diseño para tensión (T_n):

$$T_n = F'_{t,n} \cdot A_n$$

En donde:

$$A_n = A - \sum A_{\text{elementos de unión}}$$

A_n = área neta.

A = área de la sección.

c) Esfuerzo de diseño último para tensión (T_u):

$$T_u = \phi_t \cdot T_n$$

En donde:

$$\phi_t = 0.8$$

B. DISEÑO POR FLEXIÓN.

La resistencia de un elemento a flexión se encuentra dada por la siguiente ecuación:

$$M_n = F'_{b,n} \cdot S$$

En donde:

S = módulo de sección, se calcula de la siguiente manera:

$$S = \frac{b \cdot d^2}{6}$$

$F'_{b,n}$ = esfuerzo nominal de diseño a tensión.

$$F'_{b,n} = C_L \cdot F_{b,n}^*$$

$$F_{b,n}^* = F_t \cdot C_{ch} \cdot C_f \cdot C_i \cdot C_{fu} \cdot C_r \cdot C_t \cdot K_f \cdot \lambda$$

$$C_L = \frac{1 + F_{be,n}/F_{b,n}^*}{1.9} - \sqrt{\left(\frac{1 + F_{be,n}/F_{b,n}^*}{1.9}\right)^2 - \frac{F_{be,n}/F_{b,n}^*}{0.95}}$$

$$F_{be,n} = 1.20 \cdot \frac{E'_{min}}{R_B^2}$$

$$R_B = \sqrt{\frac{l_e \cdot d}{b^2}}$$

$$E'_{min} = 0.3653 \cdot E \cdot K_f \cdot \phi_s$$

El momento último se encuentra dado por la siguiente ecuación:

$$M_u = \phi_b \cdot M_n$$

En donde:

$$\varphi_b = 0.85$$

C. DISEÑO POR CORTANTE.

La capacidad por cortante para un elemento de madera, se encuentra dado por la siguiente ecuación:

$$V_n = F'_{v,n} \cdot A$$

En donde:

A = área de la sección transversal.

$F'_{v,n}$ = esfuerzo nominal para diseño a cortante, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$F'_{v,n} = F_v \cdot C_{ch} \cdot C_t \cdot K_f \cdot \lambda$$

El esfuerzo último para diseño a cortante se calcula de la siguiente forma:

$$V_u = \varphi_v \cdot V_n$$

En donde:

$$\varphi_v = 0.75$$

D. DISEÑO POR COMPRESIÓN.

El diseño por compresión para elementos de madera, se divide en dos: esfuerzos aplicados paralelos a las fibras y esfuerzos aplicados perpendiculares a las fibras.

D.1. ESFUERZOS PERPENDICULARES A LAS FIBRAS.

La capacidad de un elemento a compresión cuando a este se le aplican esfuerzos perpendiculares a sus fibras, está dado por la siguiente ecuación:

$$P_n = F'_{c\perp,n} \cdot A$$

En donde:

A = área de la sección transversal.

$F'_{c\perp,n}$ = esfuerzo nominal para compresión perpendicular a las fibras, se calcula de la siguiente manera:

$$F'_{c\perp,n} = F_{c\perp} \cdot C_{ch} \cdot C_t \cdot C_b \cdot K_f \cdot \lambda$$

En donde:

C_b = factor de longitud de apoyo

$$C_b = \frac{b + 0.95}{b}$$

El esfuerzo último se muestra a continuación:

$$P_u = \varphi_c \cdot P_n$$

En donde:

$$\varphi_c = 0.90$$

D.2. ESFUERZOS PARALELOS A LAS FIBRAS.

La capacidad de un elemento a compresión cuando a este se le aplican esfuerzos paralelos a sus fibras, está dado por la siguiente ecuación:

$$P_n = F'_{c\parallel,n} \cdot A$$

En donde:

$F'_{c\parallel,n}$ = esfuerzo nominal para compresión paralela a las fibras, se calcula de la siguiente manera:

$$F'_{c\parallel,n} = F_{c\perp,n}^* \cdot C_P$$

$$F_{c\perp,n}^* = F_{c\parallel} \cdot C_{ch} \cdot C_t \cdot K_f \cdot \lambda$$

$$C_P = \frac{1 + F_{ce,n}/F_{c\perp,n}^*}{2c} - \sqrt{\left(\frac{1 + F_{ce,n}/F_{c\perp,n}^*}{2c}\right)^2 - \frac{F_{ce,n}/F_{c\perp,n}^*}{c}}$$

El valor de "c" es:

- 0.85 para madera rolliza y postes.
- 0.80 para madera aserrada.

$$F_{ce,n} = \frac{0.822 \cdot E'_{min}}{\left(l_e/d\right)^2}$$

$$E'_{min} = 0.3653 \cdot E \cdot K_f \cdot \phi_s$$

Donde l_e es la longitud efectiva, y se puede hallar de la siguiente manera:

$$l_e = K_e \cdot l_u$$

l_u = longitud sin soporte.

K_e = factor de longitud efectiva.

El esfuerzo último se encuentra dado por la siguiente ecuación:

$$P_u = \phi_c \cdot P_n$$

En donde:

$$\phi_c = 0.9$$

4. DISEÑO DE VIGAS DE ACERO.

A. DISEÑO POR FLEXIÓN.

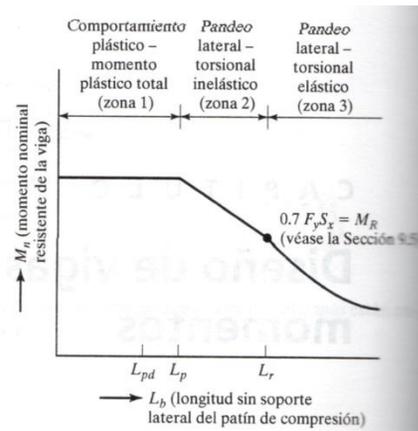


Figura N° 3. Zonas para diseño de vigas de acero. Tomada de McCormac & Brown, 2012

El diseño de vigas de acero por flexión, depende de la zona en la que se localice (ver figura N° 3); para saber en qué zona se debe diseñar, se necesita conocer l_b (distancia entre apoyos), l_p y l_r , estos dos últimos se calculan de la siguiente manera:

$$l_p = 1,76 \cdot r_y \sqrt{E/F_y}$$

$$l_r = 1.95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0,7 \cdot F_y} \sqrt{\frac{Jc}{S_x \cdot h_o} + \sqrt{\left(\frac{Jc}{S_x \cdot h_o}\right)^2 + 6.75 \cdot \left(\frac{0.7 \cdot F_y}{E}\right)^2}}$$

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y \cdot C_w}}{S_x}$$

En donde:

J = constante de torsión.

C_w = constante de alabeo.

A = área de la sección transversal.

E = módulo de elasticidad del acero

S_x = módulo de sección en el eje X.

a) Diseño en zona 1 (comportamiento plástico), $l_b \leq l_p$

El momento nominal se encuentra dado por la siguiente fórmula:

$$M_n = M_p = Z_x \cdot F_y$$

El momento último de diseño, se encuentra de la siguiente manera:

$$M_d = \phi_b \cdot M_n$$

En donde:

$$\phi_b = 0.9$$

b) Diseño en zona 2 (pandeo inelástico), $l_p < l_b < l_r$

El momento nominal se encuentra dado por la siguiente fórmula:

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - 0.75 \cdot F_y \cdot S_x) \cdot \left(\frac{l_b - l_p}{l_r - l_b} \right) \right]$$

En donde:

C_b = factor de modificación por pandeo lateral torsional, cuando ambos

extremos están restringidos a volcamiento. Su valor puede ser conocido mediante una tabla como la que se muestra a continuación:

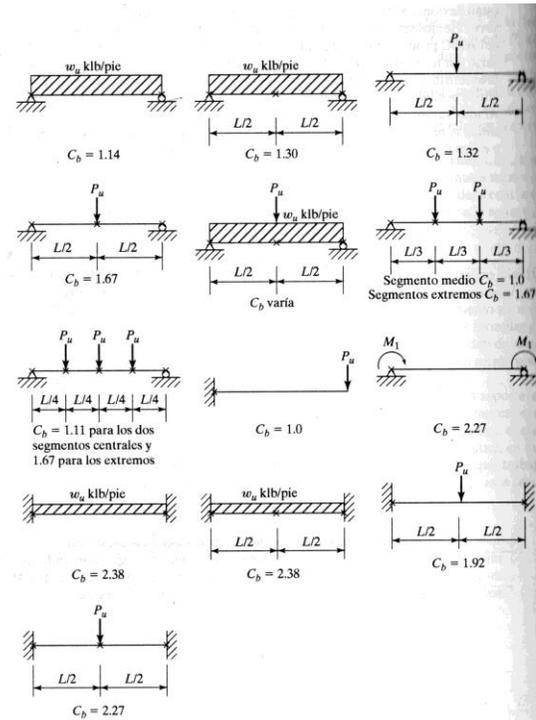


Figura N° 4. Valores de C_b . Tomada de McCormac & Brown, 2012.

También puede hallarse mediante la siguiente ecuación:

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

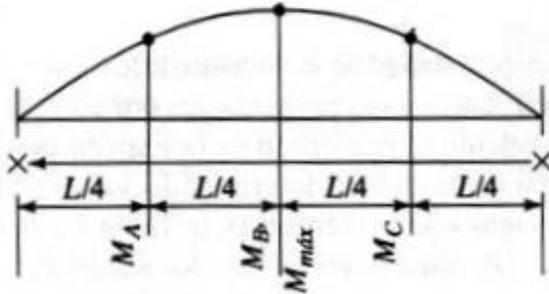


Figura N° 5. Esquema para el cálculo de c_b .
Tomada de McCormac & Brown, 2012

El momento último de diseño, se encuentra de la siguiente manera:

$$M_d = \phi_b \cdot M_n$$

En donde:

$$\phi_b = 0.9$$

c) Diseño zona 3 (pandeo elástico),
 $I_r < I_b$.

El momento nominal se encuentra dado por la siguiente fórmula:

$$M_n = S_x \cdot F_{cr} \leq M_p$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{l_b}{r_{ts}}\right)^2} \sqrt{1 + 0.078 \frac{Jc}{S_x h_o} \left(\frac{l_b}{r_{ts}}\right)^2}$$

El momento último de diseño, se encuentra de la siguiente manera:

$$M_d = \phi_b \cdot M_n$$

En donde:

$$\phi_b = 0.9$$

B. DISEÑO POR TENSIÓN.

La resistencia nominal (P_n) que soporta una viga de acero, se encuentra dada por la siguiente ecuación:

$$P_n = A_g \cdot F_y$$

En donde:

A_g = área de la sección transversal.

La resistencia última de diseño (P_u), se encuentra de la siguiente manera:

$$P_u = \phi_t \cdot P_n$$

En donde:

$$\phi_t = 0.9$$

C. DISEÑO POR CORTANTE.

La capacidad nominal a cortante (V_n) de una viga de acero, puede ser hallada de la siguiente manera:

$$V_n = 0.6 \cdot A_w \cdot C_v \cdot F_y$$

En donde:

A_w = área del alma.

El valor de C_v puede ser hallado a partir de las siguientes ecuaciones:

a) Para $h/t_w \leq 1.10 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}}$

$$C_v = 1$$

b) Para $1.10 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}} < h/t_w \leq$

$$1.37 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}}$$

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

c) Para $1.37 \sqrt{\frac{K_v \cdot E}{F_y}} < h/t_w$

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

La resistencia última de diseño para cortante (V_d), se encuentra de la siguiente manera:

$$V_d = \phi_v \cdot V_n$$

En donde:

$$\phi_t = 1$$

5. DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN PARA COLUMNAS DE CONCRETO REGULARES E IRREGULARES.

Cuando se tiene un diagrama de interacción, existen tres puntos principales: la compresión pura, la falla balanceada y la tensión pura; también existe el punto en donde únicamente existe momento, es decir la carga axial es cero, sin embargo este punto es difícil de calcular. Los demás puntos usados para la confección de un diagrama de interacción son esencialmente “de relleno”, se utilizan principalmente para darle forma y crear un diagrama mucho más completo; entre más puntos se calculen, se tendrá

un diagrama mejor, mas no es necesario calcular una gran cantidad, con unos pocos puntos se puede construir un buen diagrama.

