



Facultad de Ingeniería y Tecnología Informática

“Estudio comparativo del diseño estructural integral de una nave industrial a través del método tradicional (software estándar del mercado) vs. software exclusivo para Naves Industriales”

Tutor: Ing. Luis Nelson Sosti

Alumno: Ricardo Antonio Costanzo

ID: 5982

Mail: ricardo.costanzo@comunidad.ub.edu.ar

Carrera: Ingeniería Civil

Carrera: 801

Matrícula: 6181

Año: 2021

Resumen

La existencia de diferentes software utilizados para el diseño de ingeniería estructural de naves industriales, ya sean dedicados exclusivamente a este tipo de estructuras o no, nos ofrecen innumerables herramientas para validar la seguridad y diseño de las soluciones planteadas ante una necesidad. Sin embargo, varios de estos software requieren una inversión adicional de tiempo considerable para llegar a resultados óptimos y poder comenzar a implementar un proyecto.

A lo largo del tiempo y con el avance tecnológico, mientras que estas herramientas se fueron actualizando otras aparecieron para cambiar u ofrecer otro punto de vista a la forma de trabajar.

Para fundamentar esta afirmación y con el objetivo de aplicar los conocimientos aprendidos en la carrera de Ingeniería Civil, se desarrollará un estudio comparativo entre dos software vigentes del mercado actual: “RAM Elements” (software estándar del mercado) y “Metal Building Software” (“MBS”, software exclusivo en naves industriales).

Índice de Contenidos

Resumen	2
Introducción	4
Fundamento de la elección del tema	5
Descripción de la oportunidad/problemática	5
Descripción del Estudio Comparativo	6
Objetivo	6
Características del proyecto a analizar	6
Normas utilizadas	7
Aspectos teóricos empleados en el análisis	7
Resistencia de elementos sometidos a Flexión Pura	7
Resistencia nominal a pandeo Lateral - Torsional	9
Factor de corrección por Diagrama del Momento Flector - C_b	12
Ejemplo de aplicación del Coeficiente de Flexión C_b	16
Aplicación	23
Metal Building Software – “MBS”	23
Software “RAM Elements”	53
Resultados del análisis con ambos programas	65
Ventajas y desventajas del software “MBS” respecto al “RAM Elements”	67
Conclusiones	72

Introducción

Las empresas dedicadas al diseño, ingeniería, fabricación y montaje de estructuras metálicas, al igual que otras, deben perseguir la mejora continua, buscando optimizar las diferentes partes de su proceso principal, por ejemplo, la producción de naves industriales.

Como es sabido, el tiempo es dinero, pero también es oportunidad de prevenir errores y planificar soluciones con suficiente antelación. Utilizando software tradicionales como el “RAM Elements”, frecuentemente es necesario invertir una cantidad de recursos considerables (horas hombre / tiempo) en la definición de los planos de fabricación de la estructura metálica. En ocasiones, en proyectos de gran complejidad, se requieren recursos humanos de alta capacitación para confeccionar los planos, para evitar que posibles errores se trasladen a la fabricación de la estructura a fabricar.

En la presente tesina se realizará un estudio comparativo del diseño estructural integral de una nave industrial a través del método tradicional con el software “RAM Elements” (software estándar del mercado) y el “Metal Building Software” (“MBS”, software exclusivo para naves industriales).

Mediante el análisis de los resultados se demostrarán los considerables beneficios de utilizar el software “MBS” en comparación a herramientas conocidas y actuales del mercado. Así también, se detallarán las ventajas y desventajas del mismo.

Para realizar el mencionado estudio comparativo se trabajará en base al mismo proyecto; con características que se detallarán más adelante. De esta manera se podrán obtener resultados comparables.

Fundamento de la elección del tema

La elección del tema de la presente tesina ha sido la consecuencia o el resultado de que la misma constituye un tema de gran interés personal y además son temas estudiados en la carrera de Ingeniería Civil, y me interesé en profundizar el estudio sobre las mismas. La empresa donde trabajo se dedica al diseño, ingeniería, fabricación y montaje de estructuras metálicas (naves industriales), por lo cual veía de cerca el proceso de implementación del nuevo software “MBS” y todos los beneficios que trajo el mismo.

Dada la magnitud de este importante cambio, consideré realizar este estudio comparativo no solo para analizar los aspectos más evidentes, sino también los menos perceptibles pero muy beneficiosos a la hora de comparar ambos programas (“RAM Elements” vs. “MBS”).

Descripción de la oportunidad/problemática

En el sistema que usaba anteriormente la empresa donde trabajo (“RAM Elements”) nos encontrábamos que en determinadas obras se tardaba demasiado tiempo en dibujar los planos de fabricación de la estructura metálica, y en alguno de los proyectos se demoraba meses en confeccionar los planos de la obra. Llegó un momento en que se insumía más tiempo en dibujar que en fabricar. Y no se trataba de un problema interno propio de la empresa, atento que también en algunos casos se tercerizaba la realización de dichos planos, no logrando mejoras en los plazos.

Aunque el software “MBS” es muy poco conocido y para adquirirlo se debe hacer una inversión económica importante, la evaluación costo beneficio es sumamente conveniente. Para lograr ser competitivo en el mercado, la empresa en la cual trabajo debía hacer el esfuerzo económico financiero para actualizarse al respecto, y el resultado fue altamente positivo para continuar trabajando, a pesar de estar pasando por un periodo de economía recesiva.

Descripción del Estudio Comparativo

Objetivo

Realizar un estudio comparativo del diseño estructural integral de una nave industrial a través del método tradicional con el software “RAM Elements” (software estándar del mercado) y el “Metal Building Software” (“MBS”, software exclusivo para naves industriales).

Características del proyecto a analizar

El proyecto que se analizará con ambos programas tiene las siguientes características:

Una nave industrial a dos aguas de 36 metros de ancho por 76 metros de largo, sin columnas intermedias, de una altura de 10 metros en los laterales y 12,8 metros en la cumbrera.

Descripción de los elementos estructurales de la nave industrial:

- Estructura Metálica, incluye arriostramientos, anclajes
- Correas de cubierta y cerramientos
- Pintura
- Bulonería
- Cubiertas chapa trapezoidal T-101 Cincalum BWG N°25
- Cerramientos perimetrales en chapa trapezoidal T-101 Color BWG N°25
- Canaletas con sus soportes en chapa BWG N°25 galvanizada
- Bajadas hasta nivel de piso en ambos laterales en HG BWG 25
- Aislación térmica de lana de vidrio con foil de aluminio en 50mm de espesor, en techo y cerramientos

Normas utilizadas

- CIRSOC 301 - Reglamento Argentino de Estructuras de acero para edificios
- CIRSOC 302 – Reglamento Argentino de Elementos Estructurales de Tubos de Acero para Edificios.
- CIRSOC 304 - Reglamento Argentino para la Soldadura de Estructuras de Acero.
- AISC 360-16 Código Internacional acero laminado en caliente
- AISI 360-16 Código Internacional acero laminado en frio
- CIRSOC 101 – Reglamento Argentino de Cargas y Sobrecargas Mínimas de Diseño para Edificios y otras Estructuras y sus comentarios.
- CIRSOC 102 – Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones y sus comentarios.

Aspectos teóricos empleados en el análisis

Resistencia de elementos sometidos a Flexión Pura

Para verificar la resistencia última de elementos sometidos a flexión pura se consideran los siguientes estados límites:

1. Pandeo local de aleta o patín (PLP)
2. Pandeo local del alma (PLA)
3. Pandeo lateral torsional (PLT) (importancia del C_b)
4. Plastificación de la sección transversal
5. Falla por deformación excesiva

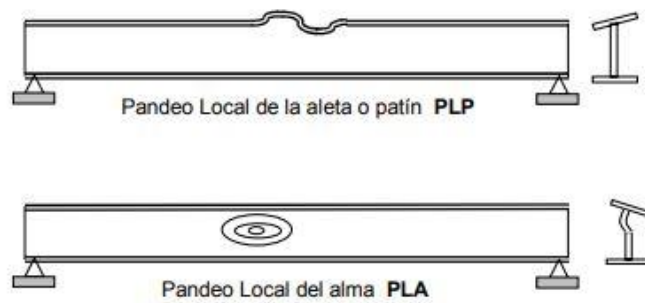


Figura 4.1- Elementos sometidos a flexión

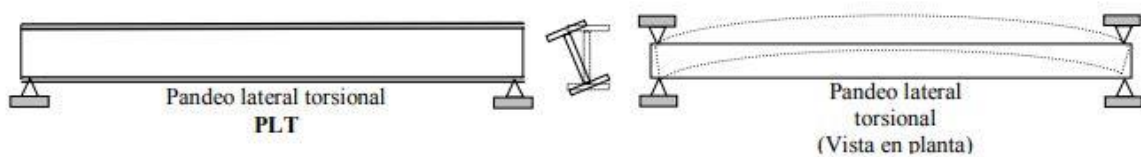


Figura 4.2- Elementos sometidos a flexión

En el punto 3, pandeo lateral torsional (PLT), es donde el C_b tiene mayor relevancia.

En el resto de los puntos, las secciones son lo más importante y lo que se va a verificar, ya que depende exclusivamente ellas (ALA y ALMA).

Lo que se quiere expresar con esto es que no siempre la estructura va a fallar por pandeo lateral torsional (importancia del C_b). En la situación de que mande el Pandeo lateral torsional (PLT), el cálculo específico (no conservador) del coeficiente de flexión C_b va a presentar vital relevancia a la hora de dimensionar la sección. Caso contrario, no va a ser determinante un minucioso cálculo del C_b al momento de dimensionar nuestra estructura.

Por ello, es muy complejo determinar en reglas generales cuánto se va a reducir el porcentaje de K_g de una nave industrial al ser calculada con el software "MBS" vs. "RAM Elements".

Resistencia nominal a pandeo Lateral - Torsional

Cito libro “Estructuras Metálicas – Proyectos por Estados Límites”, parte I (Fundamentos, procedimientos y criterios de proyecto); séptima edición.

El CIRSOC 301-EL establece resistencias nominales y longitudes no arriostradas límites para las formas seccionales más comunes y para cargas aplicadas en el centro de corte de la sección o en el ala inferior, y en el ala superior. Las fórmulas básicas para zona elástica y las correspondientes a zona inelástica resultan de considerar la carga actuando en el **centro de corte de la sección**. Su validez con fines prácticos puede extenderse a cargas actuando en el alma para vigas doblemente simétricas y canales. Para cargas actuando en el **ala inferior** el efecto estabilizador que aquellas producen incrementa el momento crítico, por lo que los valores resultantes para cargas aplicadas en el centro de corte son conservadoras.

Para cargas actuando en el **ala superior** de secciones doblemente simétricas o canales la resistencia nominal disminuye. La especificación AISC-LRFD no explicita esta situación excepto en los comentarios donde indica que para secciones doble T doblemente simétricas y canales puede obtenerse el momento crítico elástico haciendo $X_2 = 0$ en la fórmula que se verá más adelante. Sin embargo, se comprueba que utilizando las fórmulas exactas para zona elástica (Eurocode 3, Anexo F, y H. Resk, XVI Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural) los valores obtenidos con $X_2 = 0$ resultan deficitarios. Los valores exactos se ubican en aproximadamente en el **90%** de aquellos. Por ello en el CIRSOC 301-EL para secciones doblemente simétricas y canales con carga actuando en el ala superior se ha corrido toda la curva de la **Figura 7-5** aproximadamente al **90%** de la correspondiente a cargas actuando en el centro de corte. Esto se refleja en las expresiones del Momento crítico elástico y de las longitudes límites L_p y L_r .

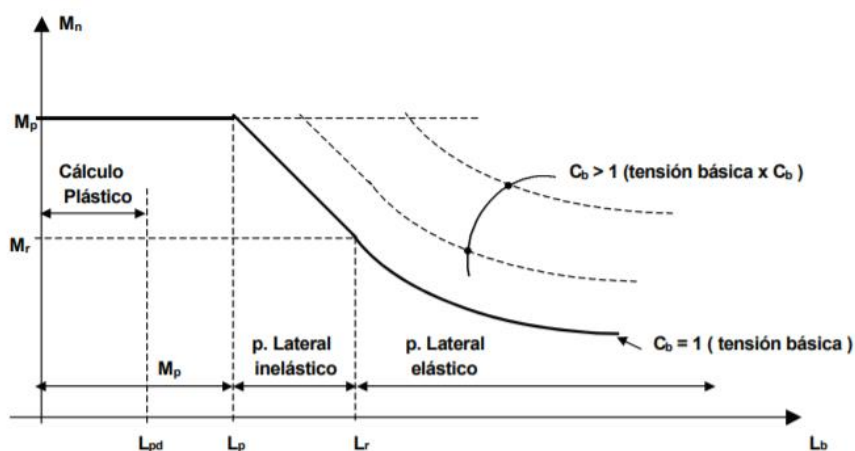


Figura 7-5

Cuando la carga está aplicada por **encima del ala superior** (por ejemplo, en la mayoría de las vigas carril de puentes grúas) el momento crítico disminuye. En este caso el CIRSOC 301-EL establece que se debe realizar un análisis que considere la influencia de la distancia del punto de aplicación de la carga al centro de corte de la sección.

Las expresiones para M_{cr} se han obtenido para vigas con apoyos articulados. Si los apoyos no son articulados sino con restricciones, el momento crítico aumenta. Hay desarrollados métodos para vigas continuas que determinan una longitud no arriostrada efectiva $k.L_b$ para utilizar las fórmulas anteriores. Sin embargo con la utilización del factor de corrección por momento flector C_b (que se explica más adelante) se puede no tomar en cuenta dicho mejoramiento lo que resulta conservador.

La longitud no arriostrada L_b se debe tomar entre puntos fijos a desplazamiento lateral y NO entre puntos de momento nulo.

Para **vigas en voladizo** L_b se tomará **como el doble** de la luz del voladizo si el extremo libre **no está arriostrado** lateralmente. Si lo está se tomará la luz del voladizo.

En función de lo dicho anteriormente el CIRSOC 301-EL establece los siguientes Momentos Nominales a pandeo lateral-torsional:

(A) Secciones doblemente simétricas (I , H , \square) y canales (C) con $L_b \leq L_p$

$$(kN.m) M_n = Z (cm^3) \cdot F_y (MPa) \cdot (10)^{-3} = M_p \quad (7-7)$$

(B) Secciones doblemente simétricas (I , H , \square) y canales (C) con $L_p < L_b \leq L_r$
(variación lineal)

$$M_n = C_b \cdot \left[M_p - (M_p - M_r) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p \quad (7-8)$$

donde:

* Para doble te (I) doblemente simétricas y canales (C)

$$(kN.m) M_r = F_L (Mpa) \cdot S_x (cm^3) \cdot (10)^{-3}$$

siendo :

F_L el menor valor de (a) $(F_{yf} - F_r)$ ó (b) F_{yw} (máxima tensión en el ala en campo elástico)

* Para secciones rectangulares macizas (\blacksquare) y cajones (\square)

$$M_r = F_{yf} \cdot S_x \cdot (10)^{-3}$$

F_{yf} = tensión de fluencia del acero del ala. (MPa)

F_{yw} = tensión de fluencia del acero del alma. (MPa)

F_r = tensión residual. (MPa)

S_x = módulo elástico referido al eje fuerte. (cm³)

C_b = factor de corrección por diagrama de momento flector.

(C) Secciones doblemente simétricas y canales con $L_b > L_r$

$$M_n = M_{cr} \leq M_p$$

M_{cr} = momento crítico elástico

(C1) Secciones doblemente simétricas y canales (C)

(a) Para cargas aplicadas en el alma o en el ala inferior de la viga:

$$M_{cr} = (10^{-3}) \cdot C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{E \cdot I_y \cdot G \cdot J + \left(\frac{\pi \cdot E}{L_b}\right)^2 \cdot I_y \cdot C_w} = \quad (7-9)$$

$$= \frac{(10^{-3}) \cdot C_b \cdot S_x \cdot X_1 \cdot \sqrt{2}}{L_b / r_y} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 \cdot X_2}{2 \left(L_b / r_y\right)^2}} \quad (7-10)$$

donde:

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E \cdot G \cdot J \cdot A}{2}} \quad (\text{MPa}) \quad (7-11)$$

$$X_2 = \frac{4 \cdot C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{G \cdot J}\right)^2 \quad (\text{MPa})^2 \quad (7-12)$$

S_x = módulo resistente elástico de la sección con respecto al eje principal de mayor inercia. (cm³)

E = módulo de elasticidad longitudinal del acero. (200.000 MPa)

G = módulo de elasticidad transversal del acero. (77.200 MPa)

F_L = el menor valor de ($F_{yf} - F_r$) ó F_{yw} . (MPa)

F_r = tensión residual de compresión en ala = **69** MPa para secciones laminadas; **114** MPa para secciones soldadas.

F_{yf} = tensión de fluencia del acero del ala. (MPa)

F_{yw} = tensión de fluencia del acero del alma. (MPa)

I_y = momento de inercia de la sección con respecto al eje principal de menor inercia. (cm⁴)

C_w = módulo de alabeo de la sección. (cm⁶)

A = área de la sección transversal. (cm²)

J = módulo de torsión. (cm⁴)

r_y = radio de giro de la sección con respecto al eje principal de menor inercia. (cm)

(b) Para cargas aplicadas en el ala superior de la viga (0,9 de (7-10) con $X_2 = 0$):

$$M_{cr} = \frac{1,28(10)^{-3} \cdot C_b \cdot S_x \cdot X_1}{L_b/r_y} \quad (7-10a)$$

(C 2) Secciones rectangulares macizas (■) y cajones (□):

(a) Para cargas aplicadas en el alma o en el ala inferior de la viga:

$$M_{cr} = \frac{400 \cdot C_b \cdot \sqrt{J \cdot A}}{L_b/r_y} \quad (7-13)$$

(b) Para cargas aplicadas en el ala superior de la viga (0,9 de (7-13)):

$$M_{cr} = \frac{360 \cdot C_b \cdot \sqrt{J \cdot A}}{L_b/r_y} \quad (7-13a)$$

Factor de corrección por Diagrama del Momento Flector - C_b

Las fórmulas elásticas para el momento crítico son deducidas para una viga cargada con momento flector uniforme. Si el diagrama de momentos en la longitud no arriostrada no es uniforme, el momento crítico aumenta y se utiliza para corregir los valores obtenidos un factor **C_b mayor o igual a 1**.