El cálculo del punto de compresión pura, se realiza utilizando la siguiente fórmula:

$$P_n = 0.8 \cdot (0.85 \cdot f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot F_y)$$

En donde:

P_n = carga axial nominal de compresión.

A_g = área bruta (área total de la sección).

A_{st} = área total de acero.

F'_c = resistencia del concreto.

F_y = resistencia del acero.

Para el cálculo de la falla balanceada se realiza el siguiente proceso:

$$c_b = d_{max} \cdot \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c - \epsilon_s}$$

$$a_b = c_b \cdot \beta_1$$

En donde:

d_{max} = distancia desde la zona de compresión hasta la última sección de acero.

ϵ_c = deformación del concreto (0.003)

ϵ_s = deformación del acero ($\epsilon_s = F_y/E$)

Para calcular la carga axial a compresión que aporta el concreto (para la falla balanceada), P_{cb} , se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_{cb} = 0.85 \cdot A_c \cdot f'_c$$

En donde:

A_c = área de concreto que se encuentra a compresión ($A_c = a_b \cdot b$)

Para el calcular el momento que se produce por la carga del concreto (para la falla balanceada), M_{cb} , se utiliza la siguiente ecuación:

$$M_{cb} = \gamma \cdot P_{nb}$$

$$\gamma = |\bar{y} - y_{Ac}|$$

En donde:

γ = radio de giro producido por P_n .

\bar{y} = centroide de la sección transversal completa.

y_{Ac} = centroide de área de concreto (punto de aplicación de la fuerza que produce el concreto).

Para calcular el aporte del acero a la falla balanceada, se sigue el siguiente procedimiento:

$$P_{bAs} = A_s \cdot F_s$$

En donde:

A_s = área de acero únicamente de la capa.

F_s = esfuerzo del acero.

Para conocer el valor de F_s , se debe seguir el siguiente procedimiento:

a) Calcular la deformación del acero.

a.1) Si $d > c_b$:

$$\varepsilon_s = 0.003 \cdot \frac{d - c_b}{c_b}$$

a.2) Si $d_i < c_b$:

$$\varepsilon_s = 0.003 \cdot \frac{c_b - d}{c_b}$$

En donde "d" es la distancia desde la compresión hasta la capa de acero (ver figura N° 6).

b) Calcular el valor de F_s :

b.1) Si $\varepsilon_s < \varepsilon_y$:

$$F_s = \varepsilon_s \cdot E \leq F_y$$

Si el valor de la expresión $\varepsilon_s \cdot E$ es mayor que la resistencia del acero (F_y), entonces $F_s = F_y$.

b.2) Si $\varepsilon_s > \varepsilon_y$:

$$F_s = F_y$$

El momento que produce el aporte del acero, se calcula de la siguiente manera:

$$M_{bAs} = \gamma \cdot P_{bAs}$$

$$\gamma = |\bar{y} - d|$$

Lo anterior se debe realizar para cada de acero (ver figura N° 6), es decir, este proceso se repite dependiendo de cuantas capas de acero se tengan.

Además, dependiendo de la posición del acero, la carga será positiva o negativa (positiva para compresión y negativa para tensión).

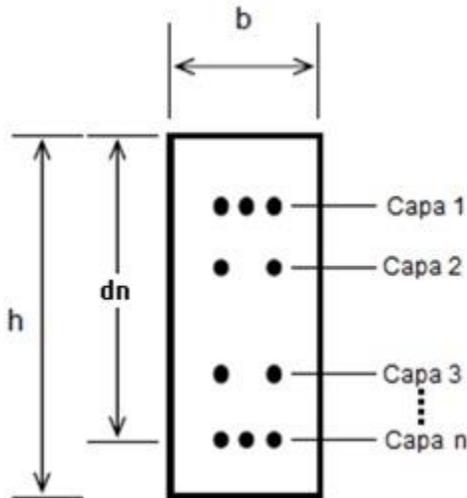


Figura: N° 6. Esquema de colocación del acero en una columna rectangular. Fuente: El autor.

Tanto, la carga nominal total para la falla balanceada (P_{bn}), como el momento nominal total (M_{bn}), se calcula de la siguiente manera:

$$P_{bn} = P_{bc} + P_{bAs_1} + P_{bAs_2} + P_{bAs_3} + \dots + P_{bAs_n}$$

$$M_{bn} = M_{bc} + M_{bAs_1} + M_{bAs_2} + M_{bAs_3} + \dots + M_{bAs_n}$$

Para calcular la carga última para la falla balanceada (P_{bu}), se debe calcular el valor de “ ϕ ”, este depende principalmente de la deformación de la última de capa de acero, al ver observar la figura N° 7, se puede apreciar mejor lo descrito anteriormente.

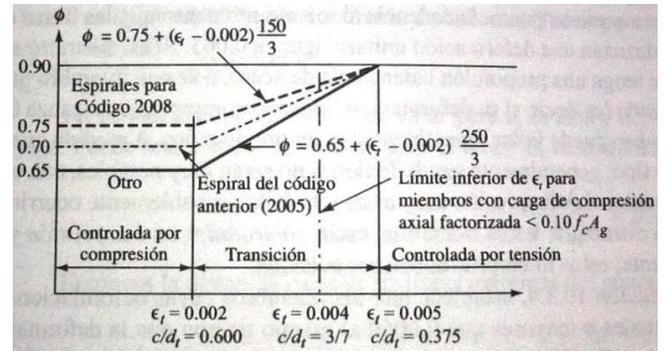


Figura: N° 7. Valor de ϕ . Tomada de McCormac & Brown, 2012.

Por lo tanto, la carga axial última y el momento último para la falla balanceada se calculan de la siguiente manera:

$$P_{bu} = \phi \cdot P_{bn}$$

$$M_{bu} = \phi \cdot M_{bn}$$

Para calcular la carga axial nominal y última en tensión, el punto de la tensión pura, se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$-P_{nt} = A_{st} \cdot F_y$$

$$P_{ut} = \phi \cdot -P_{nt}$$

En donde “ ϕ ” tendrá un valor de 0.9 (ya que es el usado para la tensión), y además se utiliza la carga nominal a tensión (P_{nt}) negativa, por una simple convención de signos, la compresión es positiva para y la tensión es negativa.

Para calcular otros puntos adicionales, se sigue exactamente el mismo procedimiento que se utiliza para calcular la falla balanceada, con la única diferencia que se varía el valor de c_b , ya

sean valores mayores o menores a él, es decir, será únicamente “c”; con sólo variar el valor de “c”, ya todo lo demás, varía un poco.

RESULTADOS.

Las hojas de electrónicas se componen de una portada donde está el logotipo de la empresa y en recuadro el contenido de la misma; además, también un botón llamado “Proyecto Nuevo”, el cual al ser presionado abrirá un ventana o formulario, en la cual el usuario debe ingresar los datos que se le solicitan para comenzar un proyecto nuevo, dichos datos luego aparecerán en cada hoja del documento, en el marco que cada hoja tiene. Este es el formato general básico, no quiere que todas las hojas electrónicas sean exactamente iguales, cada una tiene sus particularidades, como por ejemplo el uso de Visual Basic, en unas se usa muy poco o prácticamente nada y en otras fue todo lo contrario.

A continuación se presenta cada una de las hojas electrónicas de cálculo realizadas.

1. INSTRUCCIONES COLUMNAS IRREGULARES.

- 1) Colocar las coordenadas de cada vértice de la figura o sección transversal que se desea analizar. Es importante que las coordenadas del primer punto sean iguales que las del último punto.

Columna	
Vértices	
x	y
40	0
60	0
60	40
100	40
100	50
0	50
0	40
40	40
40	0

Figura Nº 8. Cuadro para colocación de los vértices. Fuente el autor.

- 2) Colocar la posición del eje neutro.

Eje Neutro	
0	40
100	40

Figura Nº 9. Colocación del eje neutro. Fuente el autor.

- 1) Hacer clic en el botón llamado “Sección”, para crear o dibujar la sección a partir del eje neutro.

3.1) En caso de que la posición del eje neutro cambie, presione el botón "Borrar" para borrar la sección anteriormente dibujada, luego repita el punto anterior.



Figura N° 10. Botones para los diferentes cálculos.
Fuente el autor.

- 2) Presione el botón "Área Total", para obtener el área total de la figura que se desea analizar.
- 3) Escoger resistencia del concreto, así como la del acero (refuerzo).

Materiales	
Concreto	
Resistencia del concreto	210 kg/cm ²
ϵ_s	0.003
β_1	0.85
Acero	
Resistencia del acero	2800 kg/cm ²
E_s	2100000.00 kg/cm ²
ϵ_s	0.0013

Figura N° 11. Propiedades de los materiales.
Fuente el autor.

- 3) Para agregar el refuerzo de acero, presione el botón "Agregar Refuerzo", se abrirá una ventana, en ella realice los siguiente:
 - a) Presionar "Agregar capa".
 - b) Escoger la cantidad y tipo de varilla.
 - c) Presionar "Agregar".

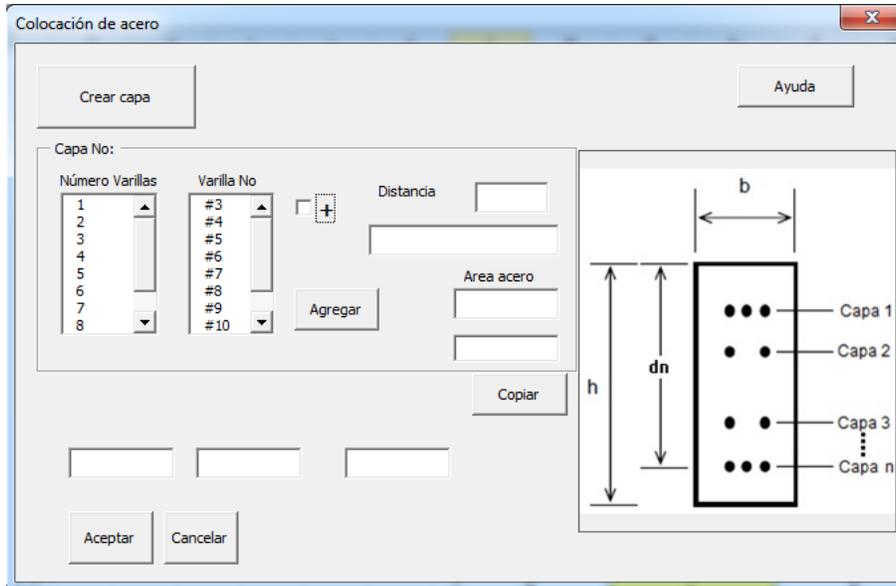


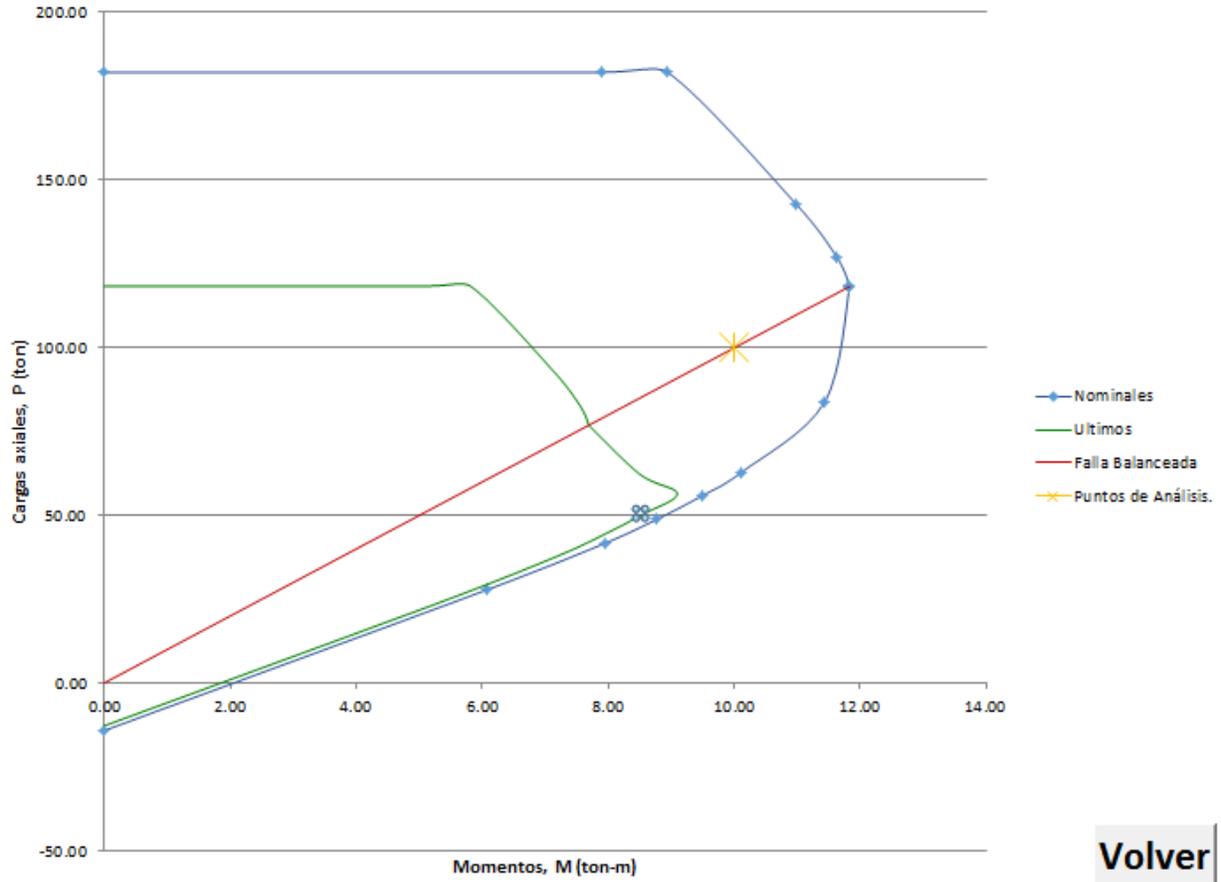
Figura N° 12. Ventana para la colocación del acero.
Fuente el autor.

- d) Escribir la distancia a la cual se encuentra localizada el área de acero.
 - e) Si existen más de un tipo de varilla por capa, seleccionar “+”, escoger el acero adicional y la cantidad.
 - f) Presionar “Copiar”, para agregar los datos a la hoja de Excel.
 - g) Presionar “Aceptar” para terminar.
- 4) Una vez colocado el refuerzo (en la figura únicamente se podrá ver la representación gráfica de la posición vertical del acero), revisar que todos los datos se encuentren correctos y luego presionar el botón “Calcular Diagrama de Interacción”; una vez realizado lo anterior, el diagrama de interacción se podrá ver en la hoja del mismo nombre.

- 5) Coloque los puntos que se desea revisar en las columnas amarillas correspondientes para tal fin, que se encuentran en el recuadro “Puntos de Análisis”.

Puntos de Análisis.	
P (ton)	M (ton-m)
100	10

Figura N° 13. Cuadro para la colocación de los puntos de análisis. Fuente el autor.



[Volver](#)

Figura N° 14. Ejemplo de un diagrama de interacción.

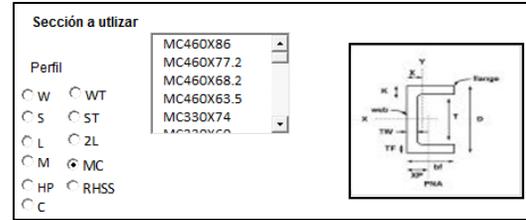
2. INSTRUCCIONES VIGAS DE ACERO.

- 1) Coloque las cargas que actúan sobre las vigas.

Cargas y momentos presentes en la viga		
Cargas		
C. Permanente	11.6	kg/cm
C. Temporal	5.13	kg/cm
C. Viento/Sismo	0	kg/cm
Momentos		
M.C. Permanente	32	kg-cm
M.C. Temporal	57	kg-cm
M.C. Viento/Sismo	0	kg-cm

Figura N° 15. Cargas que actúan en la viga.
Fuente el autor.

- 2) Escoja el tipo de acero que se desea utilizar.
- 3) Escoger el tipo de perfil que se desea analizar. Para ayudar con esta selección, presione el botón "Perfiles Recomendados", el cual desplegará una lista de perfiles que se adaptan según los requerimientos mínimos.



Perfiles Recomendados	
Perfil	Z _x (cm ³)
L76X76X4.8	12.7
L76X64X4.8	12.5
L76X51X4.8	12.2
L64X64X6.4	11.4
L64X64X4.8	8.67

Figura N° 16. Escogencia del perfil a utilizar.
Fuente el autor.

- 4) Escribir (o colocar) la longitud del tramo libre entre los apoyos.
- 5) Para el diseño por flexión, se debe escoger un valor de C_b, según sea el tipo de viga que se posea y la cantidad de apoyos, aunque también puede calcularse.

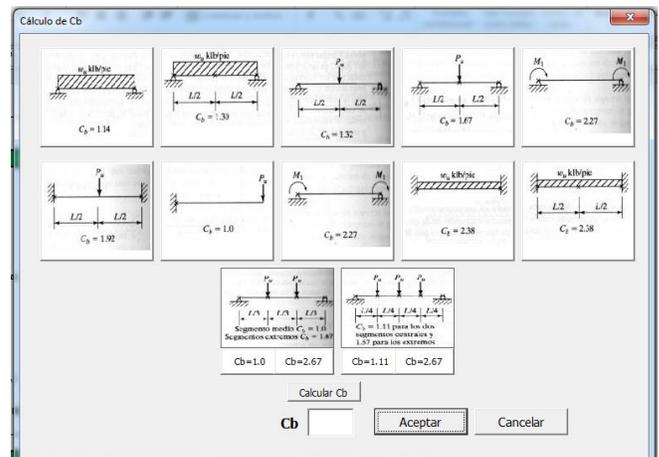


Figura N° 17. Ventana para la escogencia del valor de C_b. Fuente el autor.

3. INSTRUCCIONES SECCIONES LAMINADAS EN FRÍO.

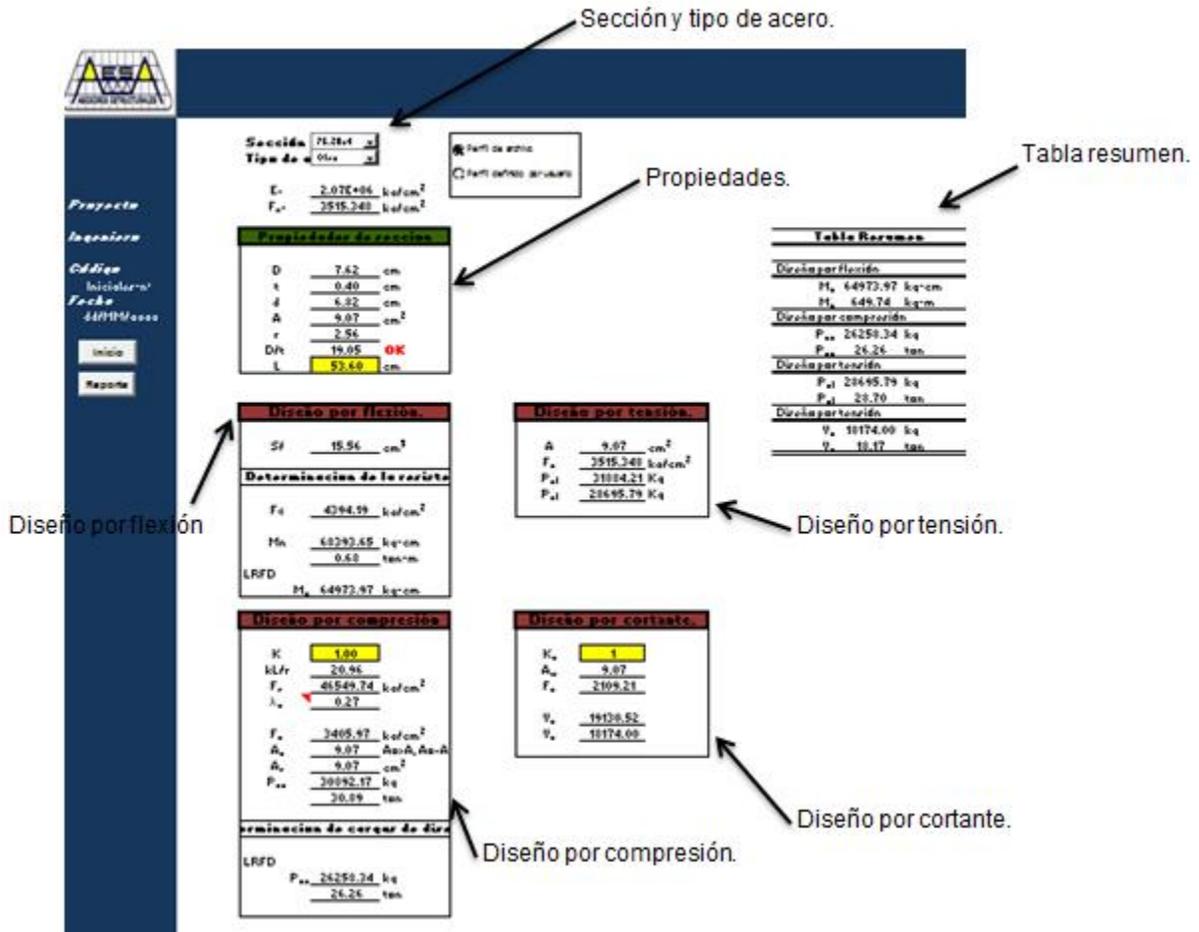


Figura Nº 18. Vista de la hoja para el diseño de elementos circulares laminados m en frío. Fuente el autor.

- 1) Seleccione la sección transversal a utilizar, esta puede ser de un perfil de archivo, o bien puede ser definida por el usuario (se debe especificar el espesor y el diámetro externo).

Sección
 Tipo de acero

Perfil de archivo
 Perfil definido por usuario

$E = \frac{2.07E+06}{3515.3481} \text{ kg/cm}^2$
 $F_y = \frac{2.07E+06}{3515.3481} \text{ kg/cm}^2$

- 2) Seleccione el tipo de acero, este también puede ser de perfil o definido por el usuario al seleccionar "otro".
- 3) Coloque la longitud del elemento que se desea diseñar, se encuentra en el recuadro "Propiedades de la Sección".
- 4) Para los diseños por compresión y cortante, coloque los

Figura Nº 19. Escogencia del perfil y del tipo de acero. Fuente el autor.

correspondientes valores de para k y k_v .

- 5) Todos los resultados se podrán encontrar en la "Tabla Resumen".
- 6) Para crear un reporte acerca de los resultados obtenidos, ir a la hoja "Reporte", en dicha hoja presionar el botón "Crear Reporte" para crear un nuevo reporte el cual contendrá toda información general del proyecto,

del perfil escogido, del acero y por último los resultados obtenidos del diseño.

- 7) En caso de querer un nuevo reporte, presionar primero el botón "Borrar" y luego "Crear Reporte".

The screenshot shows a software interface for structural design reporting. On the left, there is a dark blue sidebar with a logo at the top that reads 'ASESORES ESTRUCTURALES'. Below the logo are four buttons: 'Crear Reporte', 'Borrar', 'Inicio', and 'Diseño'. The main content area is white and contains the following fields:

Proyecto:	<input type="text"/>	Fecha:	<input type="text" value="dd/MM/aaaa"/>
Código:	<input type="text" value="Iniciales-nº proyecto"/>		
Ingeniero:	<input type="text"/>		
Parámetros utilizados			
Sección:	<input type="text" value="Definida por usuario"/>		
Tipo de acero:	<input type="text" value="Otro"/>		
Fy:	<input type="text" value="3515.3481"/>		
Propiedades de la sección			
Diámetro externo (D)	<input type="text" value="5.00"/>	cm	
Diámetro interno (d)	<input type="text" value="4.52"/>	cm	
Espesor (t)	<input type="text" value="0.24"/>	cm	

Figura N° 20. Vista de la hoja de reporte. Fuente el autor.

4. INSTRUCCIONES HOJA DE MADERA.

A. CARACTERÍSTICAS

Tipo de madera.