El CIRSOC 301-EL establece cuando están lateralmente arriostrados los extremos del segmento de viga considerado (de longitud L_b).

$$C_b = \frac{12,5 M_{\max}}{2,5 M_{\max} + 3 M_A + 4 M_B + 3 M_C} \geq 1$$

dónde:

M_{\max} = valor absoluto del máximo momento flector en el segmento no arriostrado. (kN.m)

M_A = valor absoluto del momento flector en la sección ubicada a un cuarto de la luz del segmento no arriostrado. (kN.m)

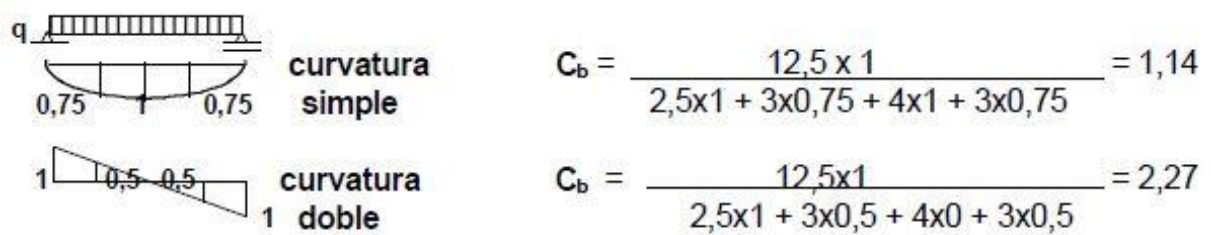
M_B = valor absoluto del momento flector en la sección ubicada a la mitad de la luz del segmento no arriostrado. (kN.m)

M_C = valor absoluto del momento flector en la sección ubicada a tres cuartos de la luz del segmento no arriostrado. (kN.m)

Se permite adoptar conservadoramente un valor $C_b = 1$ para todos los casos de diagramas de momento flector.

Para vigas en voladizo, cuando el extremo libre no esté lateralmente arriostrado, se deberá tomar $C_b = 1$ para todos los casos, cualquiera sea el diagrama de momento flector en el voladizo.

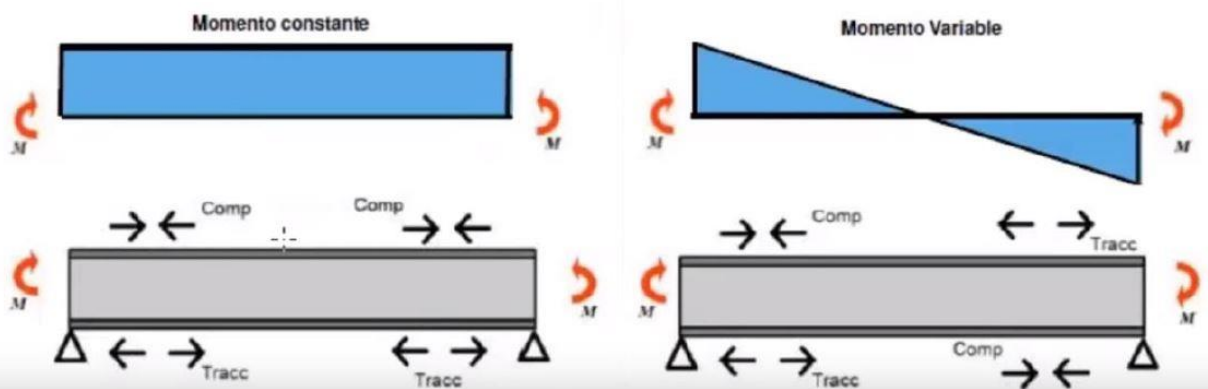
Ejemplos: Viga simplemente apoyada



ASPECTOS FUNDAMENTALES EN EL DISEÑO DE MIEMBROS DE ACERO SOMETIDOS A FLEXIÓN Y CORTE

COEFICIENTE C_b

Cuando un miembro estructural está sometido a un momento constante, las fuerzas de compresión que se generan internamente en la parte superior del miembro no varían en la longitud provocando de esta forma una condición crítica del pandeo lateral torsional, mientras que cuando existe un gradiente de momento, las fuerzas de compresión varían de magnitud provocando una restricción del pandeo lateral torsional. Este efecto de restricción implica un aumento de la resistencia a flexión, que la norma corrige a través del factor C_b .



ASPECTOS FUNDAMENTALES EN EL DISEÑO DE MIEMBROS DE ACERO SOMETIDOS A FLEXIÓN Y CORTE

COEFICIENTE C_b

En términos prácticos el factor C_b permite utilizar una única expresión que define la resistencia a flexión tomando en cuenta los múltiples casos que pueden presentarse de diagramas de momento, entre soportes laterales

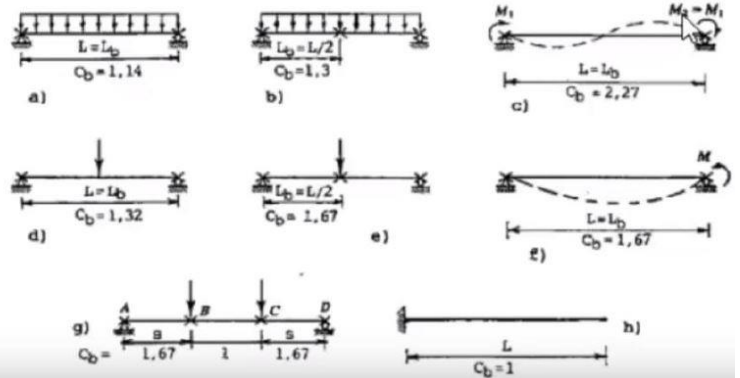
$$C_b = \frac{12.5M_{\max}}{2.5M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 3.0$$

M_{\max} = Valor absoluto del momento máximo dentro de la longitud no arriostrada (incluidos los puntos extremos).

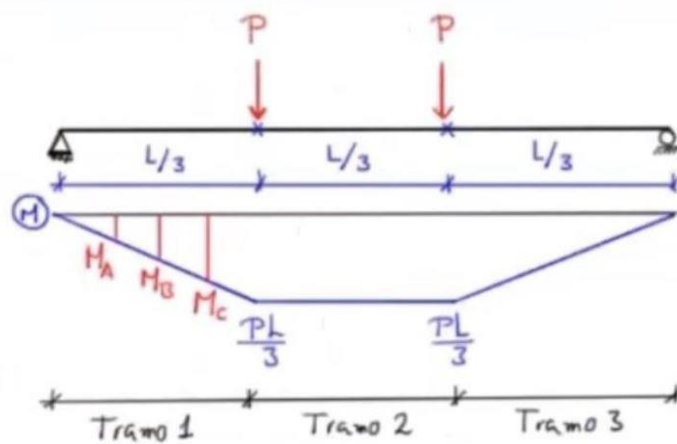
M_A = Valor absoluto del momento en el cuarto de la longitud no arriostrada.

M_B = Valor absoluto del momento en el centro de la longitud no arriostrada.

M_C = Valor absoluto del momento a tres cuartos de la longitud no arriostrada.



A continuación se presenta el diagrama de momentos de la viga ante las cargas aplicadas. a fin de obtener el momento máximo y definir el valor de C_b para cada tramo



$$C_{b1} := \min \left(\frac{12.5 \cdot M_{max}}{2.5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C}, 3 \right) = 1.667$$

Análisis del Tramo 2:

En este tramo al tener un diagrama de momentos constante el valor de C_b es igual a la unidad (1.00).

$$C_{b2} := 1.00$$

En este caso debido a que el momento máximo se da precisamente al final del tramo 1 que es el inicio del tramo 2, se toma el valor de C_b mas bajo para obtener la resistencia de la viga.

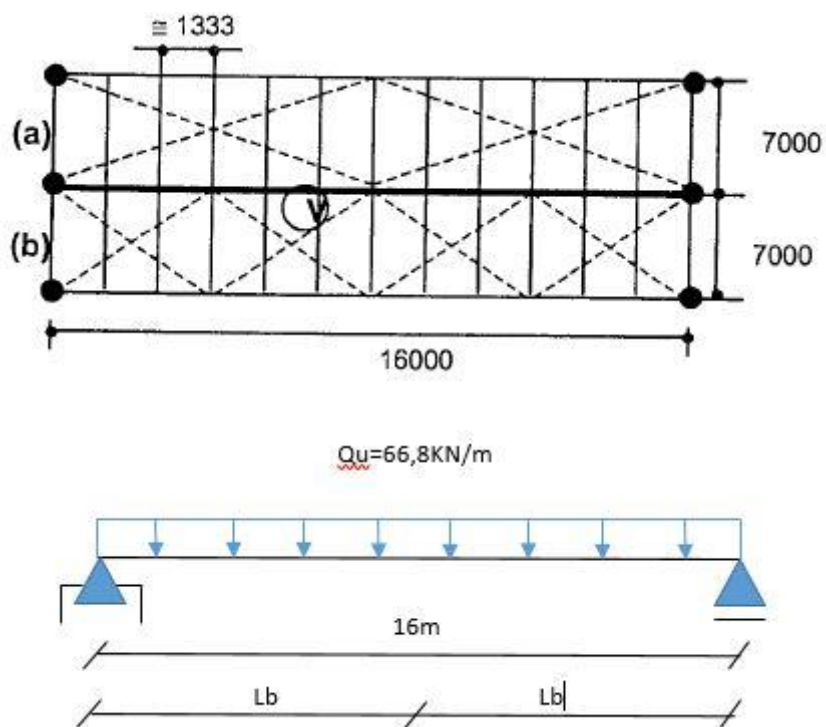
$$C_b := \min (C_{b1}, C_{b2}) = 1$$

Ejemplo de aplicación del Coeficiente de Flexión C_b

Este ejemplo fue extraído del libro "Estructuras Metálicas – Proyectos por Estados Límites", parte I (Fundamentos, procedimientos y criterios de proyecto); séptima edición. Además fue tratado durante la cursada de Estructuras Metálicas II, en 5° año de la carrera de Ingeniería Civil.

Vigas Armadas:

Verificar la viga principal del entrepiso.



$$M_u = 2137,6 \text{ kNm}$$

$$V_u = 534,4 \text{ kN}$$

Acero F24 ($F_y = 235 \text{ MPa}$)

Destino Entrepiso: depósito

Peso propio entrepiso = 1 kN/m^2 (sin peso de viga)

Sobrecarga útil: 5 kN/m^2

Verificar Alma Compacta:

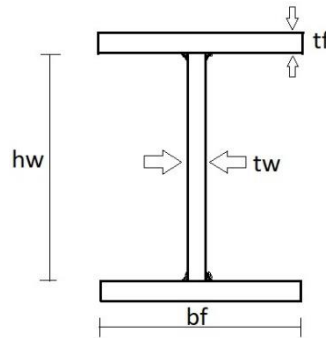
Se puede buscar la altura para un dimensionado económico partiendo de una esbeltez de alma tal que resulte compacta.

$$\lambda_w = \frac{1680}{\sqrt{235MPa}} = 109,6$$

Pre dimensionamos para un 80% de ese lambda máxima. Quiere decir no llegar al límite.

$$0,8 \times \lambda_w \approx 85$$

$$hw = \sqrt{\frac{3 \cdot Mu \cdot \lambda_w}{1,8 \cdot fy}} = 109\text{cm} \quad \text{adopto } hw = 110\text{cm}$$

**EMPIRICO**

$$\lambda_w = \frac{hw}{tw} \quad tw = \frac{109}{85} \approx 1,27\text{cm} \quad (\text{adopto en medidas de pulgadas})$$

$$\lambda_w = \frac{hw}{tw} = \frac{110}{1,27} = 86,6 \leq 109,6 \quad \text{SE VERIFICA ALMA COMPACTA}$$

$$\lambda_f = \frac{170}{\sqrt{fy}} = 11,09$$

$$\lambda_f = \frac{bf}{2 \cdot tf} \quad bf_{Max} = 11,09 \times 2 \cdot 1,905\text{cm} = 42\text{cm} \text{ como máximo.}$$

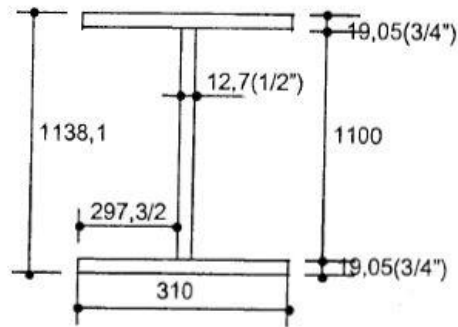
La fórmula utilizada para buscar la altura del alma se corresponde con un ancho de ala entre 25 y 30% de la altura del alma. Con 27,5% $bf = 0,275 \cdot 109 = 30\text{cm} < bf_{max} = 42\text{cm}$

Adopto **bf=31cm**

(generalmente el ala tiene un espesor levemente mayor que el alma, adoptamos $t_f=1,905\text{cm}$)

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2 \cdot t_f} = \frac{31\text{cm}}{2 \cdot 1,905\text{cm}} = 8,14 \leq 11,09 \quad \text{SE VERIFICA ALA COMPACTA}$$

Características de la sección:



$$A=257,81\text{cm}^2 \quad I_x=510665\text{cm}^4 \quad I_y=9477\text{cm}^4 \quad r_y=6,06\text{cm}$$

$$S_x=8974\text{cm}^3 \quad Z_x=10450\text{cm}^4 \quad E=200000\text{MPa} \quad G=77200\text{MPa}$$

$$X_1=7366,3\text{MPa} \quad X_2=3,43 \times 10^{-3} \text{MPa} \cdot \text{m}^{-2} \quad J=218\text{cm}^4 \quad C_w=29166551\text{cm}^6$$

Módulo de torsión J:

$$J = \sum \frac{b \cdot t^3}{3} = 2 \cdot \left(\frac{31\text{cm} \cdot (1,905\text{cm})^3}{3} \right) + \frac{110 \cdot 1,27^3}{3} = 218\text{cm}^4$$

b: ancho

t: espesor

Módulo de alabeo C_w :

$$C_w \approx h^2 \cdot \frac{I_y}{4} = 26667925\text{cm}^6$$

h: altura total $h_w + 2 \cdot \text{espesor ala}$

La zona superior del ALMA del perfil debe tomar las compresiones del momento flexor, es algo muy finito comprimido, algo muy finito comprimido es similar su comportamiento al pandeo de barra, pero la diferencia es que es pandeo de placa, la posibilidad de que eso salga del plano. Pandeo de placa se lo llama abolladura, superficie que se desplaza.

X1 y X2 son parámetros que uno necesita cuando va a evaluar abolladura, o sea pandeo de placa.

X1: Facto de pandeo

$$X1 = \frac{\pi}{S_x} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot G \cdot J \cdot A}{2}} = 7288,37 \text{MPa}$$

$$X2 = \frac{4 \cdot C_w}{I_y} \cdot \left(\frac{S_x}{G \cdot J}\right)^2 = 3,44 \cdot 10^{-3} \text{MPa}^{-2}$$

$$G = E/2\mu$$

Para perfiles standard los datos están en tabla, si es perfil armado, debo evaluarlo.

Si coloco Vigas intermedias, corto la longitud de pandeo. Manteniendo la misma sección, sin aumentar la misma, colocando Vigas transversales, bajo la longitud de pandeo, bajo la esbeltez. Vigas transversales a la viga principal en la zona superior.

Longitudes entre arriostramientos:

¿Cuántas vigas transversales utilizo?

Para evitar el fenómeno de pandeo en placas:

$$L_p = \frac{780}{\sqrt{f_y}} \cdot r_y = 312 \text{cm} = 3,12 \text{m} \quad (\text{distancia mínima})$$

$$L_r = \frac{r_y \cdot X1}{FL} \cdot \sqrt{(1 + \sqrt{(1 + X2 \cdot FL)})} = 10,86 \text{m} \quad (\text{distancia máxima})$$

FL: son las tensiones efectivas que quedan en el perfil una vez que ejecuto la soldadura.

$$FL(\text{acero}) = 121 \text{MPa}$$

$$M_r = FL \cdot S_x = 1086 \text{KNm}$$

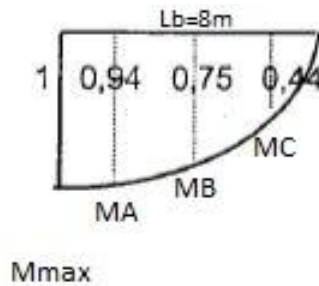
Mr: momento que se produce por las tensiones residuales

Lb: distancia entre arriostramientos

Se analizarán 2 alternativas:

- a) Con arriostamiento en centro de luz. $L_b=8m$
- b) Con arriostamiento a los cuartos y al centro. $L_b=4m$

a) Para $L_b=8m$

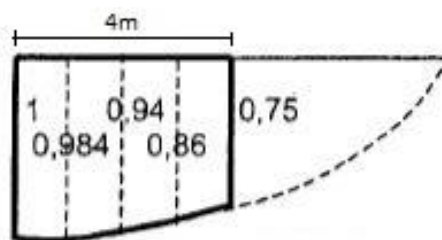


El largo total de la viga es 16m y con colocándole un solo arriostamiento a los 8m

C_b : Coeficiente de flexión. Coeficiente de forma de diagrama de momentos.

$$C_{b1} = \frac{12,5 \cdot M_{max}}{2,5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} = 1,297$$

b) Para $L_b=4m$



Se toma como L_b el sector cercano al M_{max} , zona donde se generan mayores compresiones, por lo tanto mayor problema de pandeo de placa.

$$C_{b2} = \frac{12,5 \cdot M_{max}}{2,5 \cdot M_{max} + 3 \cdot M_A + 4 \cdot M_B + 3 \cdot M_C} = 1,06$$

Cuanto más parejo, más rectangular el diagrama de momentos, tiende el $C_b=1$.

Este coeficiente C_b lo que hace es penalizar la variabilidad del momento, porque $12,5=2,3+3+4+3$. Si todos los valores de Momento fueran iguales, la cuenta daría 1. Cuando el diagrama de Momento tiende a ser más parejo el C_b tiene a 1. Cuanto más dispar más aumenta el C_b .

$$M_{n1} = C_b \cdot (M_p - (M_r) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)) = 2065,9 \text{ KNm}$$

$$L_b = 8\text{m}$$

Momento Máximo Plástico:

$$M_P = f_y \cdot Z_x = 235\text{MPa} \cdot 10450\text{cm}^3 = 2455,8\text{KN.m}$$

CAP	CAPACIDAD	DEMANDA	
$\emptyset \cdot M_{n1} = 1859\text{KNm}$	$<$	M_u	
$0,9 \cdot (2065,9\text{KNm}) = 1859\text{KNm}$	$<$	$2137,6 \text{ KNm}$	NO VERIFICA

$$M_{n2} = C_b \cdot (M_p - (M_r) \cdot \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)) = 2443,4 \text{ KNm}$$

$$L_b = 4\text{m}$$

CAP	CAPACIDAD	DEMANDA	
$\emptyset \cdot M_{n2} = 2199\text{KNm}$	$<$	M_u	
$0,9 \cdot (2443,4\text{KNm}) = 2199\text{KNm}$	$<$	$2137,6 \text{ KNm}$	SI VERIFICA

M^*P : momento plástico al límite del período elástico o al comienzo del periodo plástico

$$M^*P = f_y \cdot S_x = 235\text{Mpa} \cdot 8974\text{cm}^3 = 2108,9\text{KN.m}$$

debe cumplirse:

$$M_p \leq 1,5 \cdot M^*P$$

$$M_p \leq 1,5 \cdot 2108,9\text{KNm} \quad Z_x \leq 1,5 \cdot S_x$$

$$M_p \leq 3163\text{KNm} \quad 10450\text{cm}^4 \leq 1,5 \cdot 8974\text{cm}^3$$

$$10450\text{cm}^4 \leq 13461\text{cm}^4$$

Resistencia a Corte:

$$\lambda_p = \frac{1100}{\sqrt{f_y}} = 71,8$$

$$\lambda_r = \frac{1375}{\sqrt{f_y}} = 89,7$$

Si quisiera que toda el alma del perfil sea capaz de tomar la abolladura, mi esbeltez tiene que estar entre esos dos valores (entre λ_p y λ_r), si no ocurre debo ponerle rigidizadores.

$$\lambda_w = \frac{hw}{tw} = 86,6$$

$$\lambda_p < 86,6 < \lambda_r \quad \text{VERIFICA}$$

En el caso de no verificar puedo colocar rigidizadores, costillas, coser la abolladura, coser el alma, bajar la longitud de pandeo.