Tipo de madera: Chilamate
 Grado estructural: 3
 PEB: 0.315
 Densidad (peso propio): 472.5 kg/m³
 Humedad: 50.00%

Dimensiones propuestas

Dimensiones Propuestas	
Nominales	Espej/Sección
Espesor (b)	10 cm
Ancho (d)	10 cm
Reducción por:	
Sierra	3 mm
Cepillado	3 mm
Secado	9 mm
Sección real	
Espesor (b)	8.5 cm
Ancho (d)	8.5 cm

Propiedades Mecánicas

Tipo de madera: Chilamate					
F _v (kg/cm ²)	F _t (kg/cm ²)	F _c (kg/cm ²)	F _v (kg/cm ²)	F _{cl} (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)
33.70	-	2.20	10.00	25.60	55080.00

Figura N° 21. Vista de la pestaña "Características" de la hoja de Diseño de elementos de madera. Fuente el autor.

- 1) Seleccionar tanto el tipo de madera como su grado estructural.
- 2) Colocar la humedad a la cual estará sometida la pieza de madera.
- 3) Escoger las dimensiones de la sección, al presionar el botón "Escoger Sección", se abrirá una nueva ventana en donde se debe escoger el uso que tendrá la madera, estructural o tablas, y se seleccionan las dimensiones deseadas. En caso de no querer

Sección Transversal

Espesor (b): 2
 Ancho (d): 6

Denominación de la pieza: 2x6
 Espesor (b): 5,08 cm
 Ancho (d): 15,24 cm

Radio buttons: Tablas, Estructural

Buttons: Nueva Sección, Aceptar, Cancelar

Figura N° 22. Escogencia de la pieza de madera. Fuente el autor.

utilizar ninguna de las dimensiones de la lista, se puede

presionar el botón “Nueva Sección” y el usuario podrá definir las dimensiones.

- Colocar cuanto pierde la madera por los procesos de aserrado, cepillado y secado, para obtener las dimensiones reales.

- Las propiedades del tipo de madera se encontrarán en la parte baja de la hoja.

B. DISEÑO POR FLEXIÓN.

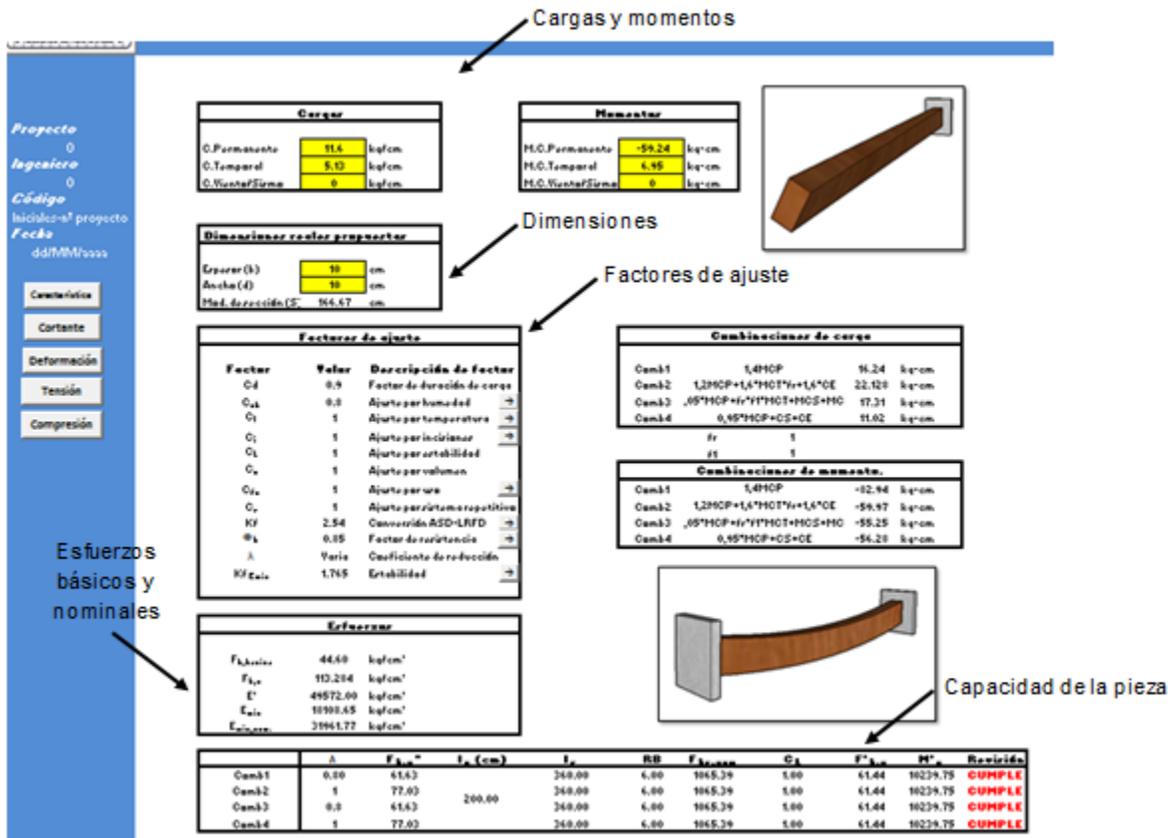


Figura N° 23. Vista de la pestaña “Diseño por flexión” de la hoja de *Diseño de elementos de madera*. Fuente el autor.

- Coloque las cargas a las cuales estará sometida la pieza de madera.
- Escoger los factores de ajuste necesarios. Al presionar la flecha que se encuentra al lado de cada

uno de los factores de ajuste se podrán ver los diferentes casos en los que se utilizan los factores de ajuste y cómo varían estos según las condiciones.

- 3) Los resultados se darán de manera automática en la parte baja de hoja.

Factores de ajuste		
Factor	Valor	Descripción de factor
C_d	0.9	Factor de duración de carga
C_{ch}	0.8	Ajuste por humedad →
C_t	1	Ajuste por temperatura →
C_i	1	Ajuste por incisiones →
C_L	1	Ajuste por estabilidad
C_v	1	Ajuste por volumen
C_{fu}	1	Ajuste por uso →
C_r	1	Ajuste por sistema repetitivo
K_f	2.54	Conversión ASD-LRFD →
Φ_b	0.85	Factor de resistencia →
λ	Varia	Coefficiente de reducción
$K_f E_{min}$	1.765	Estabilidad →

Figura N° 24. Escogencia de los factores de ajuste. Fuente el autor.

C. DISEÑO POR CORTANTE.

Cargas

Cortante presente en el elemento
 V_{real} 2.98 kgf
 Carga de: Comb1

Dimensiones reales propuesta

Espesor (b) 8.5 cm
 Ancho (d) 8.5 cm
 Longitud 100 cm

Factores de ajuste

Factor	Valor	Descripción de factor
C_{ch}	0.8	Ajuste por humedad →
C_t	1	Ajuste por temperatura →
C_i	1	Ajuste por incisiones →
K_f	2.88	Conversión ASD-LRFD →
Φ_s	0.75	Factor de resistencia →
λ	Varia	Coefficiente de reducción

Capacidad del elemento

Esfuerzos

$F_{v,permitida}$	2.20	kg/cm ²
$F_{v,n}$	6.336	kg/cm ²

Combinación: A

Combinación	A	$F_{v,n}$	A	V_n	Revisión
Comb1*	1	3.80	72.25	183.11	Si CUMPLE

Figura N° 25. Vista de la pestaña "Diseño por cortante" de la hoja de *Diseño de elementos de madera*. Fuente el autor.

- 1) Colocar el cortante real existente en la pieza de madera, y escoger el tipo de carga (permanente, temporal, combinación 1, combinación 2, etc.).
- 2) Colocar la longitud de la pieza.
- 3) Elegir los factores de ajuste.
- 4) Escoger la combinación de carga para la cual se quiere evaluar el diseño.

D. DISEÑO POR TENSIÓN.

Cargas

T.Permanente	6	kgf
T.Temporal	9	kgf
T.Viento/Sismo	0	kgf

Dimensiones reales propuestas

Espesor (b)	40.0	cm
Ancho (d)	63.0	cm

Factores de ajuste

Factor	Valor	Descripción de factor
C _u	0.0	Ajuste por humedad
C _t	1	Factor de tamaño
C _i	1	Ajuste por inclinación
K _F	2.7	Conservación ASD-LR
Φ _T	0.0	Factor de resistencia
λ		Coefficiente de reducción

Esfuerzos

F _{T,adm}	130.00	kgf/cm ²
F _{T,u}	224.44	kgf/cm ²

Pernos

Diámetro	0.32	cm
Cantidad	15	unidad
Área pernos	21.024	cm ²

Capacidad de la conexión a tensión

Área neta (A _n)	2773.496	cm ²
P _n	423020.17	kgf

Revisión de cumplimiento

Comparar con	C _u 12	
TuComb2	21.6	kgf
Cumple	SI	

Combinaciones de carga

Comb	Fórmula	Resultado	Unidad
Comb1	1.4*TCP	8.4	kgf/cm
Comb2	1.2*TCp+1.6*TCy*Fr	21.6	kgf/cm
Comb3	0.9*TCp+Fr+1.5*TCy+TCs*Fr	23.3	kgf/cm
Comb4	0.95*TCp+TCy	12.7	kgf/cm

Información sobre el elemento de unión

Proyecto: 0
 Ingeniería: 0
 Código: Inicialización proyecto
 Fecha: dd/MM/aaaa

Flexión
 Cortante
 Deformación
 Características
 Compresión

Figura N° 26. Vista de la pestaña "Diseño por tensión" de la hoja de *Diseño de elementos de madera*. Fuente el autor.

- 1) Colocar las cargas a las que estará sometida la pieza de madera.
- 2) Elegir los factores de ajuste.
- 3) Colocar el diámetro de los pernos, clavos o tornillos.
- 4) Elegir la cantidad de pernos, clavos o tornillos en una sola línea.

5) Elegir la combinación de carga con la cual se realizará la

revisión de cumplimiento.

Pernos		
Diámetro	0.32	cm
Cantidad	15	unidad
Área pernos	21.024	cm ²

Figura N° 27. Cantidad de pernos en la unión. Fuente el autor.

E. DISEÑO POR COMPRESIÓN.

Capacidad del elemento

Cargas

C. Permanente	-80.98	kg
C. Temporal	-34.16	kg
C. Viento/Plim	0	kg

Dimensiones reales propuestas

Espesor (b)	10	cm
Ancho (d)	10	cm
Área (A)	100	cm ²

Combinaciones de carga

Combi	Formula	Resultado	unidades
Comb1	1.4*CP	-127.344	kgf
Comb2	1.2*CP+1.6*W*CT	-163.600	kgf
Comb3	0.9*CP+1.6*W*CT+C3*CV	-123.668	kgf
Comb4	0.95*CP+C3*CV	-86.412	kgf

Perpendicular a las fibras

Factores de ajuste

Factor	Valor	Descripción de factor
C _u	0.90	Ajuste por humedad
C _t	1.00	Ajuste por temperatura
C _f	1.0	Longitud de apoyo
K _f	2.40	Conversión ASD-LRFD
φ _c	0.90	Factor de resistencia
λ	Varia	Coefficiente de reducción
K _{f,Estab}	1.765	Estabilidad

Paralelo a las fibras

Factores de ajuste

Factor	Valor	Descripción de factor
C _u	0.90	Ajuste por humedad
C _t	1.00	Ajuste por temperatura
K _f	2.00	Conversión ASD-LRFD
φ _c	0.90	Factor de resistencia
λ	Varia	Coefficiente de reducción

Esfuerzos

E'	88000.00	kgf/cm ²
E _{adm}	32146.40	kgf/cm ²
E _{adm,estab}	56738.40	kgf/cm ²

Esfuerzos y capacidad de la sección a comprimir

Combinación	λ	F _{c,adm} (kgf/cm ²)	P _{adm} (kgf)
Comb1	1	60.55	6054.91

Figura N° 28. Vista de la pestaña "Diseño por compresión" de la hoja de *Diseño de elementos de madera*. Fuente el autor.

- 1) Colocar las cargas a las que estará sometida la pieza.
- 2) Elegir si se trata de un elemento circular o rectangular, y colocar las dimensiones.

Dimensiones reales propuestas		
Espesor (b)	10	cm
Ancho (d)	10	cm
Área (A)	100	cm ²

Tipo de Sección

Circular

Rectangular

Figura N° 29. Dimensiones reales de la pieza de madera. Fuente el autor.

E.1. COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LAS FIBRAS.