Verifico el Corte:

$$V_u = \emptyset \cdot f_v \cdot A_w \cdot \frac{\lambda_p}{\lambda_w}$$

$$A_w = tw \cdot hw = 110 \cdot 1,27 = 139,7 \text{ cm}^2$$

$$V_u = 0,9 \cdot 141 \text{ MPa} \cdot 139,7 \text{ cm}^2 \cdot \frac{71,8}{86,6} = 1470 \text{ KN} > 534,4 \text{ DATO Corte ultimo}$$

SE VERIFICA

Aplicación

A continuación, procederemos con el diseño integral de la nave industrial utilizando el software “MBS”. Luego haremos el diseño, pero utilizando el software “RAM Elements”.

Metal Building Software – “MBS”

Procedemos a calcular la nave industrial con el software “MBS” correspondiente al proyecto base:

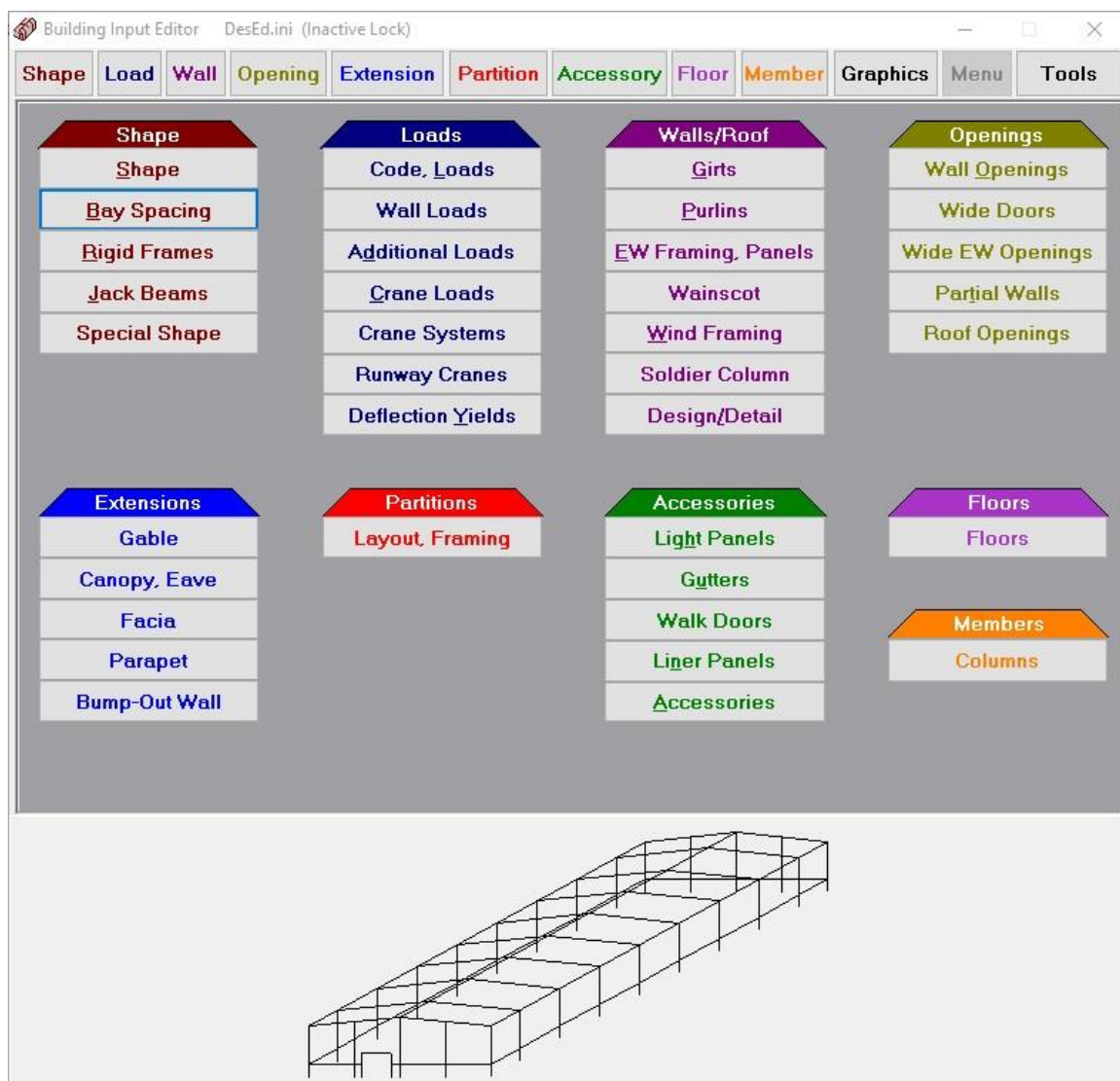


Imagen 1

En la imagen 1 podemos visualizar el panel principal del programa, en el cual vemos las distintas solapas: forma, cargas, paredes, aberturas, extensiones, particiones, accesorios, piso, miembros, gráficos, etc.

En cada una de ellas debemos ir cargando preferentemente en orden, las características y parámetros correspondientes de nuestro proyecto.

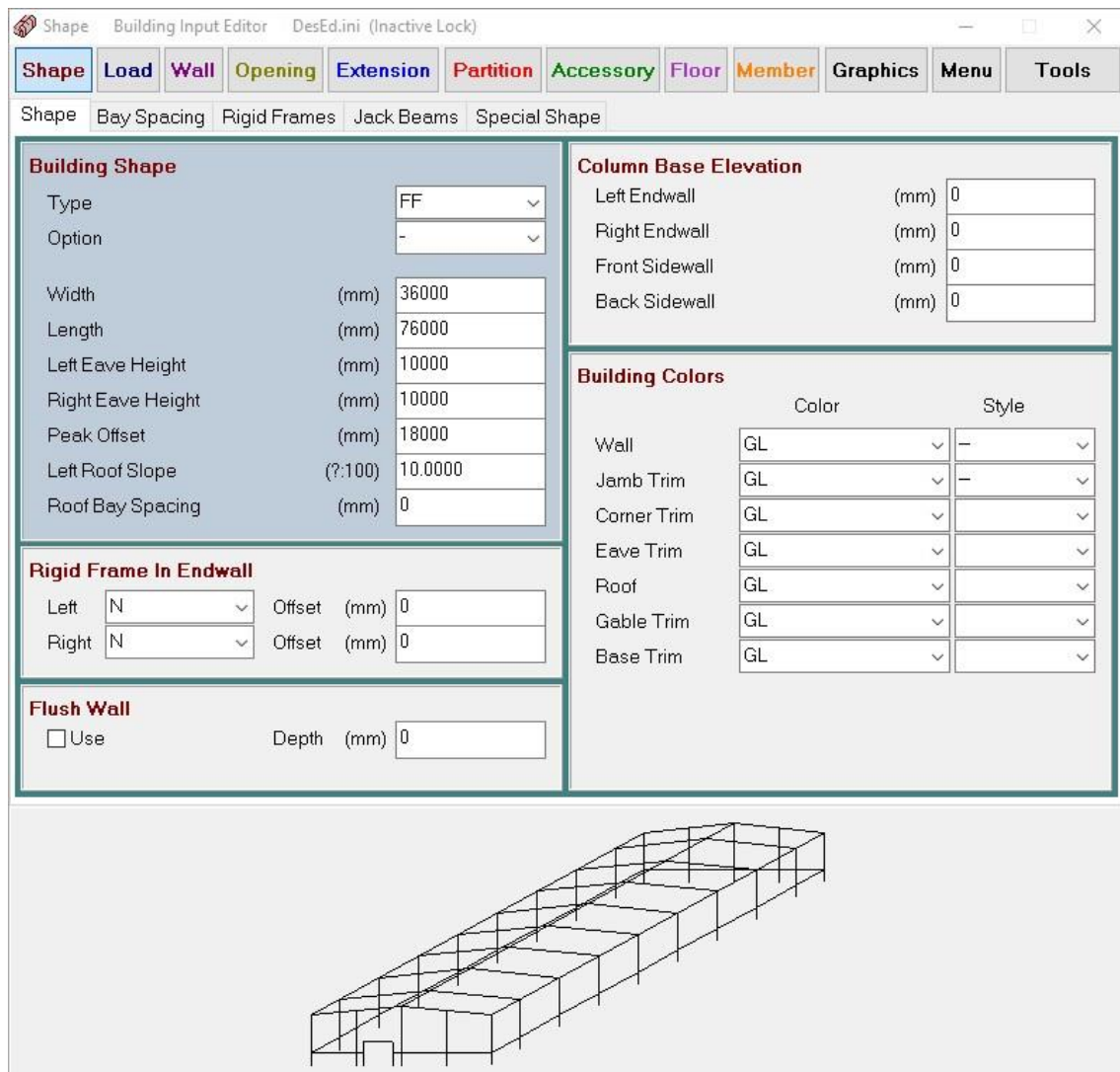


Imagen 2

En la solapa **Shape** (forma) cargamos la geometría que queremos que tenga la nave industrial: ancho, largo, alturas, pendiente de la cubierta, etc.

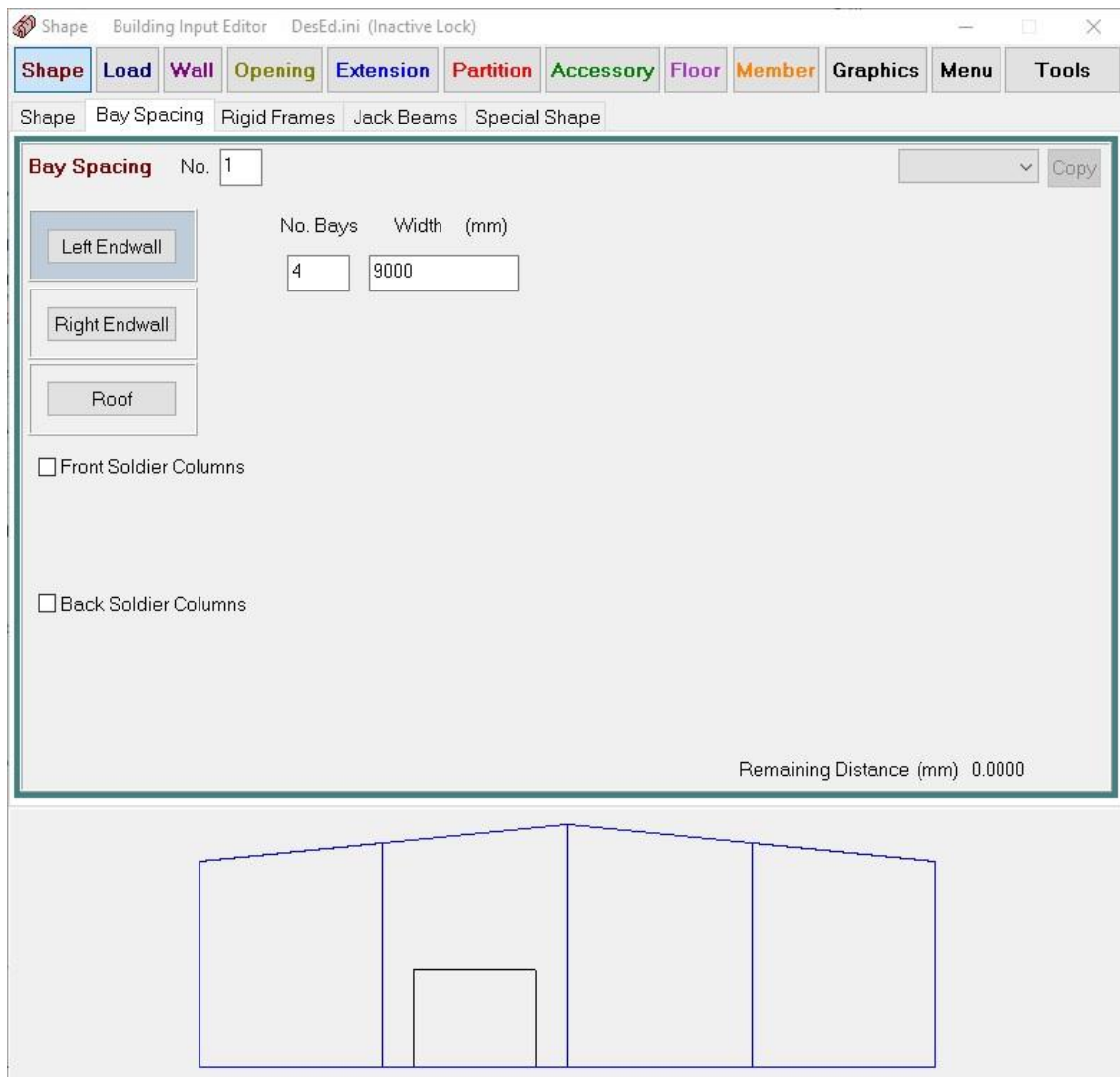


Imagen 3

En la imagen 3 vemos la solapa **Shape – Bay Spacing** (Forma – Espacio entre bahías o pórticos). Aquí cargamos las distancias entre los parantes del frente y fondo de la nave industrial.

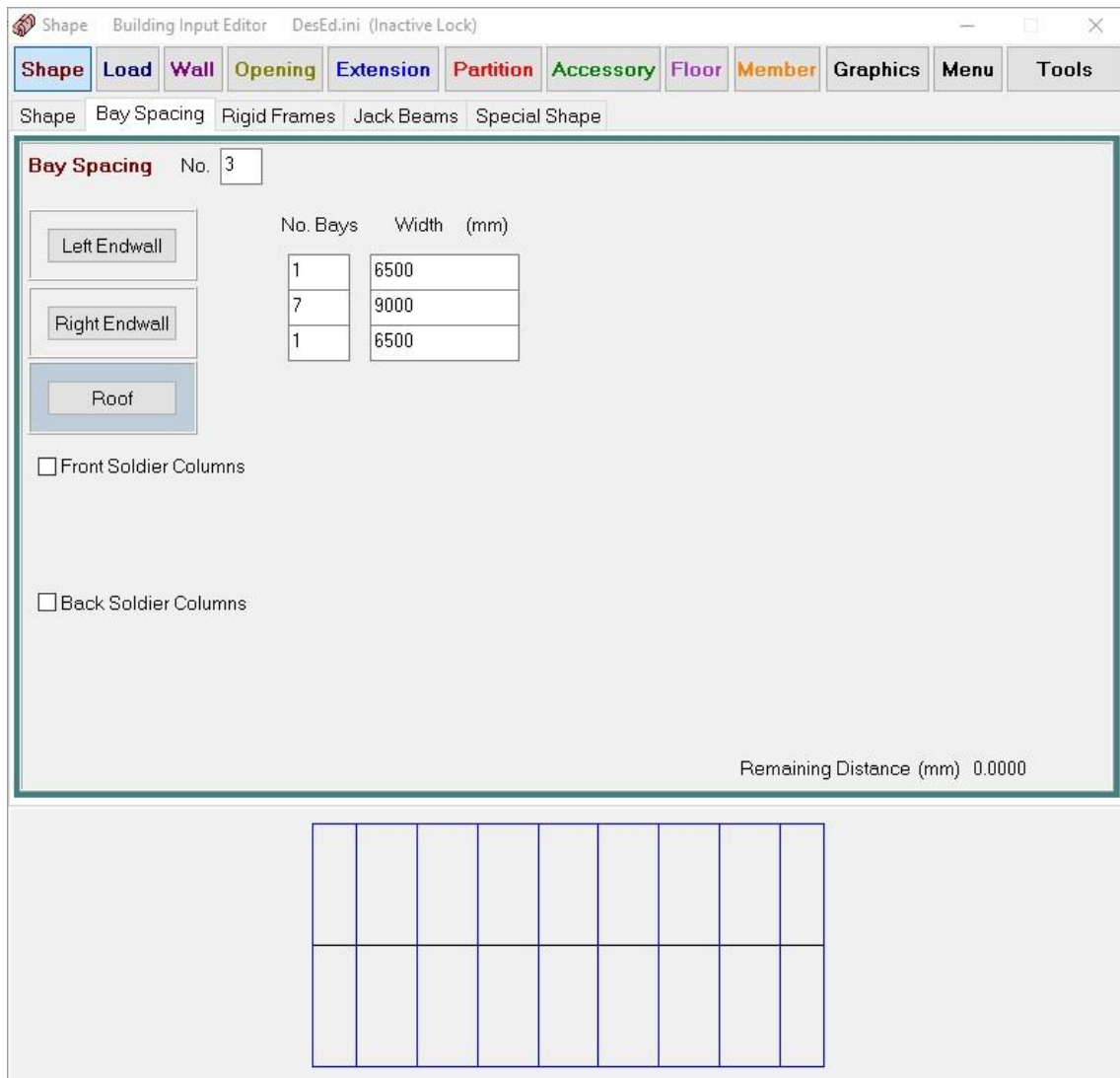


Imagen 4

En la imagen 4 se ve cómo cargamos la distancia entre pórticos. El programa trabaja en automático, pero también permite fijar parámetros y variables.

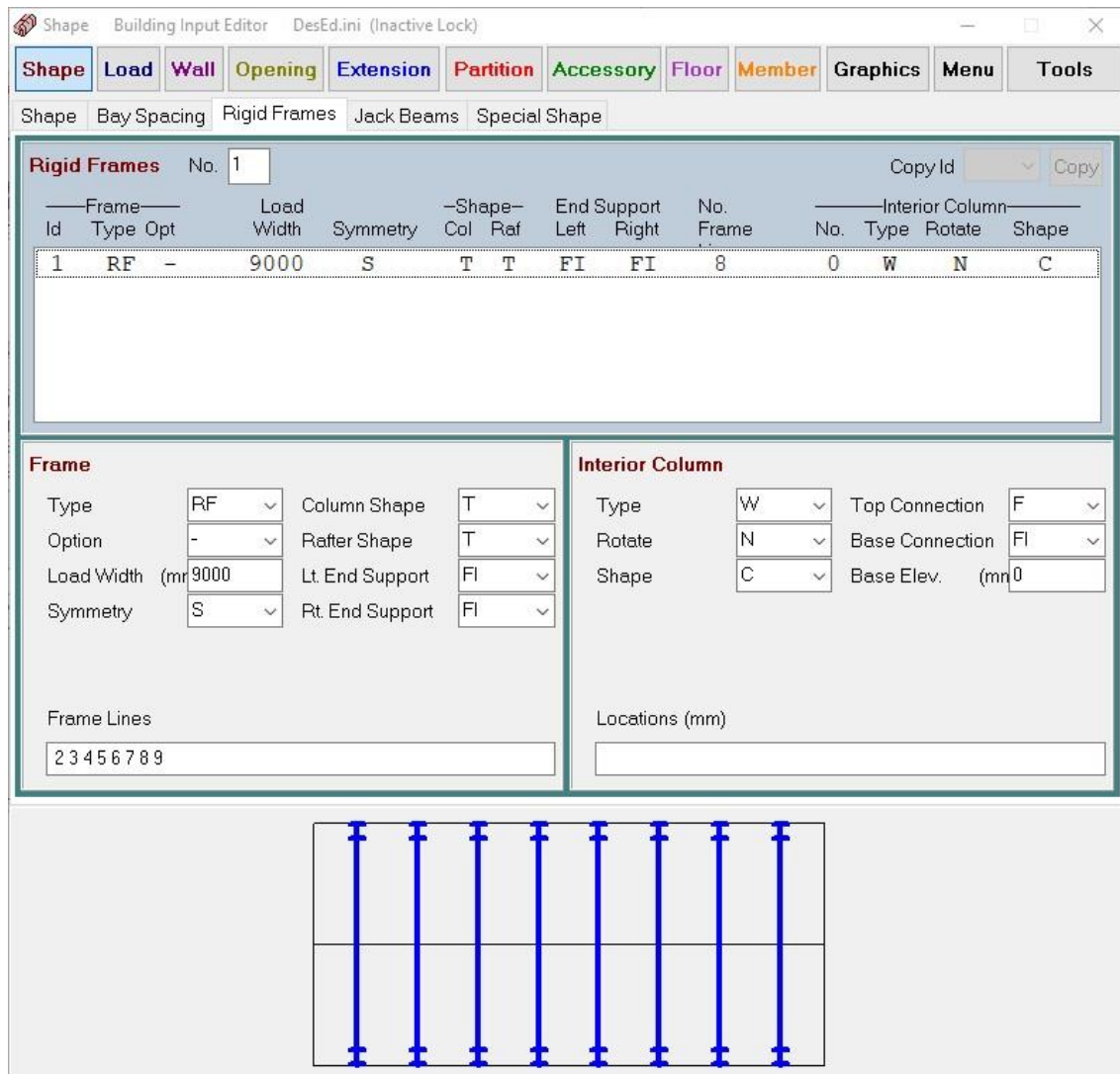


Imagen 5

En la imagen 5, **Shape – Rigid Frame** (Forma – Pórtico Rígido) vemos con más detalle características del pórtico rígido como por ejemplo qué tipo de marco va a tener nuestro pórtico. Cargaremos los datos correspondientes según se quiera una estructura simétrica o no. También sobre cómo serán las columnas y vigas (constantes, variables, etc.) y si poseerá columnas interiores.

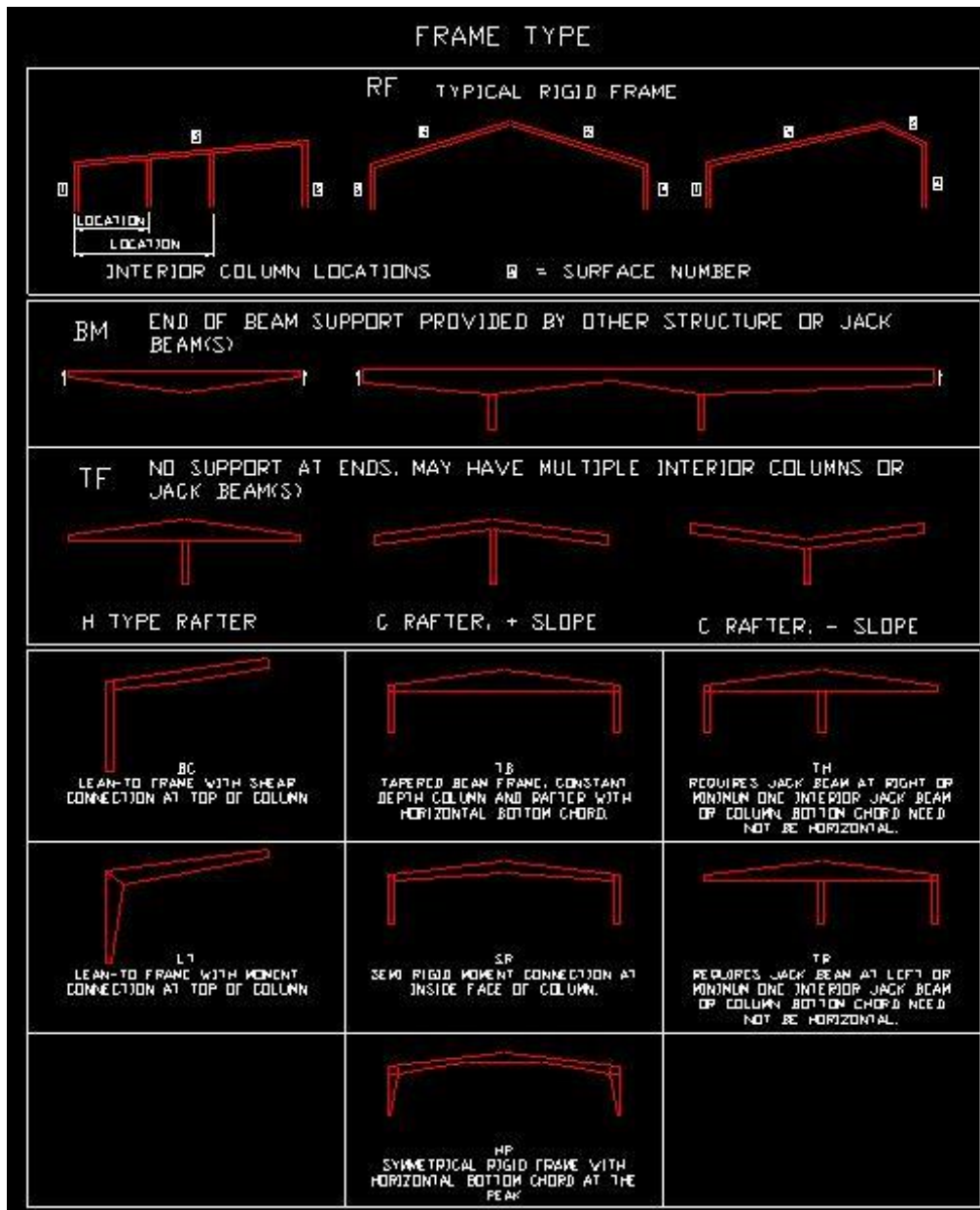


Imagen 6

Al presionar ALT+F1 en **Frame - Type** el programa nos dá mayor información, muestra de manera gráfica las distintas opciones para elegir el tipo de marco para el pórtico (Imagen 6).

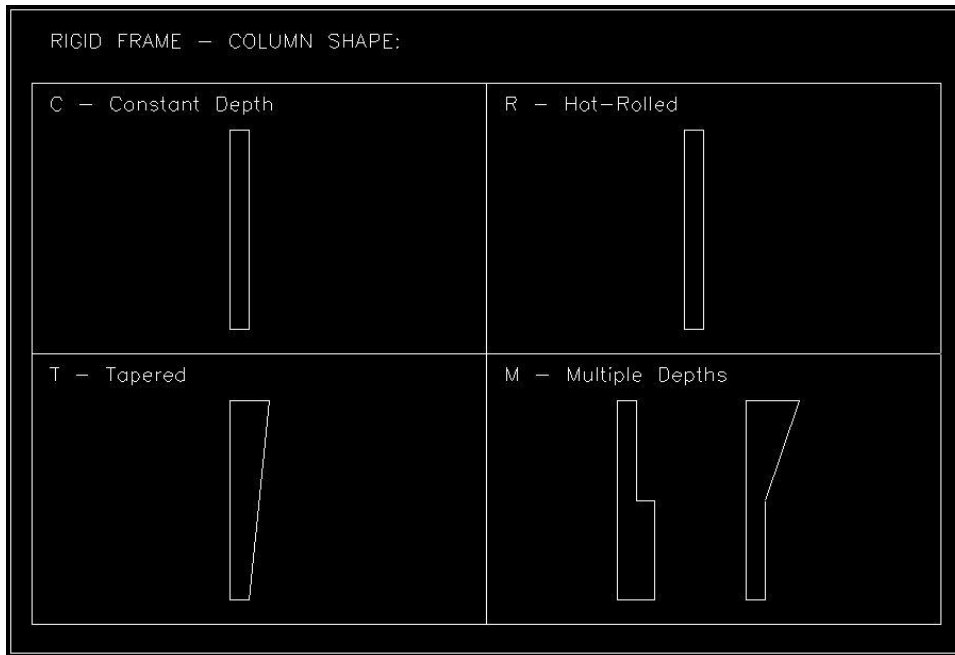


Imagen 7

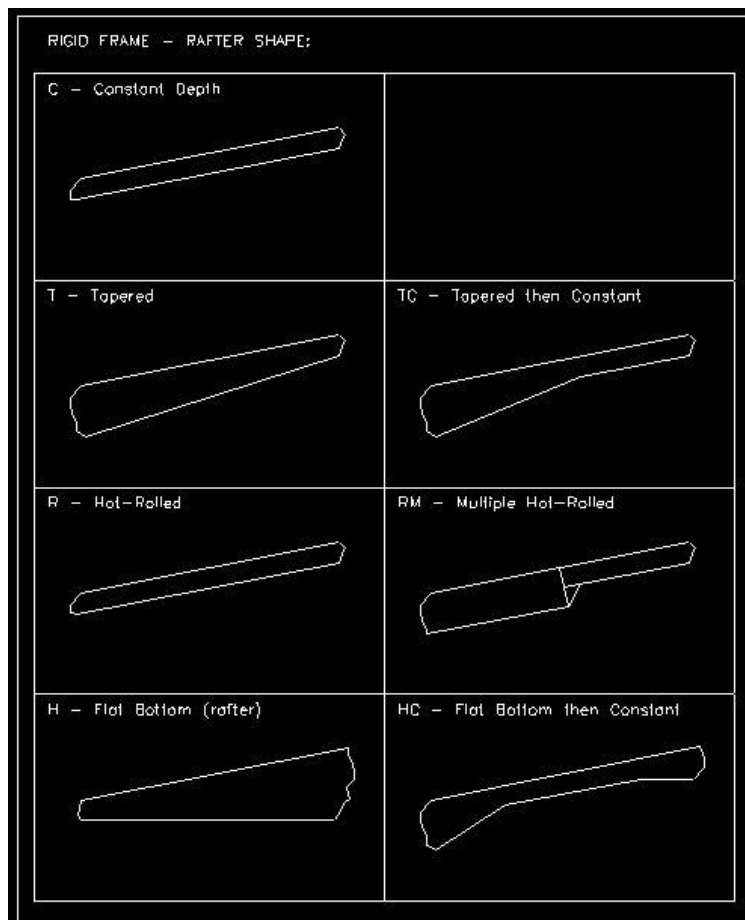


Imagen 8

En las imágenes 7 y 8 vemos los distintos tipos de columnas con las cuales queremos que trabaje el software.

The screenshot shows the 'Loads' tab in the 'Building Input Editor' software. The interface is divided into several sections for inputting load data:

- Building Code:** Includes fields for Wind Code (ASCE 05 LS), Closed/Open (C), Exposure (C), Importance - Wind (1.00), Importance - Seismic (1.00), Seismic Zone/Design Category (B), Seismic Coefficient (0.0000), and Temperature Change (0).
- Building Loads:** Includes fields for Dead (0.12), Live (0.96), Roof Snow (0.00), Collateral (0.00), Wind (0.60), and Load Reduction (checked).
- Extension Loads:** Includes fields for Dead (0.15), Snow, Sidewall (0.00), and Snow, Endwall (0.00).
- Partition Loads:** Includes a field for Wind (0.00).
- Structural Code:** Includes fields for Type (WS/LS) (LS), Cold Formed (NACN01), Hot Rolled (AISC05), and Country Code.

At the bottom of the window, a 3D wireframe model of a building structure is displayed.

Imagen 9

En la imagen 9 **Loads** (Cargas) se ingresan las distintas cargas a las cuales estará sometida la estructura (cargas de viento, sísmicas, nieve, etc.).

Ingresamos el código con el cual queremos que trabaje el programa; eso dependerá del reglamento que se quiera utilizar; éste cambiará según el país y/o la región.

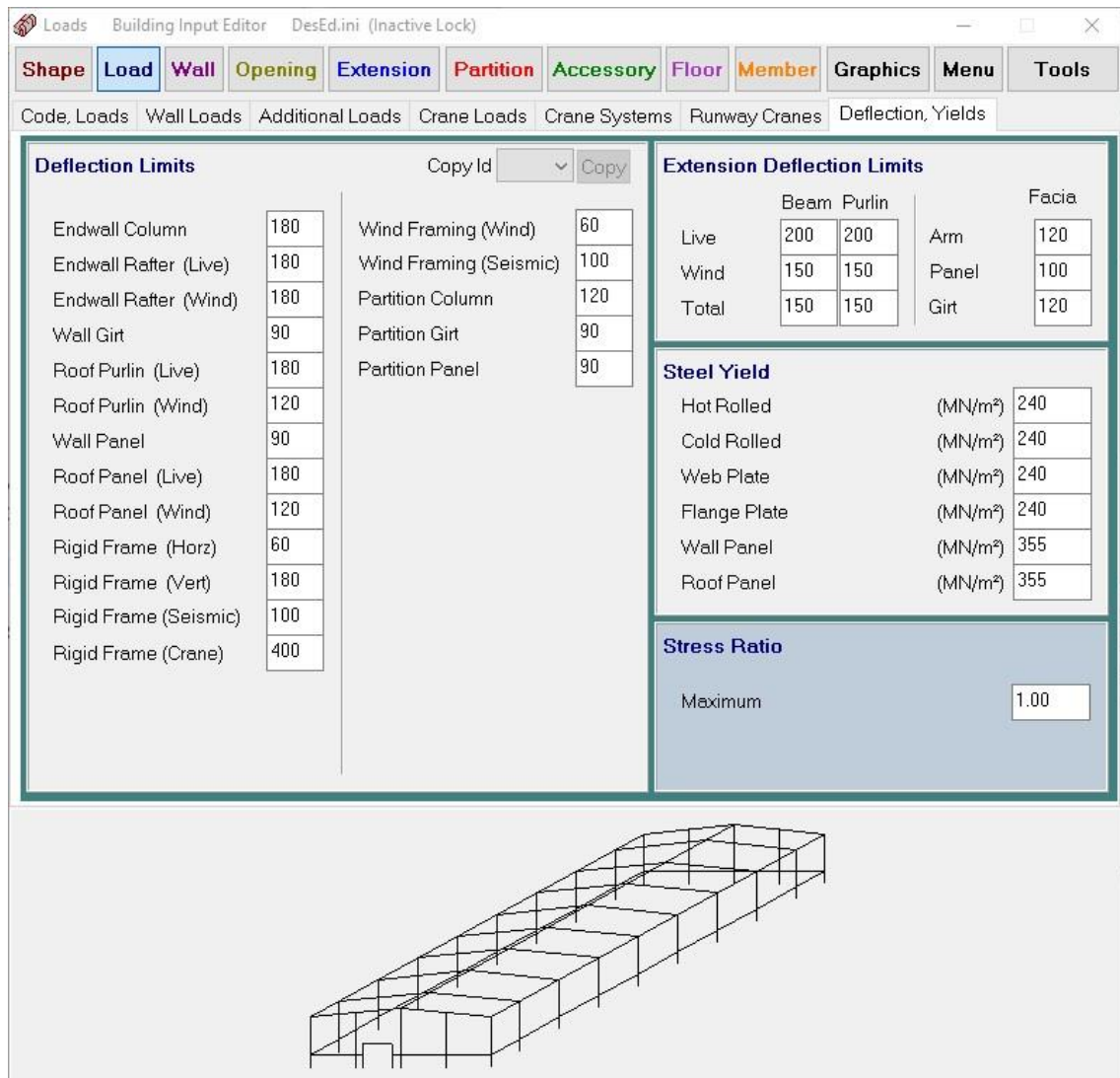


Imagen 10

En la imagen 10 podemos observar las deformaciones y tensiones límite.