Perpendicular a las fibras			
Factores de ajuste			
Factor	Valor	Descripción de factor	
C_{ch}	0.80	Ajuste por humedad	→
C_t	1.00	Ajuste por temperatura	→
C_k	1.10	Longitud de apoyo	
K_f	2.40	Conversión ASD-LRFD	→
ϕ_c	0.90	Factor de resistencia	→
λ	Varia	Coefficiente de reducción	
K_{Emin}	1.765	Estabilidad	→
Esfuerzos y capacidad de la sección a compresión			
$F_{c, básica}$	32.00	kg/cm ²	
Área neta (A_n)	100.00	cm ²	
Combinación	λ	$F_{c, n}$ (kg/cm ²)	P_n (Kgf)
Comb3+	1	60.55	6054.91
Revisión de cumplimiento			
Comparar con	Comb3		
TuComb3	-129.668	kgf	
Cumple	SI		

Figura N° 30. Recuadro para el diseño perpendicular a las fibras. Fuente el autor.

- 3) Elegir los factores de ajuste.
- 4) Elegir la combinación de carga que será revisada.

E.2. COMPRESIÓN PARALELA A LAS FIBRAS.

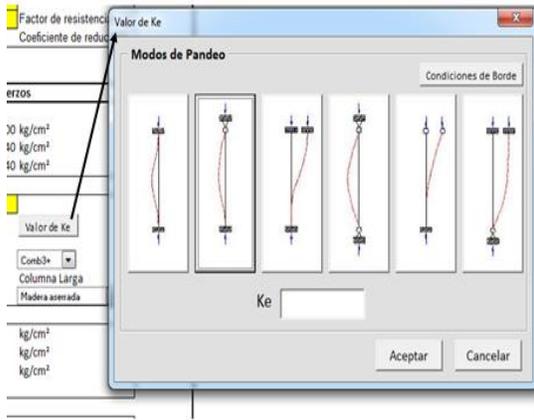
Paralelo a las fibras			
Factores de ajuste			
Factor	Valor	Descripción de factor	
C_{ch}	0.80	Ajuste por humedad	→
C_t	1.00	Ajuste por temperatura	→
K_f	2.08	Conversión ASD-LRFD	→
ϕ_c	0.90	Factor de resistencia	→
λ	Varia	Coefficiente de reducción	
Esfuerzos			
E'	88000.00	kg/cm ²	
E_{min}	32146.40	kg/cm ²	
$E_{min, max}$	56738.40	kg/cm ²	
l_u	200		
K_c	0.65	Valor de K_c	
l	130		
λ	1	Comb3+	
RB	13.00	Columna Larga	
c	0.8	Madera arrollada	
$F_{c, básica}$	8.40	kg/cm ²	
$F'_{c, n}$	12.60	kg/cm ²	
$F_{c, n, max}$	275.97	kg/cm ²	
C_n	1.64		
$F'_{c, n}$	20.68	kg/cm ²	
Área neta (A_n)	100.00	cm ²	
P_n	2067.6969	Kgf	
Revisión de cumplimiento			
Comparar con	Comb3		
TuComb3	-129.668	kgf	
Cumple	SI		

Figura N° 31. Recuadro para el diseño paralelo a las fibras. Fuente el autor.

- 3) Elegir los factores.
- 4) Colocar la longitud entre apoyos (l_u) de la pieza en centímetros.
- 5) Elegir la combinación de carga que será utilizada, que será revisada.

6) Presionar el botón “Valor de k”, se abrirá una ventana en donde se podrá escoger el valor de Ke.

Figura N° 32. Escogencia de del valor de “Ke”. Fuente el autor.



7) Elegir si se trata de madera rolliza o aserrada para obtener el valor de “c”.

8) La revisión de cumplimiento se encontrará en la parte de la hoja.

F. DEFORMACIONES.

The image shows a software interface for calculating deformations. On the left is a vertical menu with options: "Proyecto", "Ingeniero", "Código", "Fecha", "Flexión", "Cortante", "Características", "Tensión", and "Compresión". The main area contains several data entry boxes:

- Cargas:** C.Permanente (0.86 kg/cm), C.Temporal (0.36 kg/cm), C.Viento/Sism. (0.435 kg/cm).
- Dimensiones de la pieza:** Espesor (b) 8.5 cm, Ancho (d) 8.5 cm, Longitud (L) 200 cm.
- Calculo de propiedades geométricas:** I 435.005 cm⁴, E 110000 kg/cm², EI 4.8E+07.
- Proporción de carga temporal (f):** f 20.00%, 1-f 70.00%.
- Factor de acciones a largo plazo:** LP 15, Cond. Seca.
- Estimación de cargas:** W_{CP+L} 0.37 kg/cm², W_{CP+L+T} 0.25 kg/cm².
- Cálculo de deformaciones:** Δ_{LP} 7.12 cm, Δ_{CP} 150 cm, Δ_{total} 12.19 cm.
- Formaciones permisibles:** Δ_{max,LP} -, Δ_{max,CP} L/400, 0.500 cm.

On the right, there is a diagram of a beam with a uniformly distributed load and a parabolic deflection curve. Next to it is a table of formulas:

$\delta = V$	$\dots \dots \dots = \frac{wl^2}{2}$
V_s	$\dots \dots \dots = \frac{wl}{2} \left(\frac{l}{2} - x \right)$
M_{max} (a cm)	$\dots \dots \dots = \frac{wl^2}{8}$
M_x	$\dots \dots \dots = \frac{wl}{2} (l - x)$
Δ_{max} (a cm)	$\dots \dots \dots = \frac{5wl^4}{384 EI}$
Δ_x	$\dots \dots \dots = \frac{wl^3}{24 EI} (l^2 - 2lx^2 + x^3)$

Arrows point from the text labels on the right to the corresponding input fields in the software interface:

- "Cargas" points to the Cargas box.
- "Proporción de la carga temporal" points to the f input field.
- "Factor de largo plazo" points to the LP input field.
- "Estimación de cargas." points to the W_{CP+L} and W_{CP+L+T} input fields.
- "Cálculo de deformaciones" points to the Δ_{LP}, Δ_{CP}, and Δ_{total} input fields.
- "Deformaciones permisibles" points to the Δ_{max,LP} and Δ_{max,CP} input fields.

At the bottom right, there is a box labeled "La sección cumple:" with "Δ_{LP} SI" and "Δ_{CP} NO".

Figura N° 33. Vista de la pestaña “Deformaciones” de la hoja de Diseño de elementos de madera. Fuente el autor.

- 1) Colocar las cargas que actúan sobre la pieza.
- 2) Colocar la longitud del elemento.

- 3) Colocar el porcentaje de carga temporal que se supone actuará.

Proporción de carga temporal (f)	
f	30.00%
1-f	70.00%

Figura N° 34. Porcentaje de carga temporal que actúa en un momento. Fuente el autor.

- 4) Elegir el “Factor de acciones a largo plazo” (LP).

Figura N° 35. Deformaciones permisibles por tipo de viga. Fuente el autor.

- 6) Elegir el tipo de viga para calcular el valor de la deformación real.

- 5) Elegir el tipo de viga para calcular el valor de la deformación permisible.

5. DISEÑO DE COLUMNAS ESBELTAS.

Deformaciones permisibles.

Viga longitudinal puentes ferrocarrileros. ▼

*V.T.: viga de techo.

$\Delta_{max,LP}$	-	
	-	cm
$\Delta_{max,CP}$	L/400	
	0.500	cm

Figura N° 36. Vista de la pestaña “Arriostradas” de la hoja de *Diseño de Columna Esbeltas*. Fuente el autor.

A. ARRIOSTRADAS.

- 1) Elegir la resistencia del concreto.
- 2) Colocar las cargas de servicio en el recuadro “Cargas de servicio”, en los recuadros amarillos destinados para este fin, es importante no olvidar el sentido de aplicación de la carga (positiva o negativa).
- 3) Colocar el ancho y el peralte, así como también la longitud sin soporte lateral (l_u) y la longitud de centro a centro (l_c).
- 4) Para evaluar la esbeltez, presionar el botón “Calcular Esbeltez”, se abrirá una ventana, en ella rellenar todos los espacios en blanco con la información solicitada, luego presionar el botón “Calcular” para hallar el valor de “K”. Para salir de la ventana presionar el botón “Aceptar”.

Figura N° 37. Ventana para el cálculo de “K”.
Fuente el autor.

- 5) Una vez realizado lo anterior, los demás parámetros se calcularán de manera automática y los resultados se podrán encontrar en el recuadro “Resultados: Fuerzas a utilizar”.

B. NO ARRIOSTRADAS.

- 1) Elegir la resistencia del concreto.

Figura N° 38. Escogencia del tipo de concreto.
Fuente el autor.

- 2) Colocar las cargas de servicio en el recuadro “Cargas de servicio”, en los recuadros amarillos destinados para fin.

Cargas de servicio					
	Axial		Momento Superior		Momen
Permanente	1098	kg	99998000	kg-cm	10000000
	1.098	ton	999.98	ton-m	1000
Temporal	0	kg	0	kg-cm	0
	0	ton	0	ton-m	0
Sismo	0	kg	0	kg-cm	0
	0	ton	0	ton-m	0

Figura N° 39. Cargas que actúan sobre la columna. Fuente el autor.

- Colocar el ancho y el peralte, así como también la longitud sin soporte lateral (l_u) y la longitud de centro a centro (l_c).

Dimensiones		
Ancho (a)	25.00	cm
Peralte (h)	50.00	cm
r	15.00	
Momento de inercia (I_x)	65104.17	cm ⁴
Longitud sin soporte (l_u)	365.76	cm
Longitud de centro a centro (l_c)	365.76	cm
Area (A_c)	1250	cm ²

Figura N° 40. Dimensiones de la columna. Fuente el autor.

- Para evaluar la esbeltez, presionar el botón "Calcular Esbeltez", se abrirá una ventana, en ella rellenar todos los espacios en blanco con la información solicitada, luego presionar el botón "Calcular" para hallar el valor de "K". Para salir de la ventana presionar el botón "Aceptar".

Figura N° 41. Ventana para el cálculo de "k". Fuente el autor.

- En el recuadro "Cálculo de Cargas", colocar la cantidad de columnas periféricas y la cantidad de columnas centrales.
- Elegir el porcentaje de carga que soportan las columnas periféricas.

Cálculo de cargas.		
Pc	283066.68	kg
Pu	1152.90	kg
Nº de columnas periféricas	2	
Nº de columnas centrales	0	
Porcentaje que soporta cada columna periférica	70%	
	75%	
	80%	
ΣP_c	566133.35	kg
ΣP_u	1152.90	kg

Figura N° 42. Recuadro para el cálculo de cargas. Fuente el autor.

- Una vez realizado lo anterior, los demás parámetros se calcularán de manera automática y los resultados se podrán encontrar en

el recuadro “Resultados: Fuerzas a utilizar”.

C. DIAGRAMA DE INTERACCIÓN.

1) Elegir la resistencia del concreto.

Concreto	
Resistencia del concreto	240 kg/cm ²
ϵ_c	0.003
β_1	0.85

Figura N° 43. Escogencia del concreto. Fuente el autor.

2) Elegir la resistencia del acero de refuerzo.

Acero	
Resistencia del acero	4220 kg/cm ²
E_s	2038901.90 kg/cm ²
ϵ_y	0.002

Figura N° 44. Escogencia del tipo de acero. Fuente el autor.

3) Colocar las dimensiones de la sección, ancho y peralte, también el recubrimiento de concreto.

4) Para agregar el refuerzo de acero, presione el botón “Agregar Refuerzo”, se abrirá una ventana, en ella realice lo siguiente.

Figura N° 45. Ventana para la colocación del acero. Fuente el autor.

- Presionar “Agregar capa”.
- Escoger la cantidad y tipo de varilla.
- Presionar “Agregar”.
- Escribir la distancia a la cual se encuentra

localizada el área de acero.

- Si existen más de un tipo de varilla por capa, seleccionar “+”, escoger el

acero adicional y la cantidad.

- f) Presionar “Copiar”, para agregar los datos a la hoja de Excel.
 - g) Presionar “Aceptar” para terminar.
- 5) Los puntos de análisis se colocan en el recuadro “Puntos de análisis”, en la zona amarilla destinada para tal fin.

Puntos de Análisis.	
P (ton)	M (ton-m)
100	10

Figura N° 46. Cuadro para la colocación de los puntos de análisis.
Fuente el autor.

6. RESULTADOS OBTENIDOS CON SAP2000 Y CON DOS HOJAS DE CÁLCULO.

A continuación se presentan dos diseños, uno de vigas de acero y otro de secciones de acero circulares laminadas en frío, realizados con el fin de probar y comparar las hojas electrónicas con un programa conocido de diseño, como lo es SAP2000.