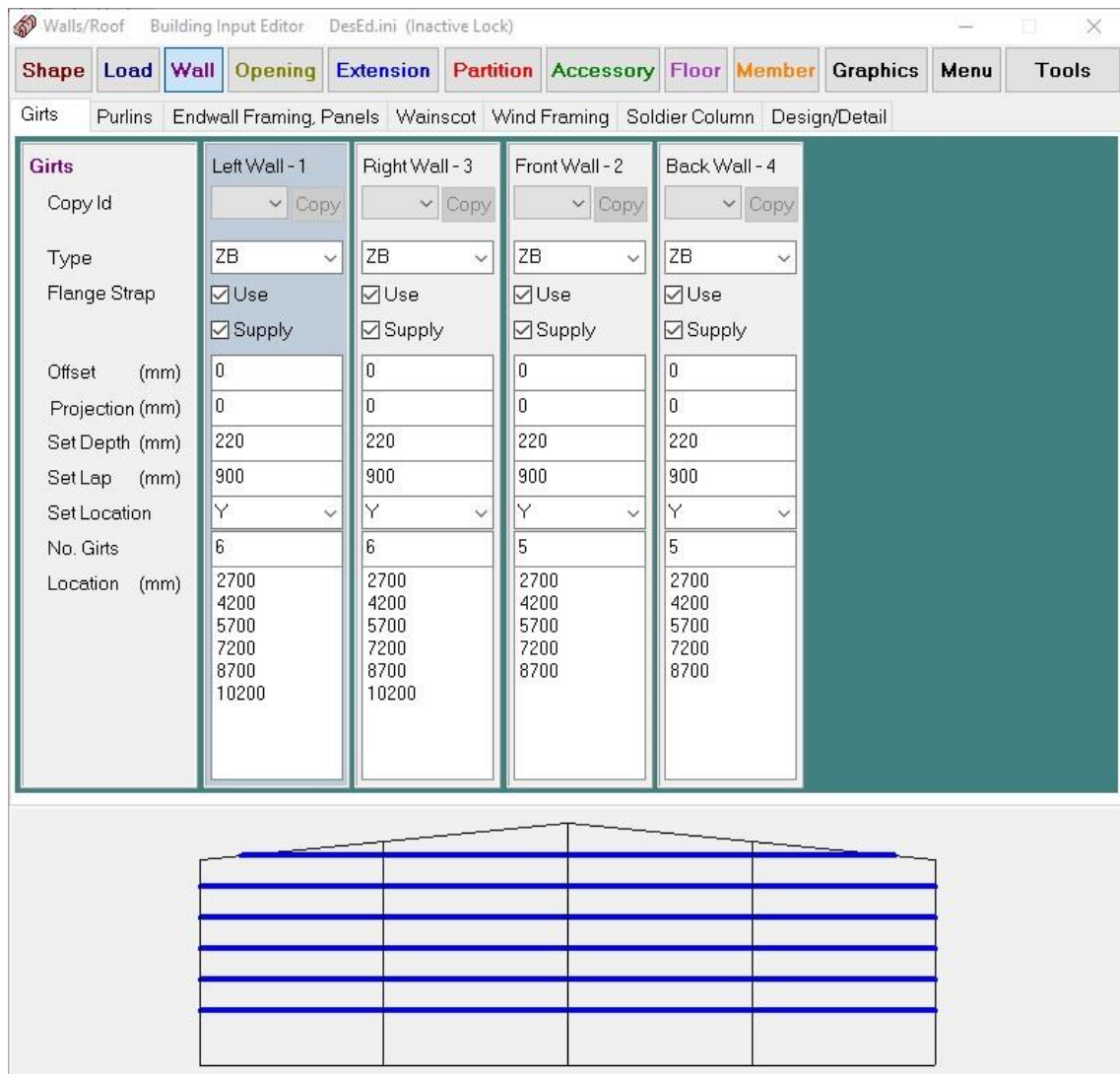


Imagen 11

En la imagen 11 vemos la solapa **WALL – Guirts** (paredes - correas). Aquí cargamos todo lo referido a las correas en cada cara de la estructura. Seleccionamos cantidad de correas, separación, el tipo de correa, como por ejemplo Correas Z, C, perfiles, etc.

En este caso usamos correas Z y las seteamos para que sean de 220mm de altura. También podríamos ingresar 0 seleccionando en automático el tipo de correa a utilizar.

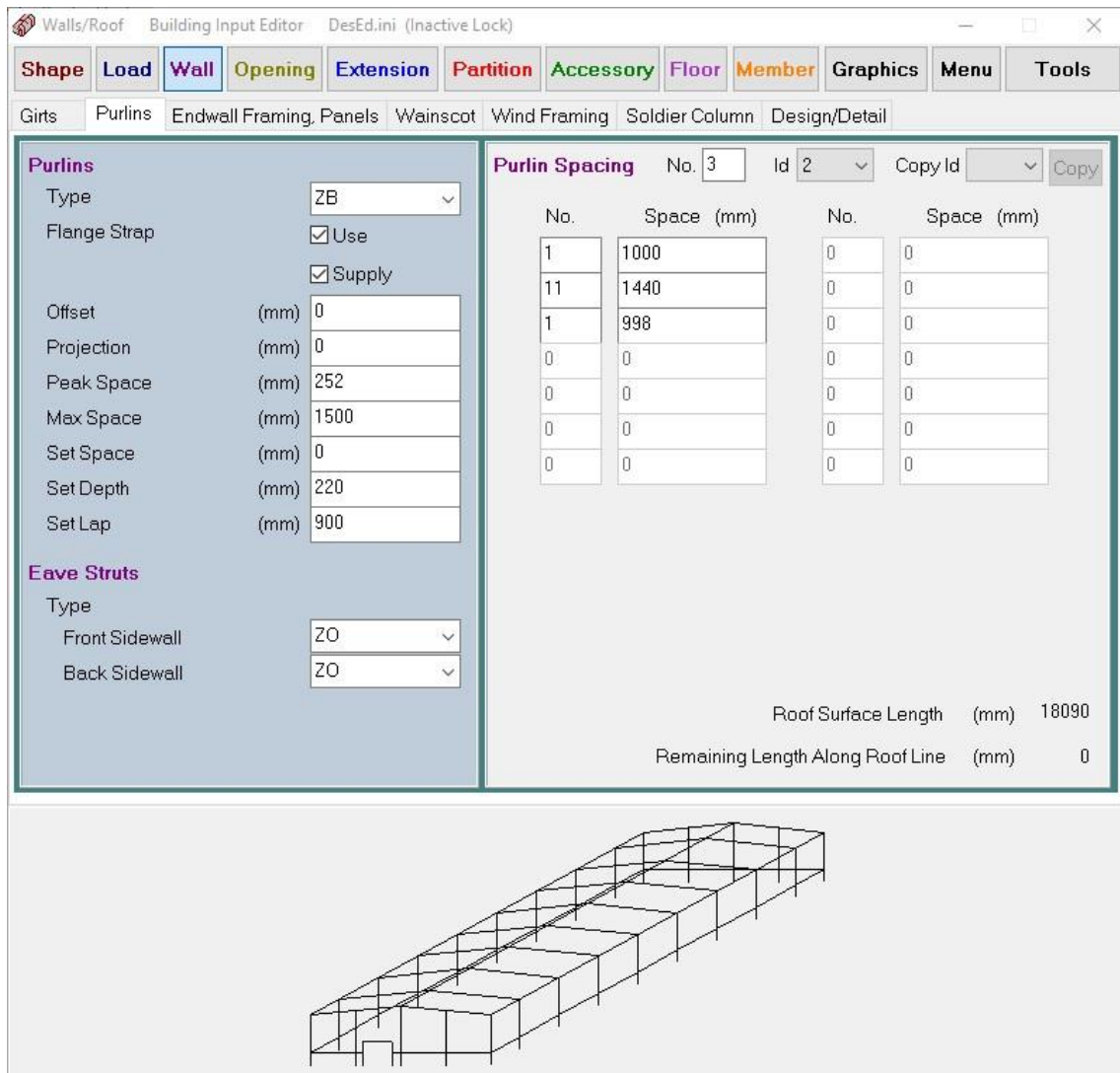


Imagen 12

En la imagen 12 vemos las correas, pero en este caso del techo. Cargamos el tipo de correa, la altura de las mismas y si hay solape entre ellas, separación, etc.

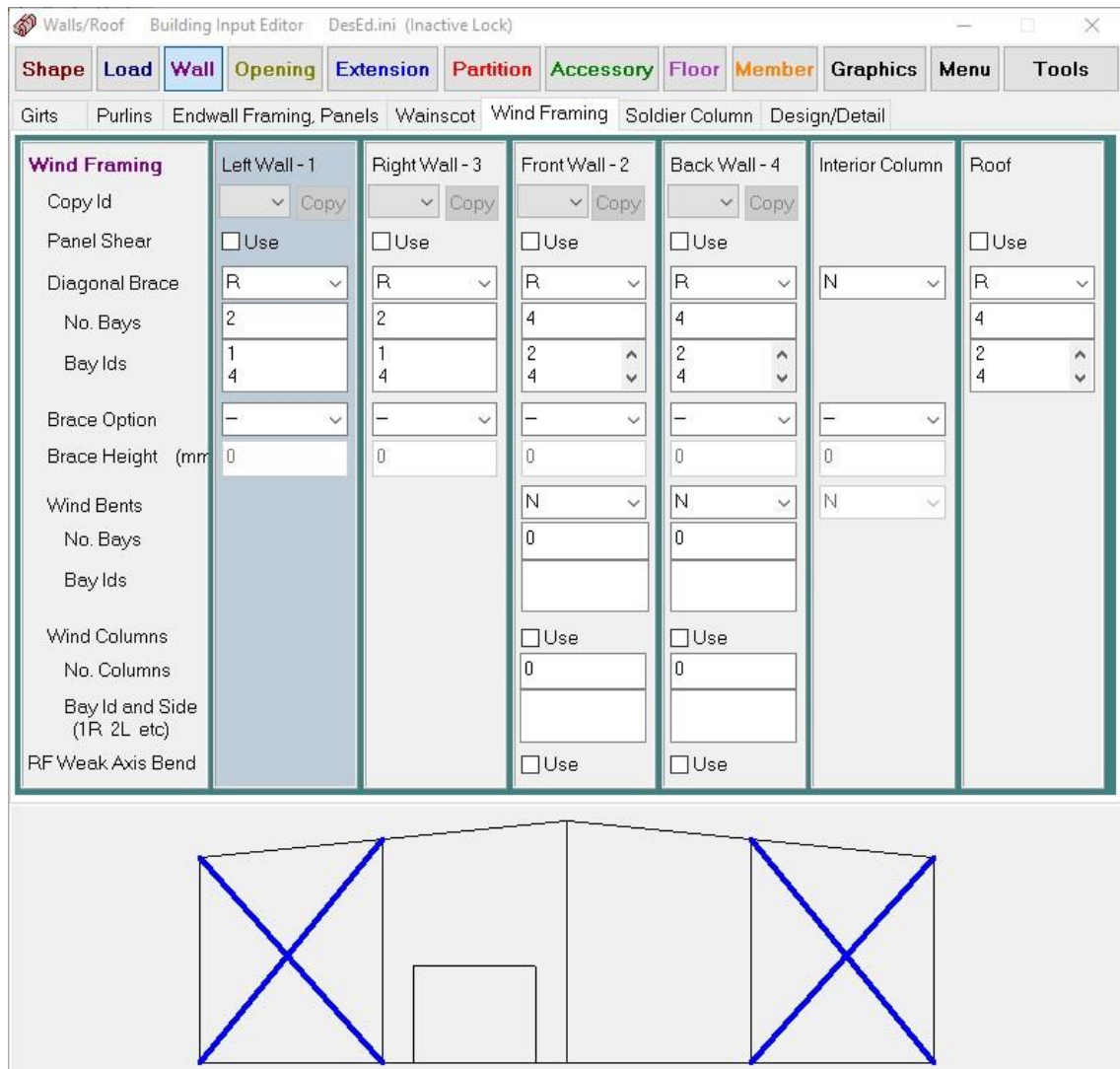


Imagen 13

En la imagen 13 podemos cargar de manera manual o en forma automática todo lo referido a rigidización mediante arriostramientos, cruces de San Andrés, sobre los laterales, techo y en columnas interiores si fuere el caso.

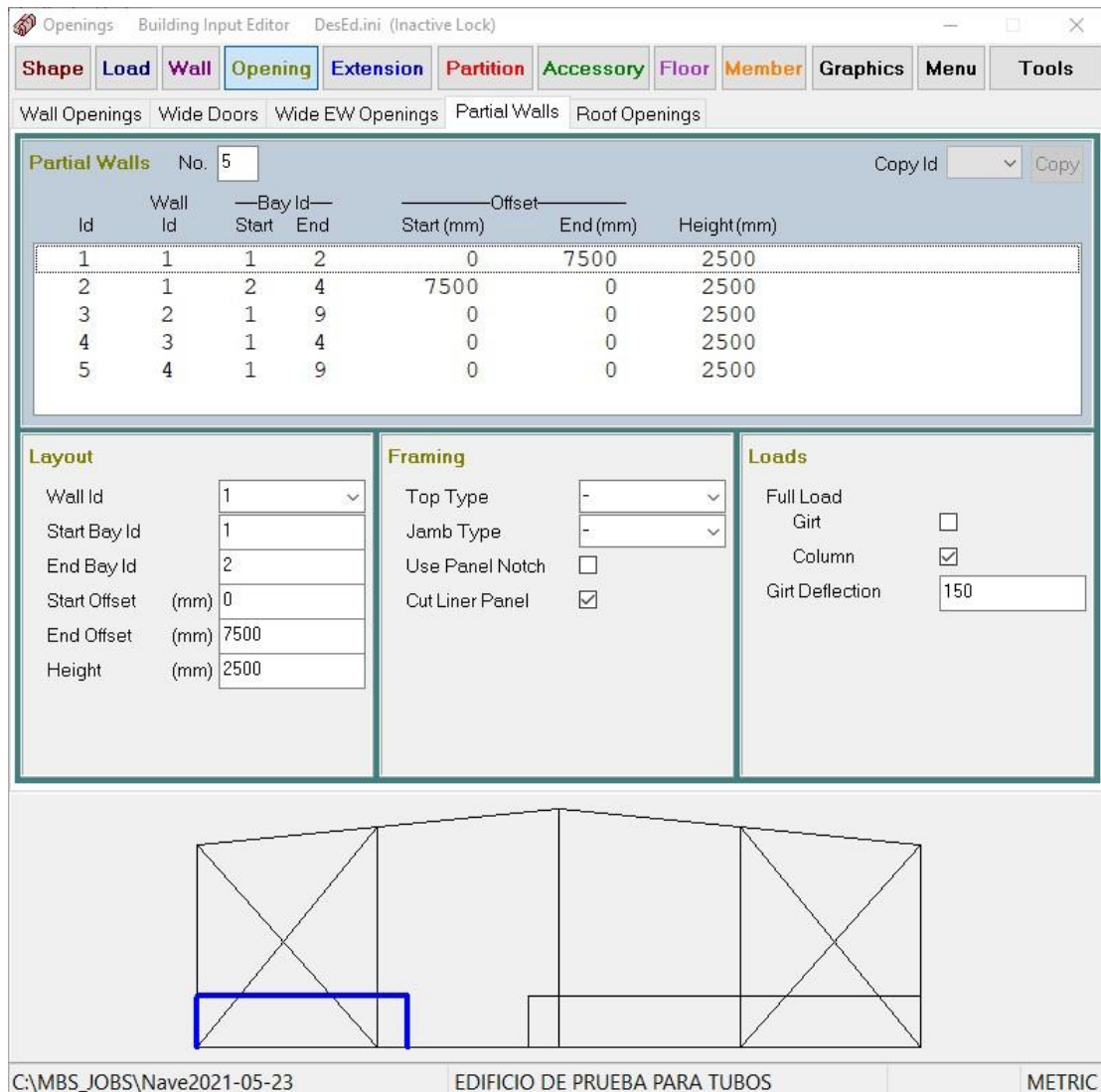
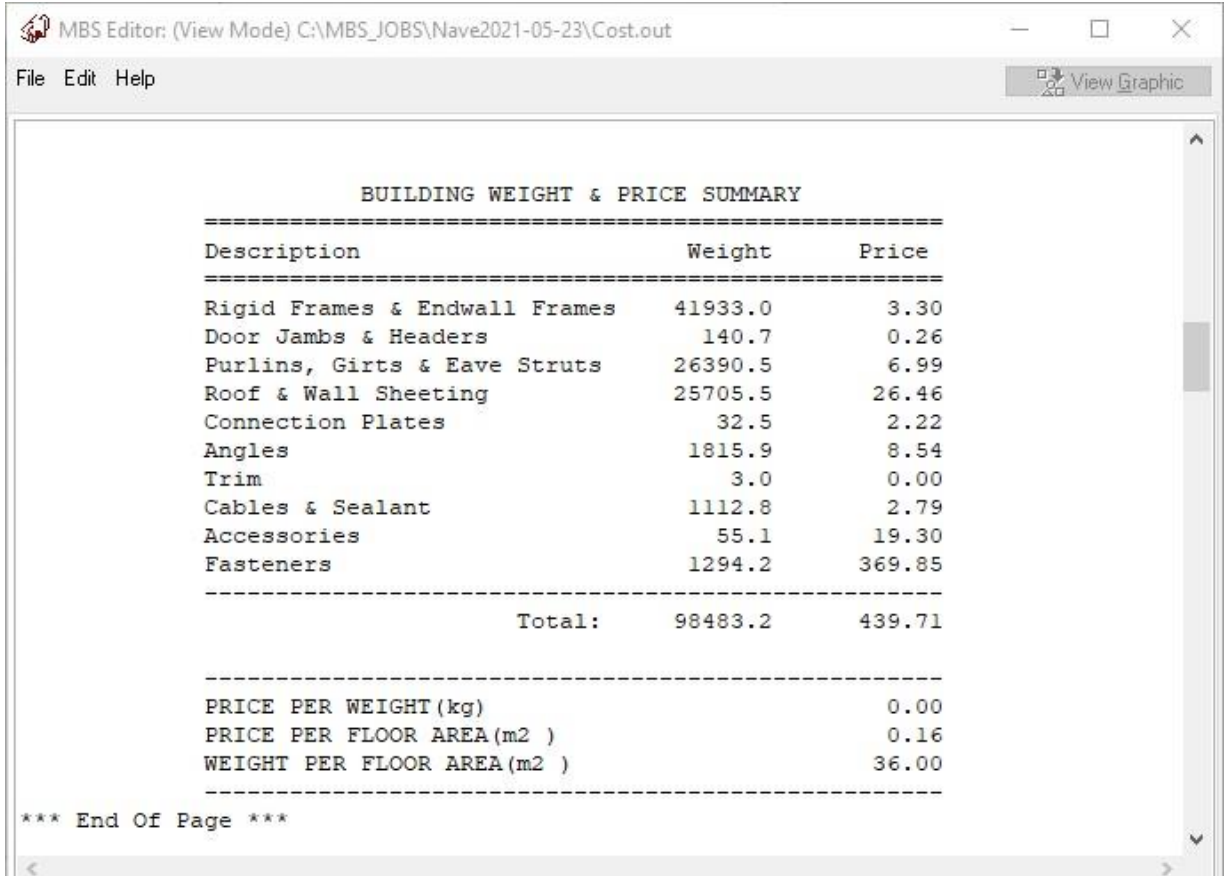


Imagen 14

En la imagen 14 vemos la solapa donde se cargan las paredes parciales que pueden existir en una nave industrial. En las naves industriales suele presentarse que el cerramiento lateral llegue hasta el piso o también que tenga una pared de aproximadamente 2,5m de altura y luego continúe con el cerramiento de chapa.