A. SECCIONES CIRCULARES DE ACERO LAMINADAS EN FRÍO.

Tabla N° 1

Resultados: Secciones circulares laminadas en frío.				
	SAP	Hoja electrónica	Unidades	Error
Flexión	1075842.028	1075842.040	kg-cm	0.000%
Tensión	262400.495	262400.498	kgf	0.000%
Compresión	236449.938	236437.410	kgf	0.005%

Fuente: El autor



Figura N° 47. Elemento circular utilizado para la calibración. Fuente SAP 2000.

Para este ejemplo se tomó un perfil definido por el usuario, el cual tiene un diámetro externo de 20 cm y un espesor de 2 cm, con una longitud de 300 cm; mientras que la resistencia del acero es de 2320.13 kg/cm². En la siguiente figura se pueden apreciar las propiedades físicas de la sección.

Propiedades de sección		
D	20.00	cm
t	2.00	cm
d	16.00	cm
A	113.10	cm ²
r	6.40	
D/t	10.00	OK
L	300.00	cm

Figura N° 48. Propiedades del elemento escogido. Fuente el autor.

Para la comparación se utilizó la herramienta para diseño laminados en frío que está incluida en el programa SAP2000, el cual utiliza el estándar de

la AISI en su versión de 1996. Para este ejemplo no se colocaron cargas externas, la única presente es la del mismo elemento.

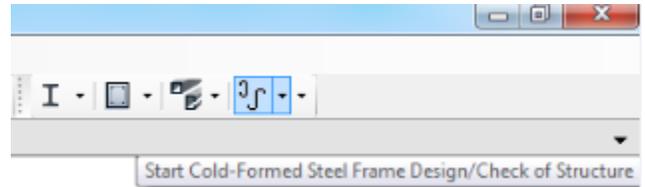


Figura N° 49. Función de SAP2000 para el diseño de elementos laminados en frío. Fuente SAP 2000.

B. VIGAS DE ACERO.

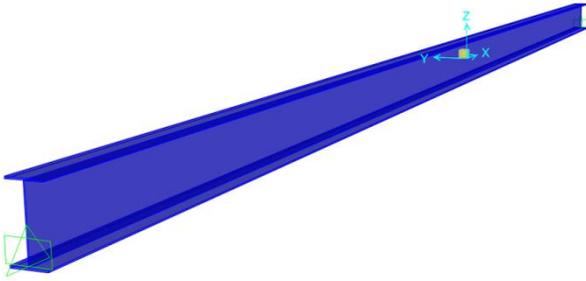


Figura N° 50. Viga de acero utilizada. Fuente SAP 2000.

Para este diseño se utilizó una viga sencilla de acero, simplemente apoyada en sus extremos, de una longitud de 6 m. La sección escogida fue la W200X15, el tipo de acero: A36 M, con una resistencia (F_y) de 2531 kg/cm^2 . El modulo de elasticidad (E) usado fue el mismo que utiliza SAP (con el fin de obtener los mejores resultados), el cual es de $2\,038\,901.92 \text{ g/cm}^2$. Al igual que en el ejemplo anterior, no se le colocaron cargas externas a la viga, se trabajó únicamente con el peso propio del elemento.

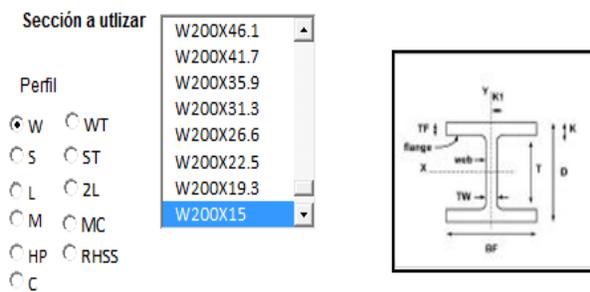


Figura N° 52. Perfil de acero utilizado. Fuente el autor.

Propiedades del perfil					
Peso	15.00	Kg/m	d	20.00	cm
Área	19.10	cm ²	h_0	19.50	cm
Esp. Alma (t_w)	0.43	cm	r_{ts}	2.57	cm
Patín (b_f)	10.00	cm			
Espesor patín (t_f)	0.52	cm			

Eje X		
Inercia (I_x)	1,280.00	cm ⁴
Z_x	145.00	cm ³
S_x	128.00	cm ³
Radio de giro (r_x)	8.18	cm

Eje Y		
Inercia (I_y)	87.00	cm ⁴
Z_y	27.20	cm ³
S_y	17.40	cm ³
Radio de giro (r_y)	2.14	cm

Figura N° 53. Propiedades del perfil utilizado. Fuente el autor.

Para este ejemplo, se utilizó la herramienta para diseño de elementos de acero que SAP 2000, también incluye, el cual utiliza el AISC 360-10, como estándar para el diseño. Los resultados se pueden apreciar en la siguiente tabla:

Tabla N° 2

Resultados: Vigas de acero				
	SAP	Hoja electrónica	unidades	Error
Flexión	97017.385	97151.5	kg-cm	0.138%
Tensión	43508.761	43507.890	kgf	0.002%
Cortante	13120.967	13120.704	kgf	0.002%

Fuente: El autor.

ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Las hojas de cálculo electrónicas hechas con el programa Excel se realizaron con la intención de ayudar a la empresa AESA, a estandarizar las hojas de cálculo que allí utilizan y las cuales varían de ingeniero a ingeniero, además de las realizadas por antiguos empleados, las cuales se han ido acumulando, llegando a tener muchas veces una gran cantidad de hojas para realizar un mismo diseño, o muy pocas en otros casos. Como estas hojas son realizadas por los propios empleados, muchas veces están hechas son gustos y comodidades propias de quien las realiza, es decir, es prácticamente para uso propio únicamente, ya que para las demás personas puede resultar más sencillo hacer nuevas hojas de cálculo, que tratar de entender las que hizo otro compañero.

Es importante mencionar porque se decidió realizar una hoja electrónica sobre elementos circulares laminados en frío, siendo elementos poco utilizados muy poco, la principal razón es que en la empresa ya existe una hoja para elementos tubulares rectangulares y cuadrados, mientras que de circulares no existía prácticamente nada, únicamente unas hojas muy viejas bastante confusas. En esta hoja de cálculo se incluyó también la función para crear de manera automática reporte sobre los resultados del diseño realizado, función bastante útil, mas no

se incluyó en las demás hojas de cálculo, teniendo como principal razón el costo de programarla en las otras, ya que el proceso de diseño de laminado en frío para elementos circulares es bastante sencillo y tiene muy pocas variables. Esta es una función que puede resultar bastante útil, por lo que sería bastante beneficio incluirla en las demás.

Con respecto al usuario, como parte del proceso de evaluación, era importante tomar en cuenta sus recomendaciones, como por ejemplo algún proceso que pudiera faltar, o algún dato mal colocado. En general la opinión ha sido que se trata de herramientas relativamente sencillas de utilizar, aunque en algunos procedimientos se necesita de más ayuda, aparte de las instrucciones.

Respectivamente a la hoja de "Diagramas de Interacción para columnas de concreto regulares e irregulares", esta es capaz de dar un diagrama para una gran cantidad de columnas de diferentes formas, únicamente limitado a la cantidad de vértices de la figura, es posible crear un gráfico para una columna con forma de trapecio, te, cuadrada, rectangular, en fin, casi cualquier forma. En ella se puede observar el gráfico con la forma de la columna con el acero que ella posee, sin embargo ese acero únicamente se podrá apreciar en su posición vertical, que es la que importa realmente para crear un diagrama de interacción; y también porque al estar

hecha para crear figuras para gran cantidad de formas, es difícil conocer donde estará el acero en su posición horizontal, lo cual es mucho más sencillo programar únicamente la posición vertical.

Las hojas presentan una limitación, propia de Excel, y es que al trabajar con macros y herramientas de Visual Basic, en algunas ocasiones, estas pueden dejar de funcionar, a veces trabaja bien en una computadora pero en otra no son reconocidos. Este es un problema que ocasiona que muchas personas no gusten de trabajar con macros y les huyan.

En cuanto a los resultados obtenidos del proceso de calibración, del cual en este trabajo se presentaron unos ejemplos, se puede apreciar que las hojas electrónicas desarrolladas, cumplen su función, casi a la perfección, las pequeñas desviaciones se debe a variables que cambian un poco su valor, decimales, etc.; al observar los cuadros comparativos, resalta que el error entre los datos obtenidos con las hojas desarrolladas y los hallados con SAP 2000, es mínimo, casi nulo; sin embargo, lo más importante, es que estas hojas de cálculo, sean realmente funcionales para la empresa, de qué sirve que estas puedan resolver problemas, si son incómodas de usar para los empleados, mas esta es una pregunta para la que se necesita de más tiempo para contestar, ya que el proceso de prueba en la empresa tarda un tiempo, y de este proceso deben

atenderse todas aquellas recomendaciones que se puedan dar, para así finalmente obtener una versión final que sea de mucha utilidad y sean de gran ayuda para la empresa.

Con respecto al usuario, como parte del proceso de evaluación, era importante tomar en cuenta sus recomendaciones, como por ejemplo algún proceso que pudiera faltar, o algún dato mal colocado. En general la opinión ha sido que se trata de herramientas relativamente sencillas de utilizar, aunque en algunos procedimientos se necesita de más ayuda, aparte de las instrucciones.

RECOMENDACIONES.

Este es un proyecto que la empresa puede desarrollar a largo plazo, haciendo crecer, poco a poco, la cantidad de diseños que se encuentran estandarizados, es decir, darle continuidad, tratando de conservar el formato básico aquí propuesto, con el fin de conservar una sola línea de desarrollo y tener uniformidad y estandarización, que al final, es lo que busca este proyecto. Para próximas versiones y cambios, se toma como base las recomendaciones que puedan dar quienes laboran en la empresa; además de las necesidades que puedan ir surgiendo, como por ejemplo que la hoja de la "Vigas de Acero" se le pueda incluir una sección para elementos en

diseño de elementos en compresión de acero.

Debido a la facilidad con que pueden ser utilizadas, cualquier persona podría utilizarlas, mas se recomienda que únicamente sean utilizadas por personas con conocimientos en la materia y así evitar posibles inconvenientes.

CONCLUSIONES.

1. Se logró desarrollar una serie de herramientas electrónicas, con un formato estándar entre ellas, para ser usadas por los ingenieros de la empresa AESA.
2. Todos los procesos utilizados para el desarrollo de este son aptos para ser automatizados de una manera sencilla y de forma amigable para el usuario.
3. Los procesos son aptos para ser automatizados de manera sencilla (uno más que otros).
4. La hoja de Elementos Circulares Laminados en Frío, es la única que presenta una “hoja de reporte”, pero puede aplicarse a las demás en un futuro.
5. En la hoja de Columnas Esbeltas, también presenta la posibilidad de realizar un diagrama de interacción, pero a diferencia de la hoja “Diagramas de Interacción para columnas de concreto regulares e irregulares”, este es un poco más limitado,

únicamente es funciona para columnas rectangulares o cuadradas.

6. La hoja Vigas de Acero, es capaz de diseñar tanto vigas con sección transversal en forma de “H”, como canales, secciones tubulares y perfiles dobles, básicamente todas las presentes en el AISC, excluyendo perfiles circulares.
7. La hoja Diagrama de interacción para columnas de concreto regulares e irregulares, puede construir un diagrama de interacción para gran cantidad de forma, desde sencillas columnas rectangulares, tes, trapecios, entre otras; únicamente se encuentra limitado por la cantidad de vértices que posea.
8. En el caso de la hoja para diseño de elementos en madera, en la sección de deformaciones, esta se encuentra limitada únicamente a cuatro tipos de vigas.
9. Existen diferentes programas de diseño capaces de realizar gran cantidad de procesos, mas requieren de una inversión (económica y temporal), por lo que una hoja programada de Excel, puede resultar mucho más sencilla y menos inversión.

ANEXOS.

ANEXO A.

1. Factores de ajuste para el diseño de elementos de madera.
2. Tipos de madera.
3. Tipos de acero según el AISC.
4. Diámetros y áreas de varillas.
5. Tipos de concreto.