MBS Editor: (View Mode) C:\MBS_JOBS\Nave2021-05-23\Cost.out

File Edit Help View Graphic

```

=====
                        BUILDING WEIGHT & PRICE SUMMARY
=====
Description                Weight      Price
=====
Rigid Frames & Endwall Frames  41933.0    3.30
Door Jambs & Headers          140.7      0.26
Purlins, Girts & Eave Struts  26390.5    6.99
Roof & Wall Sheeting          25705.5    26.46
Connection Plates             32.5       2.22
Angles                        1815.9     8.54
Trim                           3.0        0.00
Cables & Sealant              1112.8     2.79
Accessories                    55.1      19.30
Fasteners                      1294.2    369.85
-----
                        Total:    98483.2   439.71
-----

PRICE PER WEIGHT (kg)                0.00
PRICE PER FLOOR AREA (m2 )           0.16
WEIGHT PER FLOOR AREA (m2 )          36.00
-----
*** End Of Page ***

```

Imagen 15

Una vez terminada la carga de todas las características de la nave industrial procedemos a ejecutar el programa y el mismo nos brindará un reporte detallado de la solución propuesta. En la imagen 15 vemos los resultados respecto al peso de toda la estructura y sus elementos que la componen.

Observamos del reporte que la nave industrial pesa 98.483,2 Kg (98,4832 tn), en el cual cada pórtico principal de la estructura pesa 4.068,6 Kg. Siendo 8 los pórticos principales

$4.068.6\text{Kg} \times 8 = 32.548.8 \text{ Kg}$ en total.

A continuación, veremos algunos los distintos planos que el software "MBS" genera automáticamente:

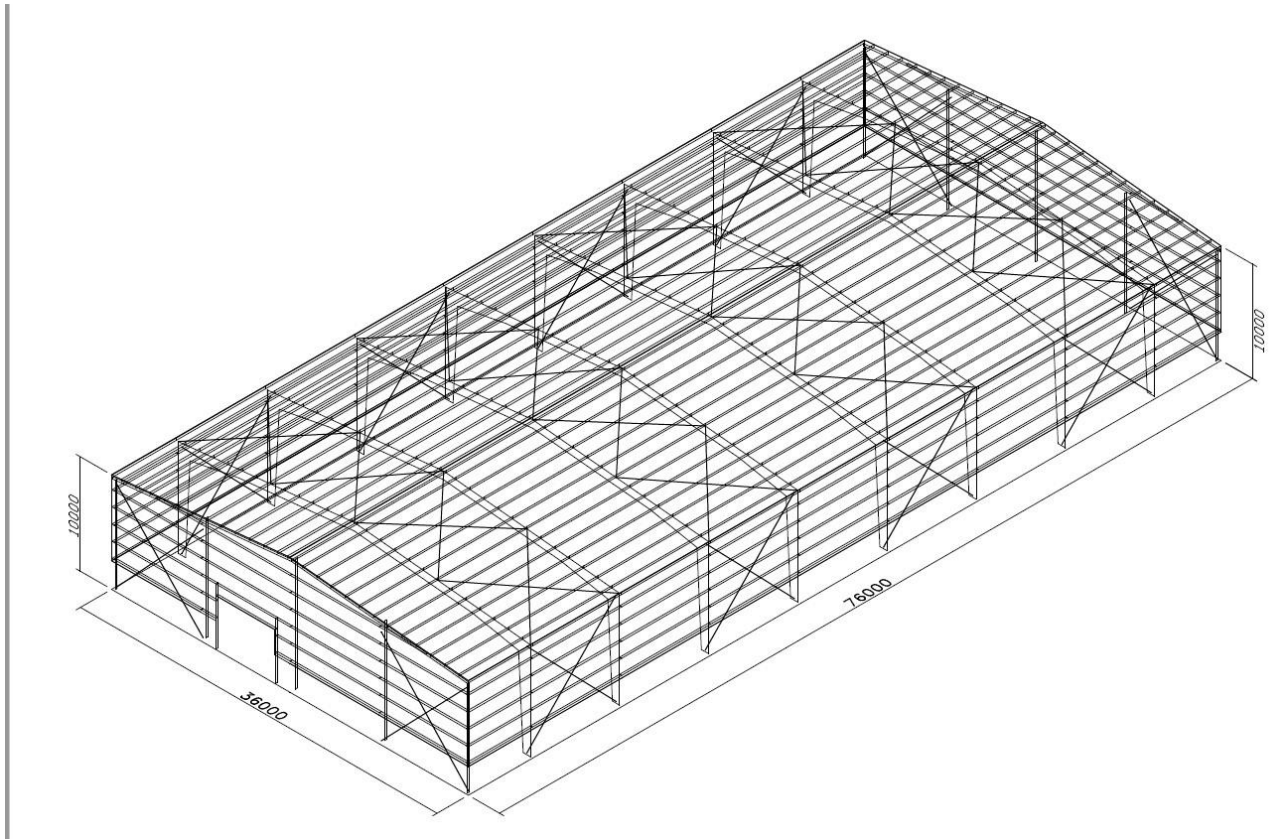


Imagen 16: Plano representativo en 3D

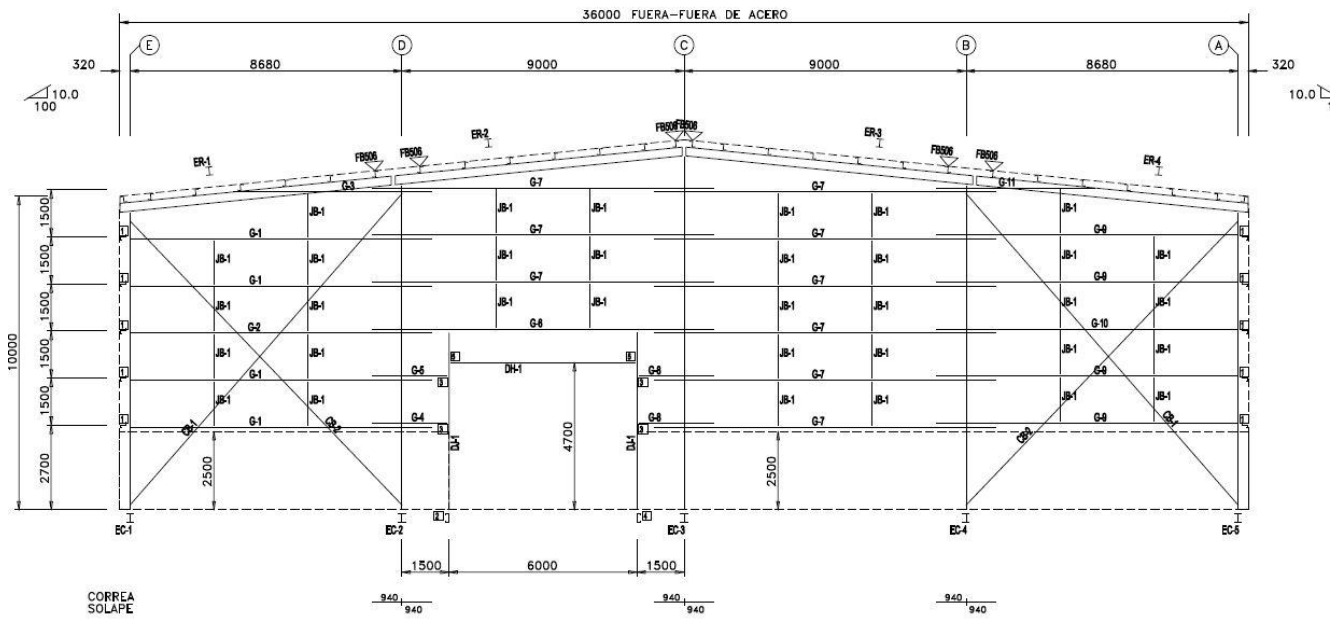


Imagen 17: Vista frontal

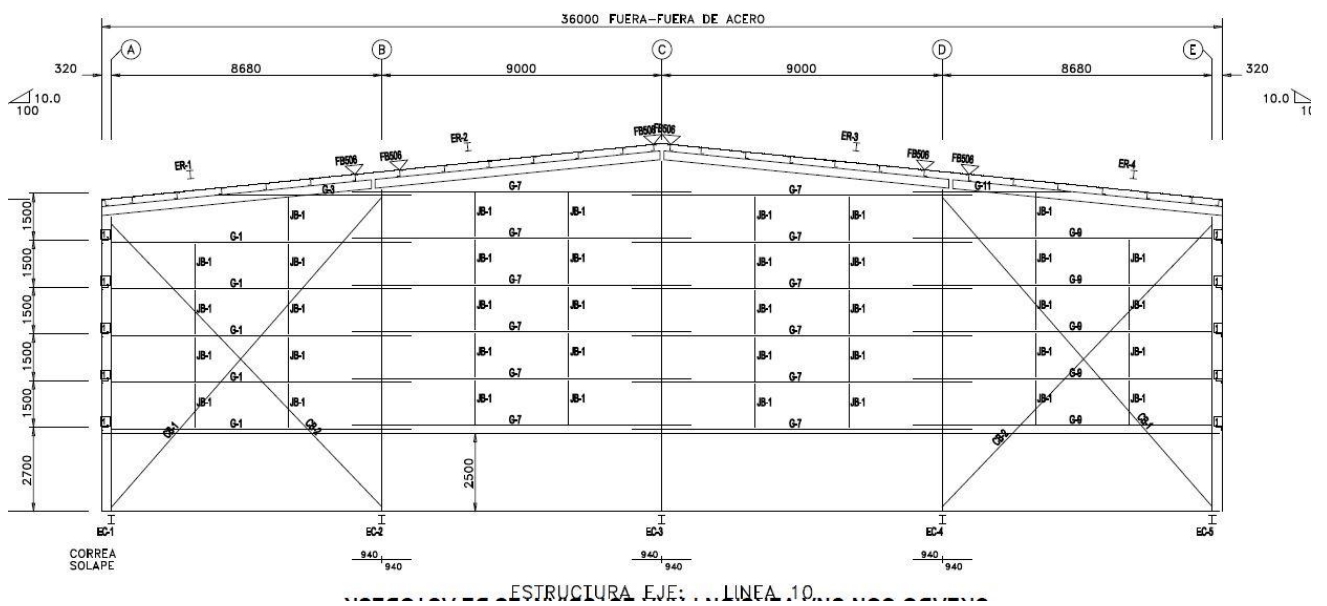


Imagen 18: Vista de fondo de la nave industrial, con ubicación de las correas

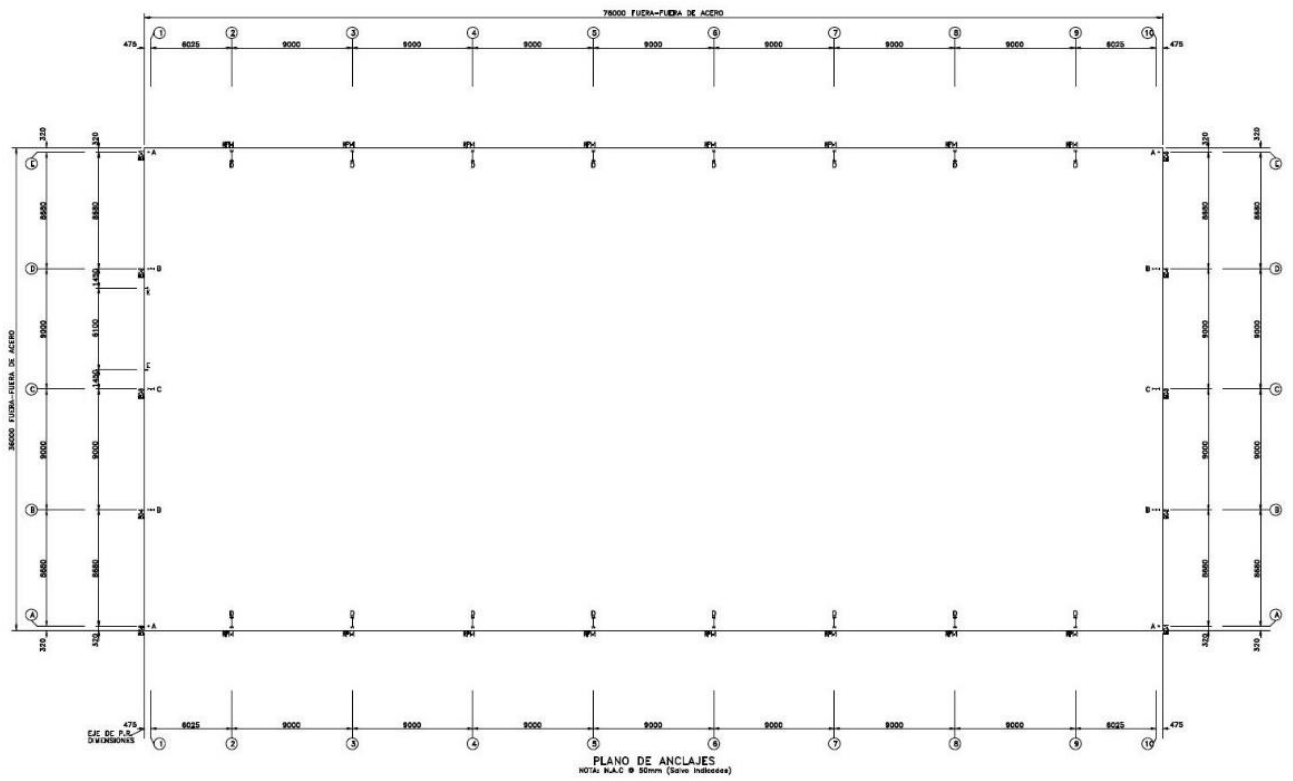


Imagen 19: Plano de anclajes

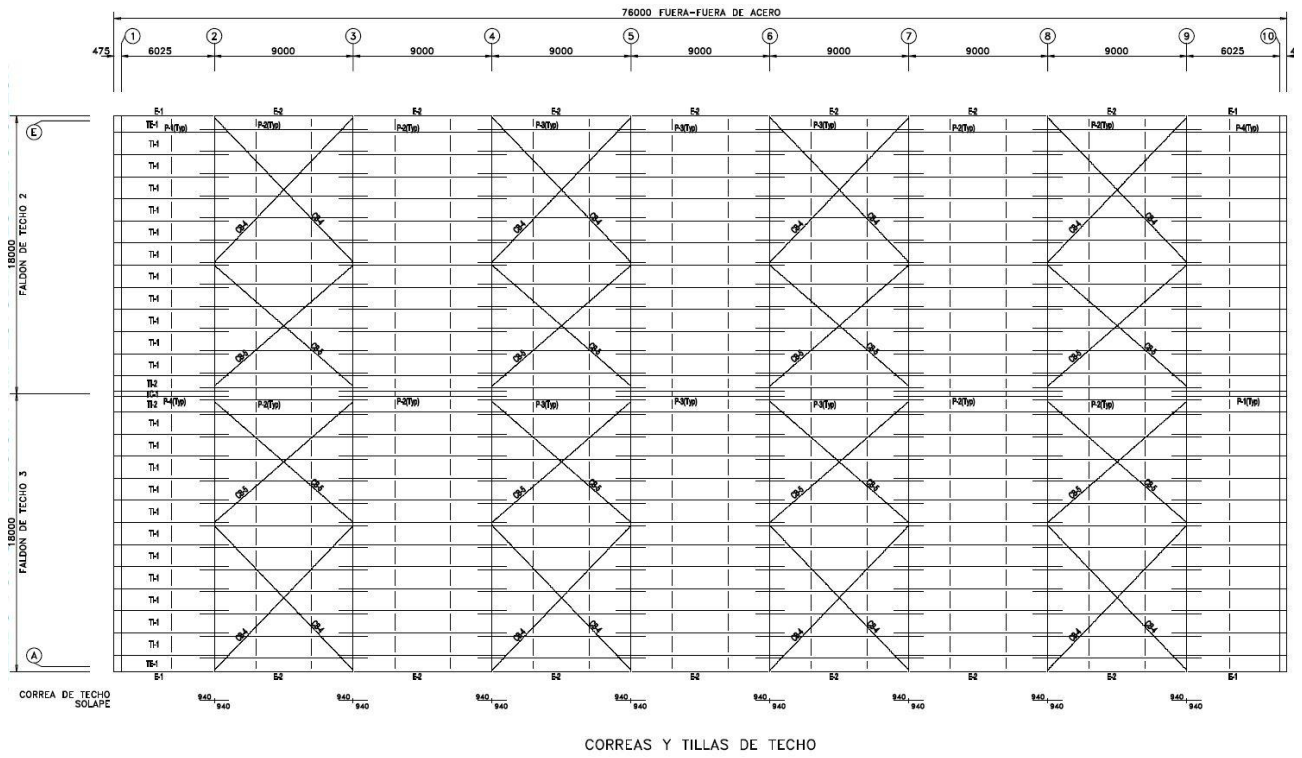


Imagen 20: Plano de correas y tillas¹ de techo

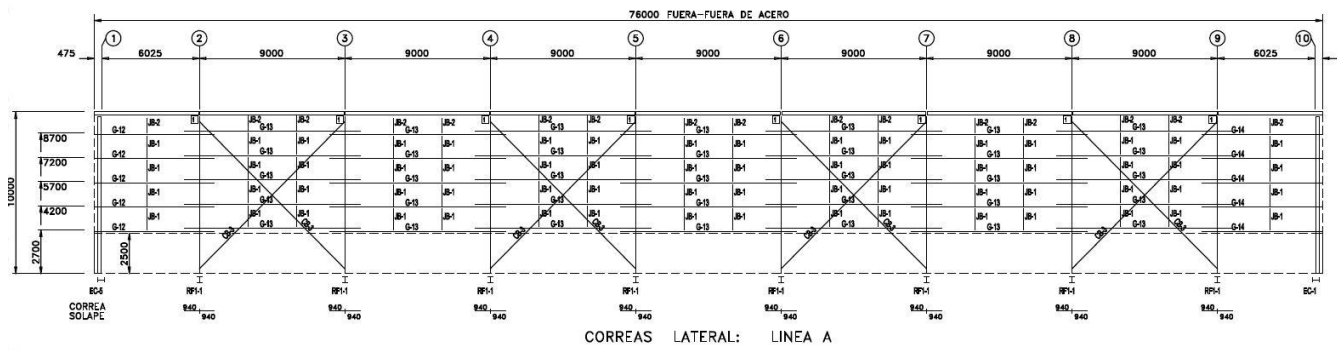


Imagen 21: Plano de correas, vista lateral

¹ Término usado en cubiertas de techo. Elemento secundario de acero estructural diseñado para dar soporte lateral a las correas.