1. FACTORES DE AJUSTE PARA DISEÑO DE ELEMENTOS DE MADERA.

Factores de ajuste por humedad (C_{CH})

Espesores menores de 12 cm						
Condición de humedad	Propiedad Mecánica					
	F_b	F_t	F_v	F_{c^*}	F_{cl}	E
Mayor 18%	0.86	0.84	0.97	0.67	0.70	0.97
Menor 12%	1.02	1.04	1.01	1.12	1.00	1.00
Espesores mayores de 12 cm						
Mayor 18%	0.86	0.84	0.97	0.67	0.67	0.97
Menor 12%	0.88	0.87	0.98	0.86	0.67	0.97

Factores de ajuste por temperatura (C_{ct})

Propiedad mecánica	Condición de humedad en servicio	C_{ct}		
		$T \leq 38^\circ\text{C}$	$38^\circ\text{C} < T \leq 52^\circ$	$52^\circ\text{C} < T \leq 65^\circ$
F_t, E, E_{min}	Húmedo o seco	1.00	0.90	0.90
F_b, F_v, F_c, F_{c^*}	Seco	1.00	0.80	0.70
	Húmedo	1.00	0.70	0.50

Factor de ajuste por incisión (C_i)

Propiedad Mecánica	C_i
F_t, E, E_{min}	0.95
F_b, F_v, F_c	0.80
F_{c^*}	1.00

Factor de conversión de formato (kf)

Aplicación	P. Mecánica	Kf
Miembros	F_b	2.540
	F_t	2.700
	F_v	2.880
	F_{c^*}	2.400
	F_{cl}	2.083
	E_{min}	1.765
Conexiones	Todas	3.32

Factor de uso del lado ancho (C_{fu})

Ancho (cm)	Canto (cm)	
	5.0 y 7.5	10
5.0 y 7.5	1	-
10	1.1	1
12.5	1.1	1.05
15	1.15	1.05
20	1.15	1.05
25 y mayores	1.2	1.1

Factor de resistencia, LRFD (ϕ)

Aplicación	P. Mecánica	ϕ
Miembros	$F_b (\phi_b)$	0.85
	$F_t (\phi_t)$	0.80
	$F_v (\phi_v)$	0.75
	F_{c^*} y $F_{cl} (\phi_c)$	0.90
	$E_{min} (\phi_s)$	0.85
Conexiones	Todas (ϕ_r)	0.65

Fuente: Tuk Durán, 2009

2. TIPOS DE MADERA.

Madera	PEB	grado	Fb (kg/cm ²)	Ft (kg/cm ²)	Fv (kg/cm ²)	Fc. (kg/cm ²)	FcII (kg/cm ²)	E (kg/cm ²)
Almendro	0.94	1	265	-	13.5	232.5	232.5	275086
		2	204	-	13.5	232.5	178.6	247578
		3	154	-	13.5	232.5	134.8	220069
Jícara	0.636	1	167.7	-	9	62.2	127.5	224000
		2	128.7	-	9	62.2	97.9	202000
		3	97.2	-	9	62.2	73.1	179000
Cocobolo	0.699	1	212.3	-	5.5	94	135.7	189713
		2	163	-	5.5	94	104.2	170742
		3	123	-	5.5	94	78.7	151770
Manga Larga	0.633	1	167.5	-	8.7	59.1	132	181000
		2	128.5	-	8.7	59.1	101	163000
		3	97.1	-	8.7	59.1	76	144000
Gavilán	0.518	1	122	130	8.4	32	88.2	110000
		2	93.8	99.5	8.4	32	67.8	99000
		3	70.8	75	8.4	32	51.1	88000
María	0.554	1	133.4	-	10.1	61.7	114.8	144747
		2	102.4	-	10.1	61.7	88.1	130272
		3	77.3	-	10.1	61.7	66.5	115749
Pilón	0.61	1	134	105	8	34	77.3	108000
		2	103	80.7	8	34	59.4	97000
		3	77.8	60.9	8	34	44.8	86500
Iagarto	0.424	1	130	-	5.7	19	94.9	166000
		2	100	-	5.7	19	72	149000
		3	75.6	-	5.7	19	55	133000
Paleta	0.412	1	117.8	-	6.8	27.8	79.3	81000
		2	90.4	-	6.8	27.8	60.9	73000
		3	68.3	-	6.8	27.8	46	65000
Chancho colorado	0.394	1	80	104	4.6	15.3	52	81000
		2	62	79.6	4.6	15.3	40	73000
		3	46.5	60	4.6	15.3	30	65000
Aceituno	0.361	1	115.7	-	4.5	19.8	78.6	117872
		2	88.7	-	4.5	19.8	60.3	106085
		3	67	-	4.5	19.8	45.5	94297
Jaúl	0.353	1	107	124	6	15.7	44.9	115000
		2	82	95	6	15.7	34.5	104000
		3	62	72	6	15.7	26	92000

Chancho blanco	0.394	1	95.1	-	5.6	19.6	55	105529
		2	73	-	5.6	19.6	42.2	94976
		3	55.1	-	5.6	19.6	31.8	84423
Laurel	0.42	1	96.4	71.6	3.44	13.1	54.8	93000
		2	74	55	3.44	13.1	42.1	83900
		3	55.9	41.5	3.44	13.1	31.8	74500
Jacaranda	0.312	1	53.4	-	3.4	8	53.5	125000
		2	41	-	3.4	8	41	111000
		3	31	-	3.4	8	31	99000
Chilamate	0.315	1	58.2	-	2.2	10	44.2	68850
		2	44.6	-	2.2	10	34	61965
		3	33.7	-	2.2	10	25.6	55080
Melina	0.45	1	112.2	47.94	8.976	-	48.96	81600
		2	87.72	35.7	8.976	-	37.74	71400
		3	64.26	23.46	8.976	-	27.54	66300
Acacia	0.57	1	175.44	114.24	13.668	121.788	68.34	122400
		2	136.68	85.68	13.668	121.788	53.04	107100
		3	99.96	57.12	13.668	121.788	38.76	96900
Pochote	0.35	1	79.56	55.08	3.468	37.128	10.2	56100
		2	63.24	40.8	3.468	37.128	8.16	51000
		3	45.9	27.54	3.468	37.128	6.12	45900
Ciprés	0.54	1	128.52	66.3	13.26	124.236	27.54	76500
		2	99.96	49.98	13.26	124.236	21.42	66300
		3	73.44	33.66	13.26	124.236	16.32	61200
Teca	0.58	1	212.16	79.56	8.568	48.144	81.6	127500
		2	167.28	59.16	8.568	48.144	63.24	117300
		3	120.36	39.78	8.568	48.144	45.9	102000

Fuente: Tuk Durán, 2009

3. TIPOS DE ACERO SEGÚN EL AISC.

Designación	F _y (Kg/cm ²)	F _u (Kg/cm ²)
A36M Fy 2200	2200	4000
A36M Fy 2500	2531	4000
A529M G290	2800	4150
A529M G345	3450	4850
A572M G290	2900	4150
A572M G345	3450	4500
A572M G415	4150	5200
A572M G450	4500	5500
A242M G290	2900	4350
A242M G315	3150	4600
A242M G345	3500	4850
A588M G290	2900	4350
A588M G315	3150	4600
A588M G345	3450	4850
A852M	4850	6200
A514M Fy 6200	6200	6900
A514M Fy 6900	6900	7600

Fuente: AISC, 2010

4. DIÁMETROS Y ÁREAS DE VARILLAS.

5. Varilla N°	Diámetro (cm)	Área (cm ²)
#2	0.64	0.32
#3	0.95	0.71
#4	1.27	1.29
#5	1.59	1.99
#6	1.91	2.84
#7	2.22	3.87
#8	2.54	5.1
#9	2.87	6.45
#10	3.23	8.19
#11	3.58	10.06
#12	4.3	14.52
#13	5.73	25.81

Fuente: McCormac & Brown, 2012

6. TIPOS DE CONCRETO.

Concreto				
Resistencia a la compresión, f'_c		Módulo de Elasticidad, E_c		β_1
MPa	kg/cm ²	MPa	kg/cm ²	
17	170	17450	174500	0.85
21	210	21500	215000	0.85
24	240	23000	230000	0.85
28	280	24900	249000	0.85
35	350	27800	278000	0.8
42	420	30450	304500	0.75

Fuente: ACI 318S-08, 2008.

ANEXO B.

Ejemplos de diseño.

1. Diseño de un elemento laminado en frío.
2. Diseño de una columna de concreto.

Para los ejemplos de diseño se utilizará el siguiente modelo de SAP2000, realizado por la empresa AESA.

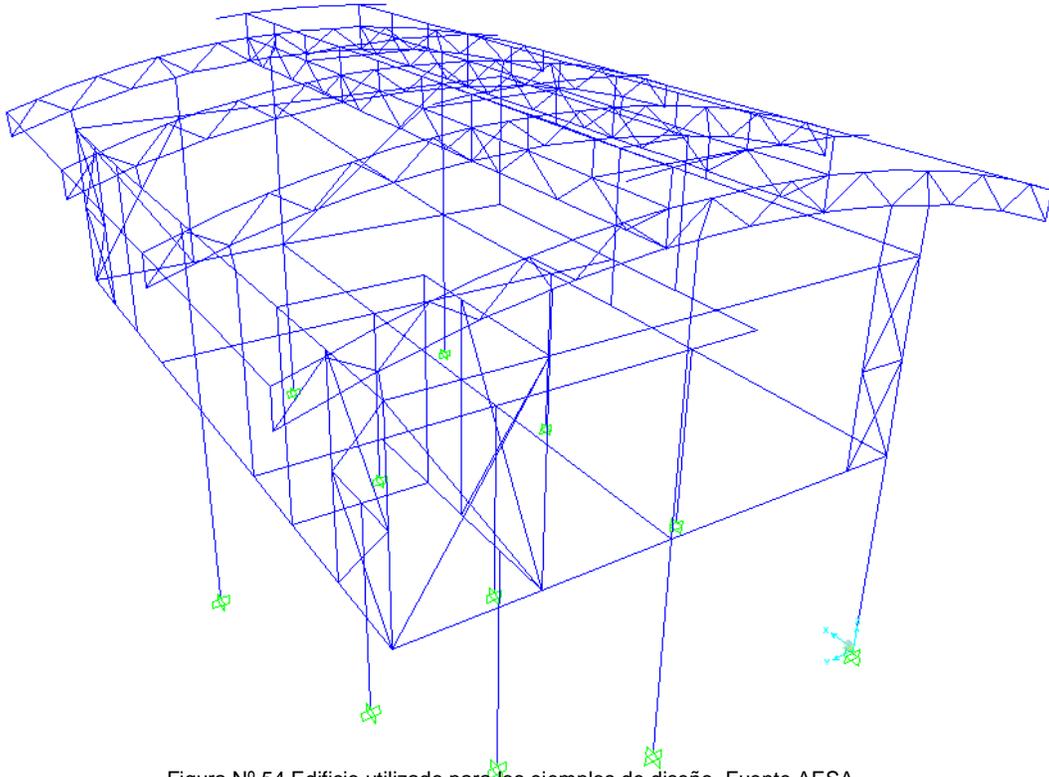


Figura N° 54. Edificio utilizado para los ejemplos de diseño. Fuente AESA.

Se utilizará este edificio, ya que cuenta con columnas de concreto, de acero y acero laminado en frío.

A. DISEÑO DE UN ELEMENTO CIRCULAR LAMINADO EN FRÍO.

Para el diseño de un elemento laminado en frío, se escogerá un elemento cualquiera de la estructura del techo, ya que esta es la que utiliza este tipo de elementos.

El elemento escogido es el que se puede observar dentro de un círculo en la siguiente figura:

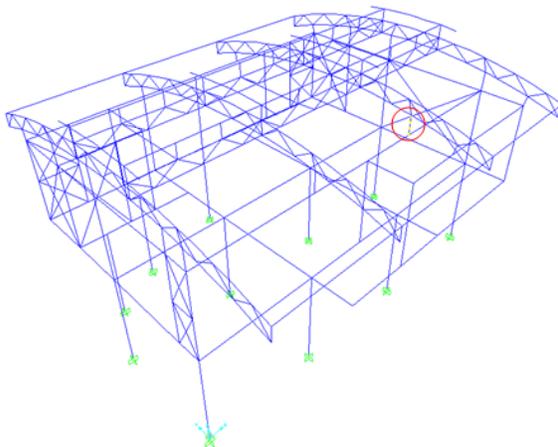


Figura N° 55. Elemento a diseñar. Fuente AESA.