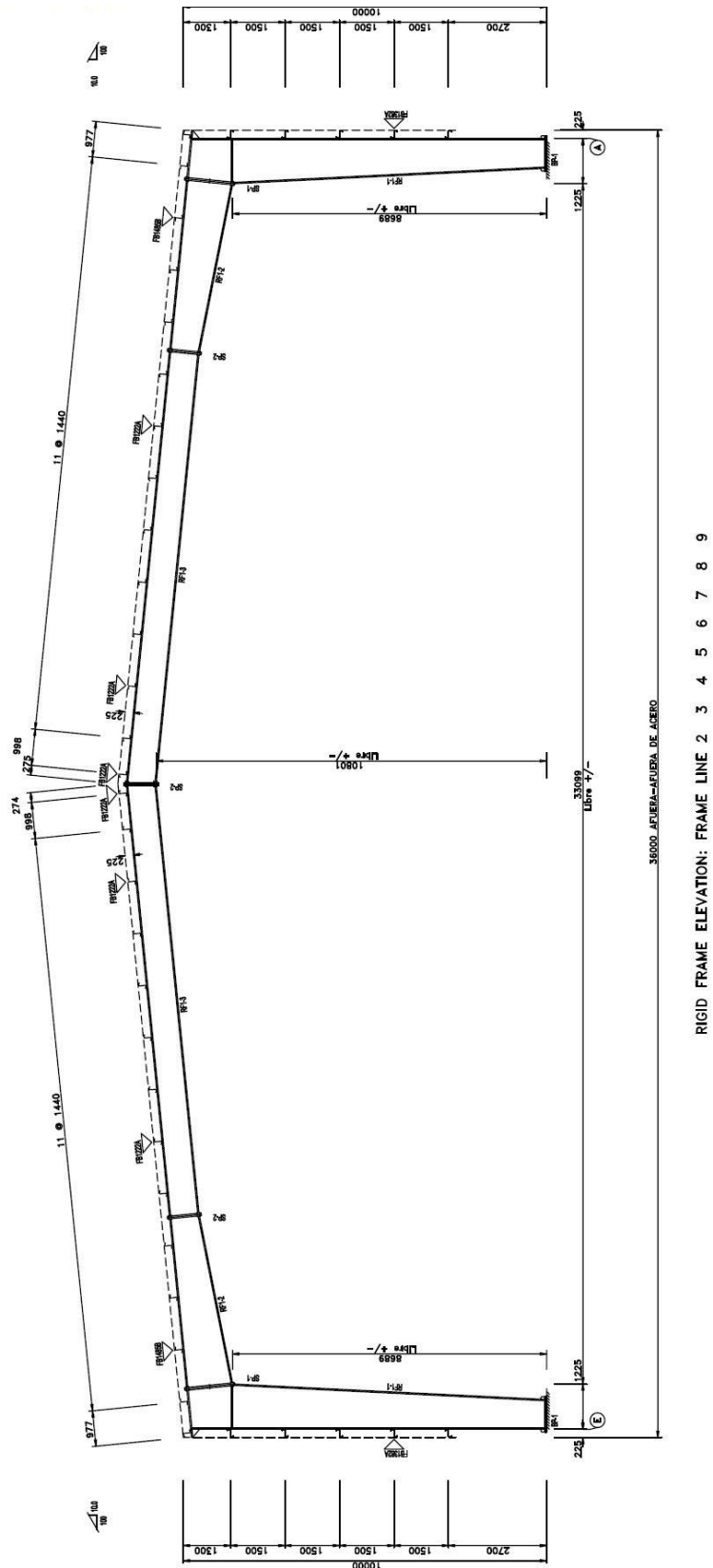


Imagen 22: Plano del pórtico principal de la estructura

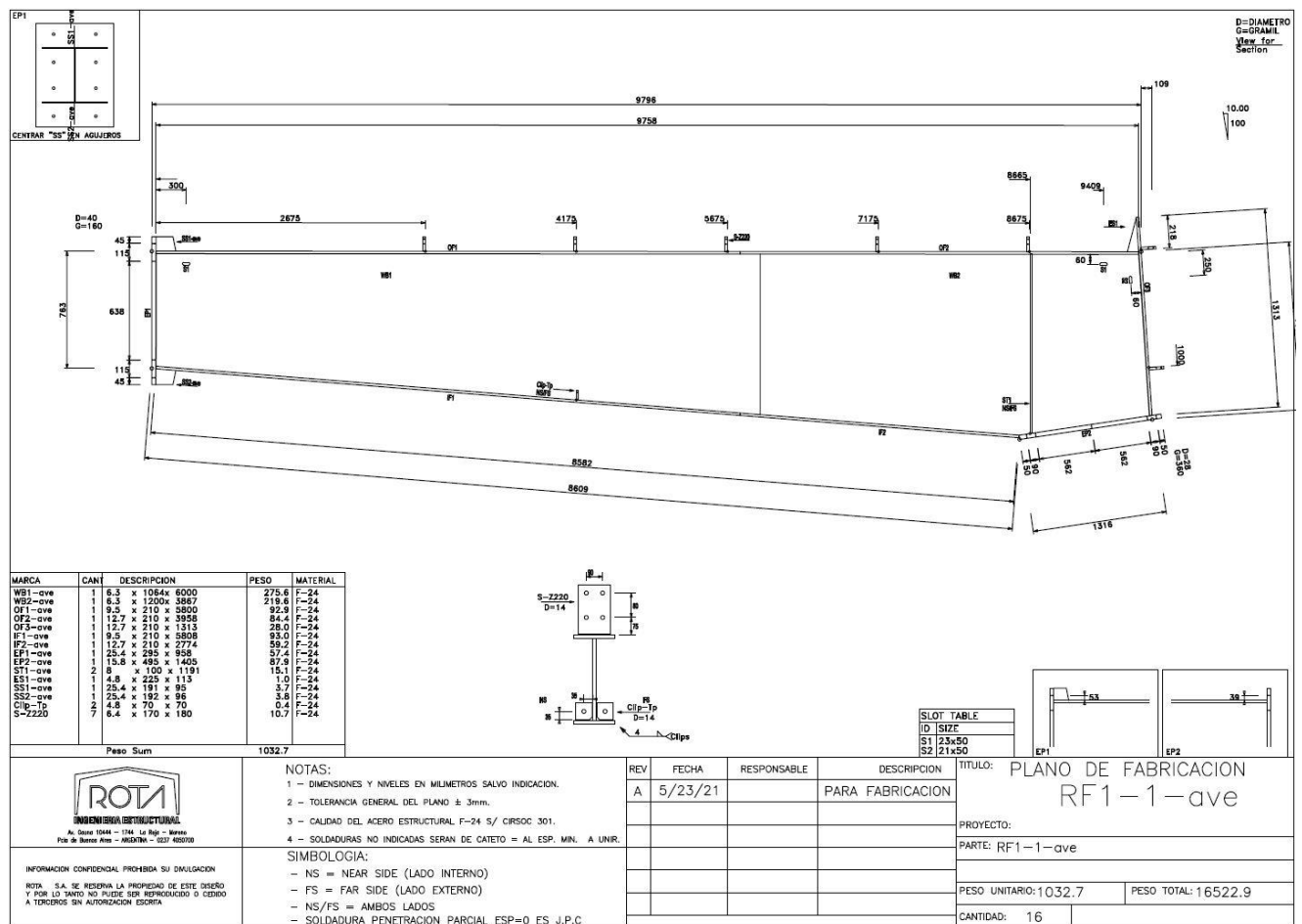
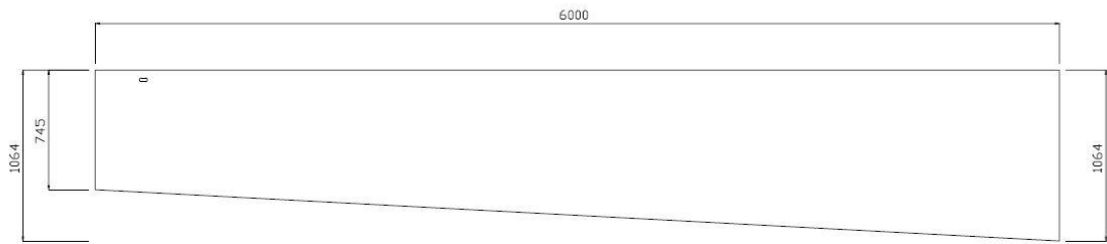


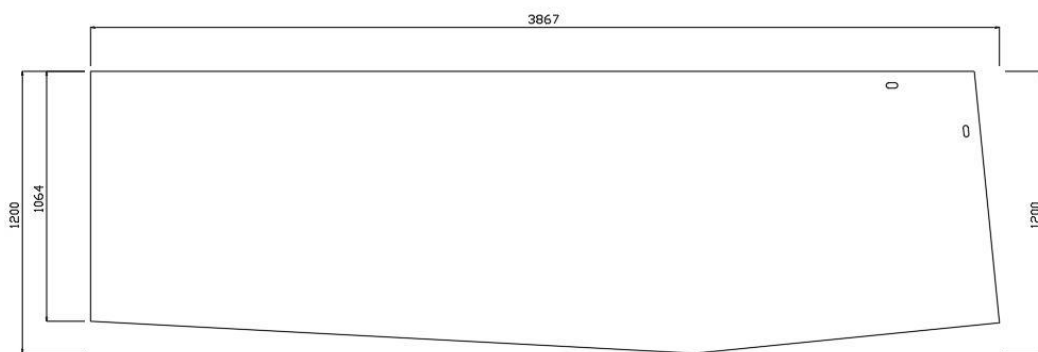
Imagen 23: Plano de armado de la columna

En la Imagen 23 observamos el plano de armado de la columna. En él se detallan todas las piezas necesarias para el armado de la columna del pórtico principal. Se contempla de manera gráfica el armado de la misma y además podemos observar el listado completo de cada una de las piezas y cantidades que conforman la columna. A su vez se visualiza el número de piezas de este tipo que deben fabricarse para completar la nave industrial.



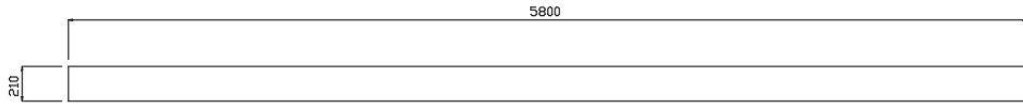
□kna:Nave
Dibujo:WB1-ave
Cantidad:16
Espesor:6.3

Imagen 24: Pieza WB1 (alma de la columna)



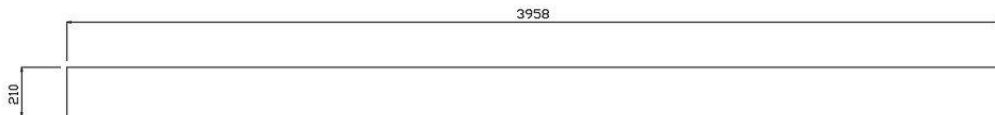
□kna:Nave
Dibujo:WB2-ave
Cantidad:16
Espesor:6.3

Imagen 25: Pieza WB2 (alma de la columna)



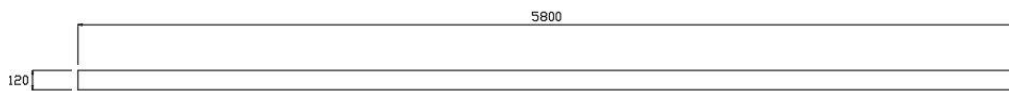
Obra:Nave
Dibujo:DF1-ave
Cantidad:16
Espesor:9.5

Imagen 26: Pieza OF1 (ala exterior de la columna)



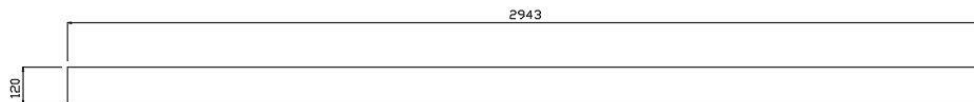
Obra:Nave
Dibujo:DF2-ave
Cantidad:16
Espesor:12.7

Imagen 27: Pieza OF2 (ala exterior de la columna)



Obra:Nave
Dibujo:IFE1-ave
Cantidad:4
Espesor:4.8

Imagen 28: Pieza IF1 (ala interior de la columna)



Obra:Nave
Dibujo:IFE2-ave
Cantidad:4
Espesor:4.8

Imagen 29: Pieza IFE2 (ala interior de la columna)

En las imágenes 24, 25 ,26, 27, 28 y 29 podemos ver algunos de los distintos planos de fabricación que componen la columna del pórtico principal de la nave industrial. Este tipo de plano, los de fabricación, son muy importantes y de gran relevancia. En este caso,

debido a que el software “MBS” los genera de manera rápida, en forma automática y en pocos segundos, generando la totalidad de planos de armado y fabricación de la nave industrial, dejándolos listos para enviar a producción, por ejemplo, como puede ser a un pantógrafo de corte por plasma.

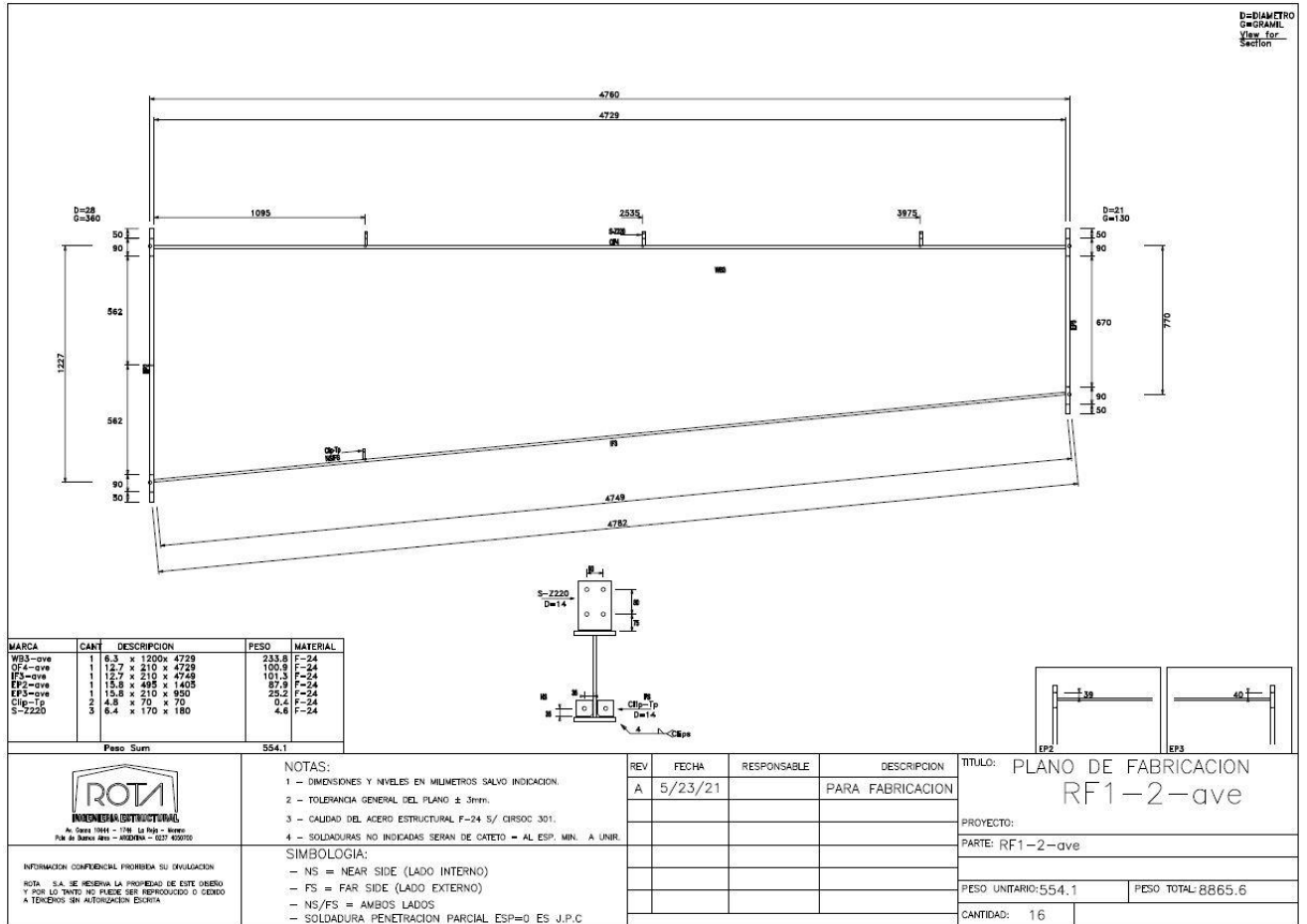
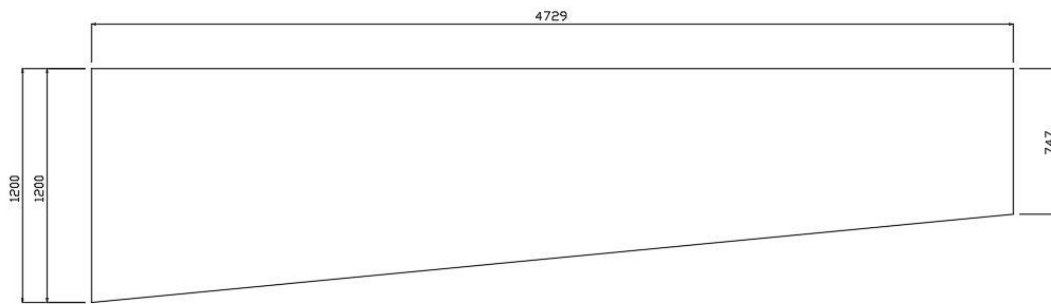


Imagen 30: Plano de armado 1/2 que componen la viga del pórtico principal

En la Imagen 30 observamos uno de los planos de armado de la viga. En él se detallan todas las piezas necesarias para el armado de la columna del pórtico principal. Se contempla de manera gráfica el armado de la misma y además podemos observar el listado completo de cada una de las piezas y cantidades que conforman la columna. A su vez se visualiza el número de piezas de este tipo que deben fabricarse para completar la nave industrial.