Es el elemento número 542, con una sección transversal circular de 5 cm de diámetro y un espesor de 2.4 mm, con una longitud de 60.145 cm; el acero tiene una resistencia de: $f_y = 3515 \text{ kg/cm}^2$.

Sección	76.20x4
Tipo de acero	Otro
E=	2.07E+06 kg/cm ²
F _v =	3515 kg/cm ²

Propiedades de sección	
D	5.00 cm
t	0.24 cm
d	4.52 cm
A	3.59 cm ²
r	1.69 cm
D/t	20.83 OK
L	60.15 cm

Figura N° 56. Propiedades del perfil utilizado. Fuente el autor.

No se describirá la hoja de cálculo detalladamente, ya que esto se realizó con anterioridad, únicamente se mostrarán los resultados obtenidos, en la siguiente figura:

Tabla Resumen		
Diseño por flexión		
M _{ii}	14327.82	kg-cm
M _{ii}	143.28	kg-m
Diseño por compresión		
P _{ii,r}	9784.22	kg
P _{ii,r}	9.78	ton
Diseño por tensión		
P _{ii,r}	11353.66	kg
P _{ii,r}	11.35	ton
Diseño por cortante		
V _{ii}	7190.65	kg
V _{ii}	7.19	ton

Figura N° 57. Resultados obtenidos con la hoja de cálculo. Fuente el autor.

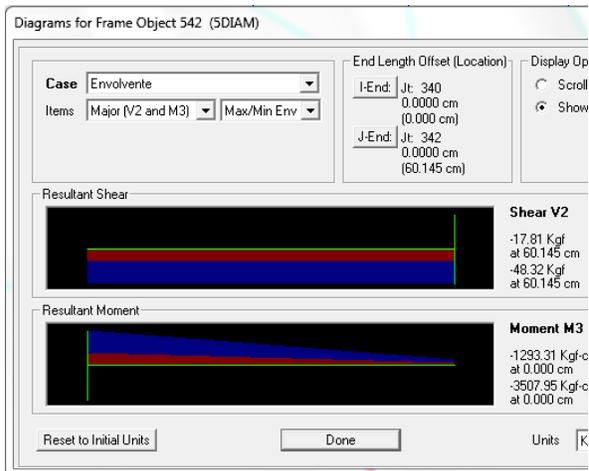


Figura N° 58. Fuerzas en el elemento. Fuente el autor.

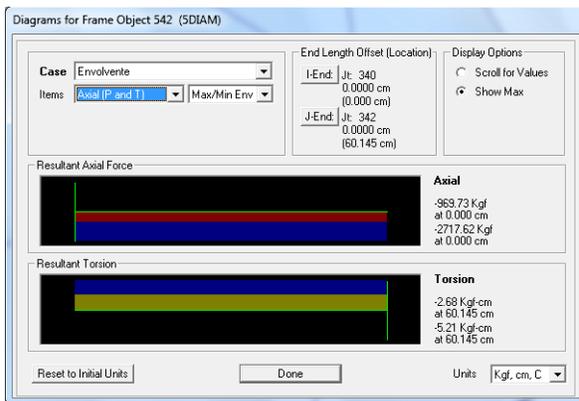


Figura N° 59. Fuerzas en el elemento. Fuente el autor.

A continuación se presenta una tabla resumen con las fuerzas que actúan en el elemento:

Tabla N° 3

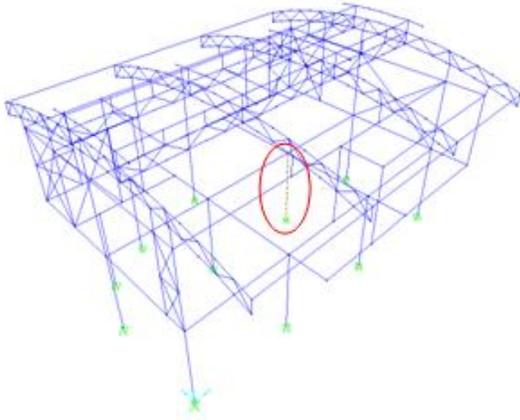
Fuerzas en el elemento.

Momento (M_{max})	3507.95	kgf-cm
Carga axial (P_{max})	2717.62	kgf
Cortante (V_{max})	48.32	kgf

Al observar los resultados obtenidos con la hoja de cálculo y compararlos con las fuerzas que actúan en el elemento, se aprecia que el elemento resiste sin problemas todas las cargas que actúan.

B. DISEÑO DE COLUMNAS ESBELTAS.

Para este ejemplo se escogió el elemento N° 9, una columna de 40x40cm de concreto, con una resistencia de 210 kg/cm²; dicho elemento se puede apreciar en la siguiente figura, dentro de un círculo rojo. Como es un ejemplo, se supondrá que la columna se encuentra arriostrada.



Cargas de servicio

Figura N° 60. Elemento a diseñar. Fuente: AUSA

	Carga Superior		Carga Inferior	
Permanente	-11955.5	kg	-37300	kg-cm
	-11.95555	ton	-0.373	ton-m
Temporal	-3586	kg	-19124	kg-cm
	-3.586	ton	-0.19124	ton-m

Figura N° 61. Fuerzas que actúan en el elemento. Fuente el autor.

Las cargas axiales y los momentos superior e inferior, debidos a las cargas permanentes y temporales, se pueden observar en la figura anterior. Con estas cargas, se sabe que se trata de una columna de curvatura simple.

Para saber si realmente se trata de una columna esbelta, utilizamos la ventana que se aprecia en la figura N° 37, para el cálculo de K, y una vez que se colocan los datos y se realizan los cálculos, se obtiene que para esta columna, no es necesario, considerar la esbeltez, como se puede apreciar en la siguiente figura.

Revisión de la esbeltez.		
ψ_a	9,68779620853081	Calcular Esbeltez
ψ_b	1	
k	1.23	
kl_u/r	30.75	
No considerar la esbeltez		

Figura N° 62. Relación de esbeltez. Fuente el autor.

Por lo tanto se hará uso de otra hoja de cálculo descrita anteriormente, *Columnas Irregulares*.

C. DIAGRAMA DE INTERACCIÓN PARA LA COLUMNA DE 40X40CM.

Al igual que como se mencionó anteriormente, no se describirá el proceso, ya que esto se muestra anteriormente, únicamente se mostrarán resultados.

Tabla N° 4

Cargas presentes en la columna.

Combinación	Carga	
	Axial (ton)	Momento (Ton-m)
1.4CP	-11.68	0.002
1.2CP+1.6CT	-15.7	0.14
1.05CP+CT+CSx	-10.54	0.1
1.05CP+CT+CSy	-10.54	0.1
.95CP+CSx	-7.92	0.08
.95CP+CSy	-7.92	0.079
Envolvente	-7.92	0.14

En el cuadro anterior se presentan los momentos y cargas axiales máximas, presentes en la columna para cada combinación de carga.

A continuación se presenta el diagrama de interacción de la columna, en el cual se puede apreciar que la columna no tiene ningún problema para soportar las cargas a las cuales está sometida.

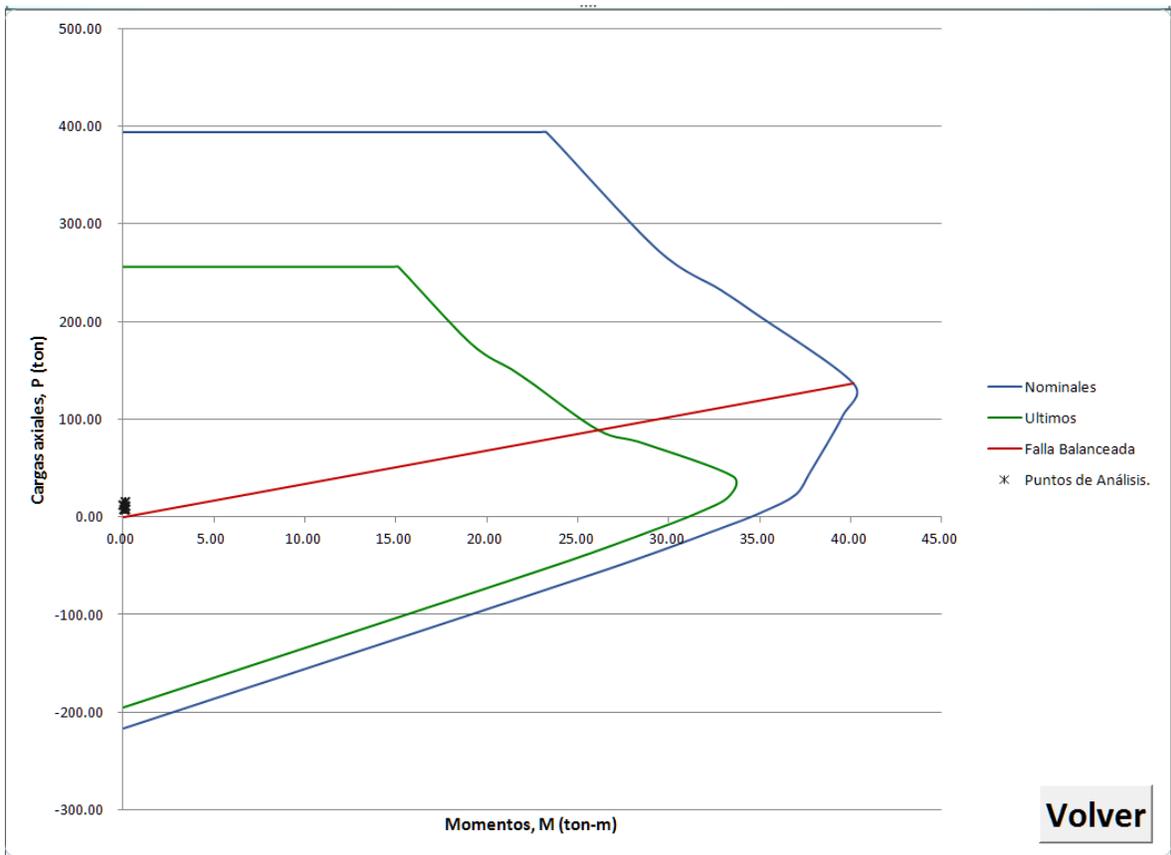


Figura N° 63. Diagrama de interacción de la columna. Fuente el autor.

REFERENCIAS.

- American Concrete Institute. (2008). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentarios (ACI 318S-08) (Versión en español y en sistema métrico)*.
- American Forest & Paper Association. (2005). *NDS, National Design Specification for Wood Construction ASD/LRFD*. American Forest & Paper Association.
- American Forest & Paper Association. (2012). *NDS, National Design Specification for Wood Construction ASD/LRFD*. American Forest & Paper Association.
- American Iron and Steel Institute. (2007). *North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members* (Primera ed.). : AISI.
- Construcción, A. I. (2010). *Especificación ANSI/AISC 360-10 para construcciones de Acero (versión en español)*. (I. Aguirre Ahumada, Trad.) Santiago, Chile: Asociación Latinoamericana del Acero.
- Hancock, G., Murray, T., & Ellifrit, D. (2001). *Cold-Formed Steel Structures to the AISI Specification*. New York, USA: Marcel Dekker Inc.
- McCormac, J., & Brown, R. (2012). *Diseño de Concreto Reforzado* (Octava ed.). México D.F, México: Alfoamega Grupo Editor S.A.
- McCormack, J. C., & Csernak, S. F. (2012). *Diseño de Estructuras de Acero* (Quinta ed.). México D.F, México: Alfoamega Grupo Editor S.A.
- Nilson, A. H. (1999). *Diseño de Estructuras de Concreto*. (Doúdecima ed.). Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill Interamericana S.A.
- Peña Ramos , C. (2000). *Diseño Básico de Perfiles Laminados en Frío*. Sonora: Universidad de Sonora.
- Tuk Durán, J. (2009). *Madera: Diseño y construcción*. (Segunda ed.). San José, Costa Rica: CFIA.
- Vinnakota, S. (2006). *Estructuras de Acero y comportamiento LRFD*. México D.F, México: McGraw-Hill Interamericana.
- Walkenbach, J. (2010). *Excel 2010. Power Programing with VBA*. Indianápolis , Indiana , USA: Wiley Publishing Inc.