Obra: Nave
Dibujo: WB3-ave
Cantidad: 16
Espesor: 6.3

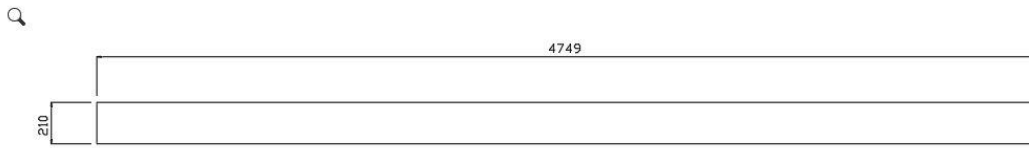
Imagen 31: Pieza WB3 (alma de la viga)



Q

Obra: Nave
Dibujo: OF4-ave
Cantidad: 16
Espesor: 12.7

Imagen 32: Pieza OF4 (ala exterior de la viga)



Obra: Nave
 Dibujo: IF3-ave
 Cantidad: 16
 Espesor: 12.7

Imagen 33: Pieza IF3 (ala interior de la viga)

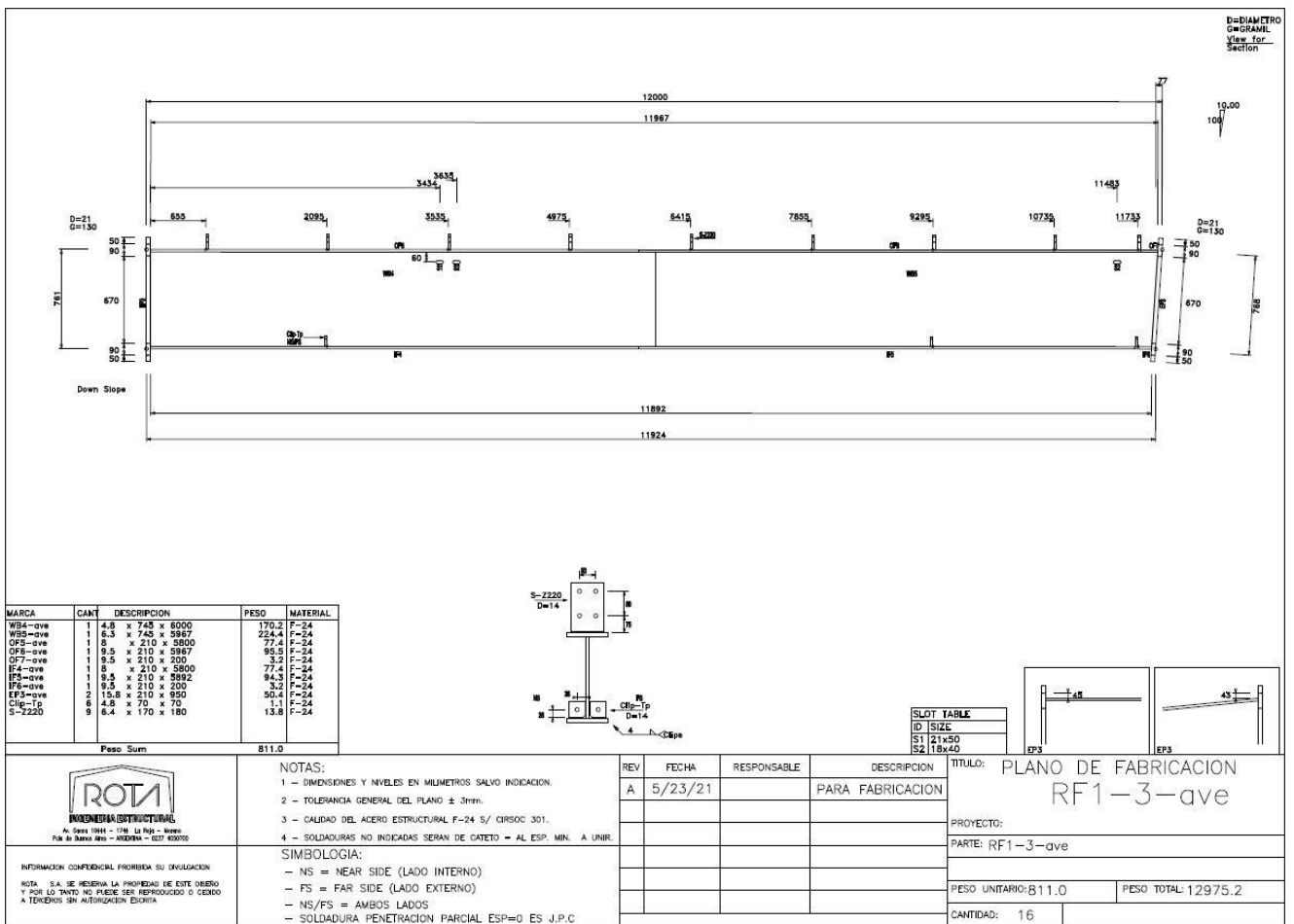
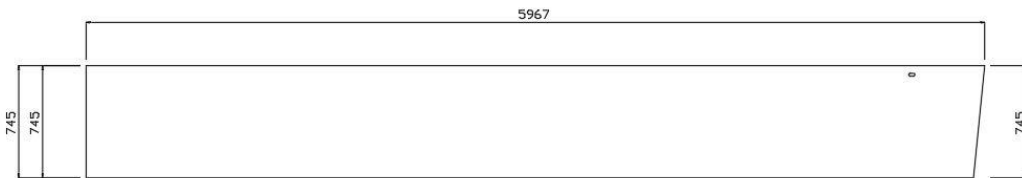


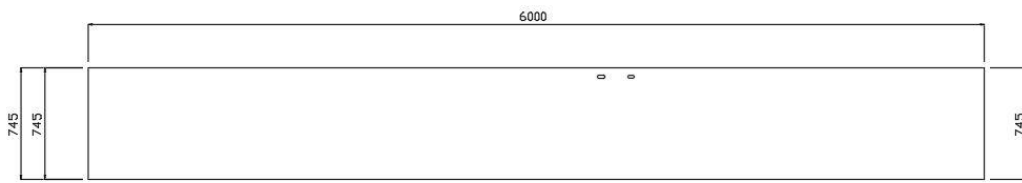
Imagen 34: Plano de armado 2/2 de la viga del pórtico principal.

En la Imagen 34 observamos el segundo plano de armado de la viga. En él se detallan todas las piezas necesarias para el armado de la columna del pórtico principal. Se contempla de manera gráfica el armado de la misma y además podemos observar el listado completo de cada una de las piezas y cantidades que conforman la columna. A su vez se visualiza el número de piezas de este tipo que deben fabricarse para completar la nave industrial.



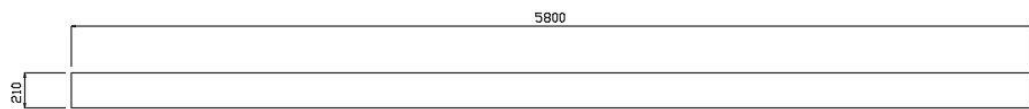
Obra:Nave
Dibujo:WB5-ave
Cantidad:16
Espesor:6.3

Imagen 35: Pieza WB5 (alma de la viga)



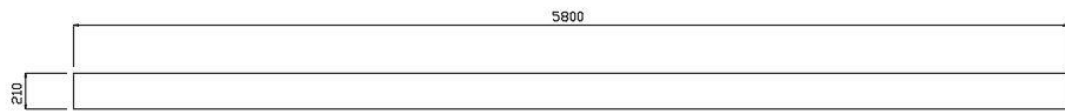
Obra:Nave
Dibujo:WB4-ave
Cantidad:16
Espesor:4.8

Imagen 36: Pieza WB4 (alma de la viga)



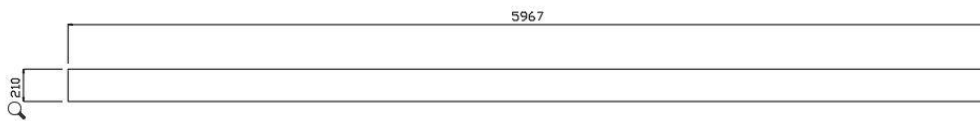
Obra:Nave
Dibujo:OF5-ave
Cantidad:16
Espesor:7.9

Imagen 37: Pieza OF5 (ala exterior de la viga)



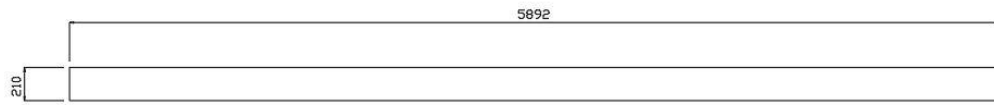
Obra: Nave
Dibujo: IF4-ave
Cantidad: 16
Espesor: 7.9

Imagen 38: Pieza IF4 (ala interior de la viga)



Obra: Nave
Dibujo: OF6-ave
Cantidad: 16
Espesor: 9.5

Imagen 39: Pieza OF6 (ala exterior de la viga)



Obra:Nave
Dibujo:IF5-ave
Cantidad:16
Espesor:9.5

Imagen 40: Pieza IF5 (ala interior de la viga)

Software “RAM Elements”

Procedemos a calcular la nave industrial con el software “RAM Elements” correspondiente al proyecto base:

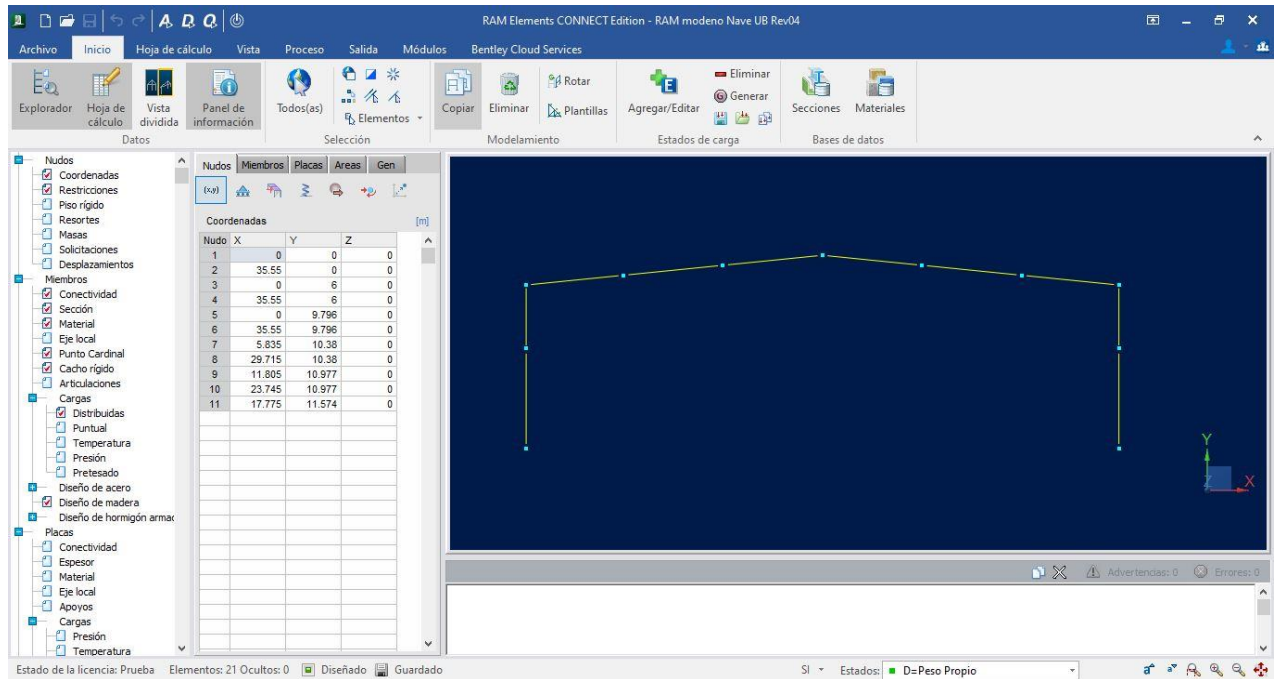
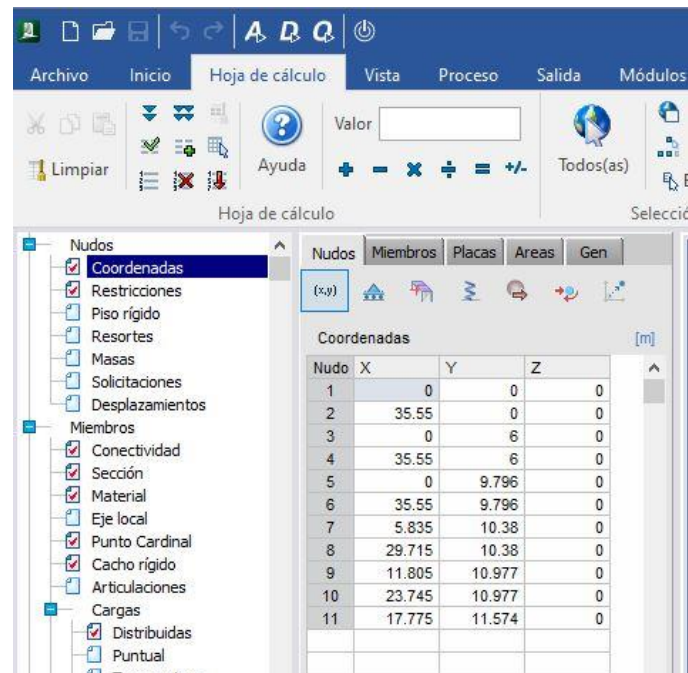


Imagen 41

En la imagen 41 podemos observar el panel y esquema de trabajo del software “RAM Elements”. A diferencia del “MBS” en el cual cargamos la geometría general (ancho, profundidad, altura, cumbre, etc.) aquí debemos hacer la carga del input de forma más específica, detallando el diseño que propone el usuario.

Se debe ingresar cada una de las coordenadas, restricciones, cada uno de los nudos, miembros, secciones, materiales, etc., que formarán parte de la estructura metálica, de la nave industrial.



Hoja de cálculo

Nodos

Coordenadas

Nudo	X	Y	Z
1	0	0	0
2	35.55	0	0
3	0	6	0
4	35.55	6	0
5	0	9.796	0
6	35.55	9.796	0
7	5.835	10.38	0
8	29.715	10.38	0
9	11.805	10.977	0
10	23.745	10.977	0
11	17.775	11.574	0

Imagen 42

En la imagen 42 observamos la carga de las coordenadas del pórtico estructural principal de la nave industrial, el mismo va a medir 35,55m de ancho por 9,796m de altura en sus laterales y en la cumbrera 11,574m.

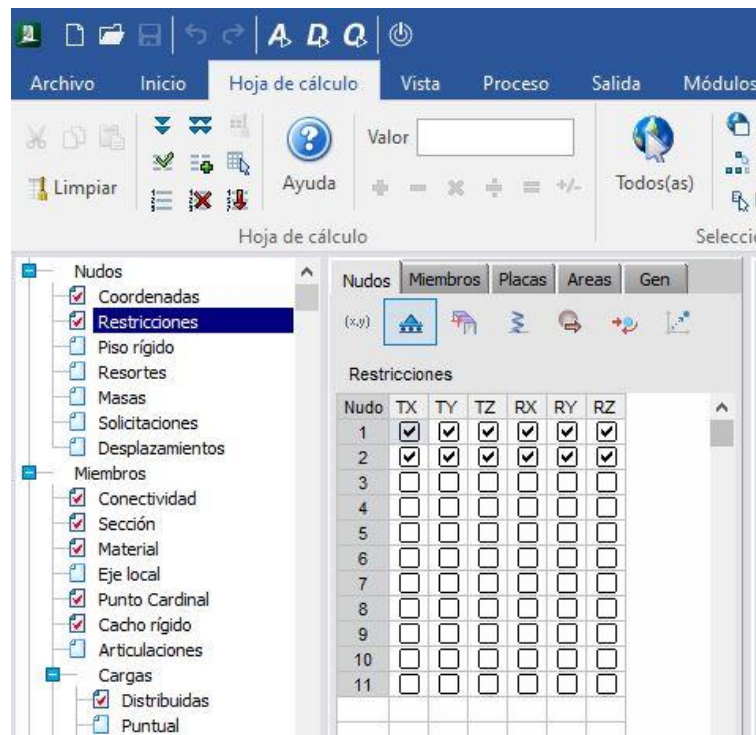


Imagen 43

En la imagen 43 podemos ver todo lo referido a las restricciones y cómo se pueden especificar. Aquí debemos cargar en cada una de ellas sus restricciones si fuera necesario, traslaciones, rotaciones; por ejemplo, nudo articulado, empotrado, patín en x, etc.

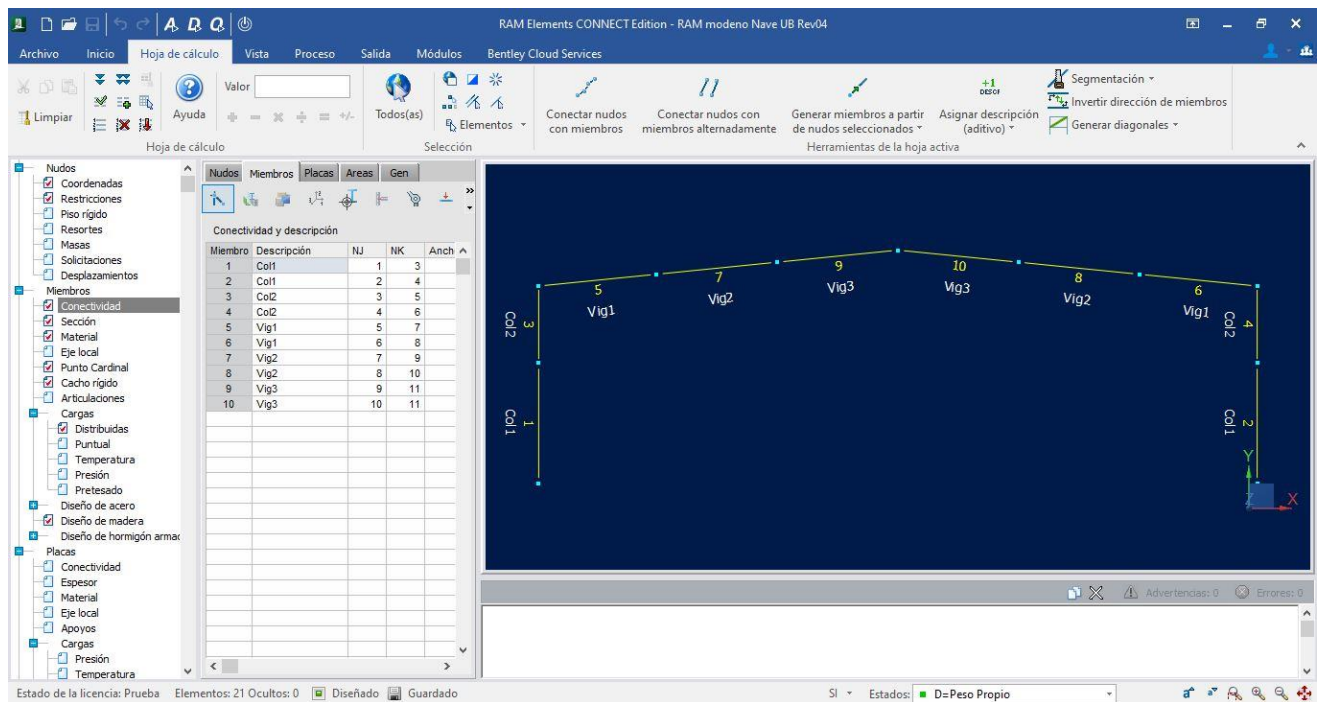


Imagen 44

En la imagen 44 observamos lo correspondiente a la creación de los miembros. Debemos conectar nudos con miembros para ir dándole la geometría a nuestra estructura e ir cargándole la descripción (columna1, viga1, etc.). Es importante describirlos en un determinado orden, debido a que el software los agrupa por descripción y a medida que vayamos trabajando y nos encontremos con infinidad de miembros, tenerlos correctamente cargados facilitará el trabajo al usuario y manejo de los mismos.

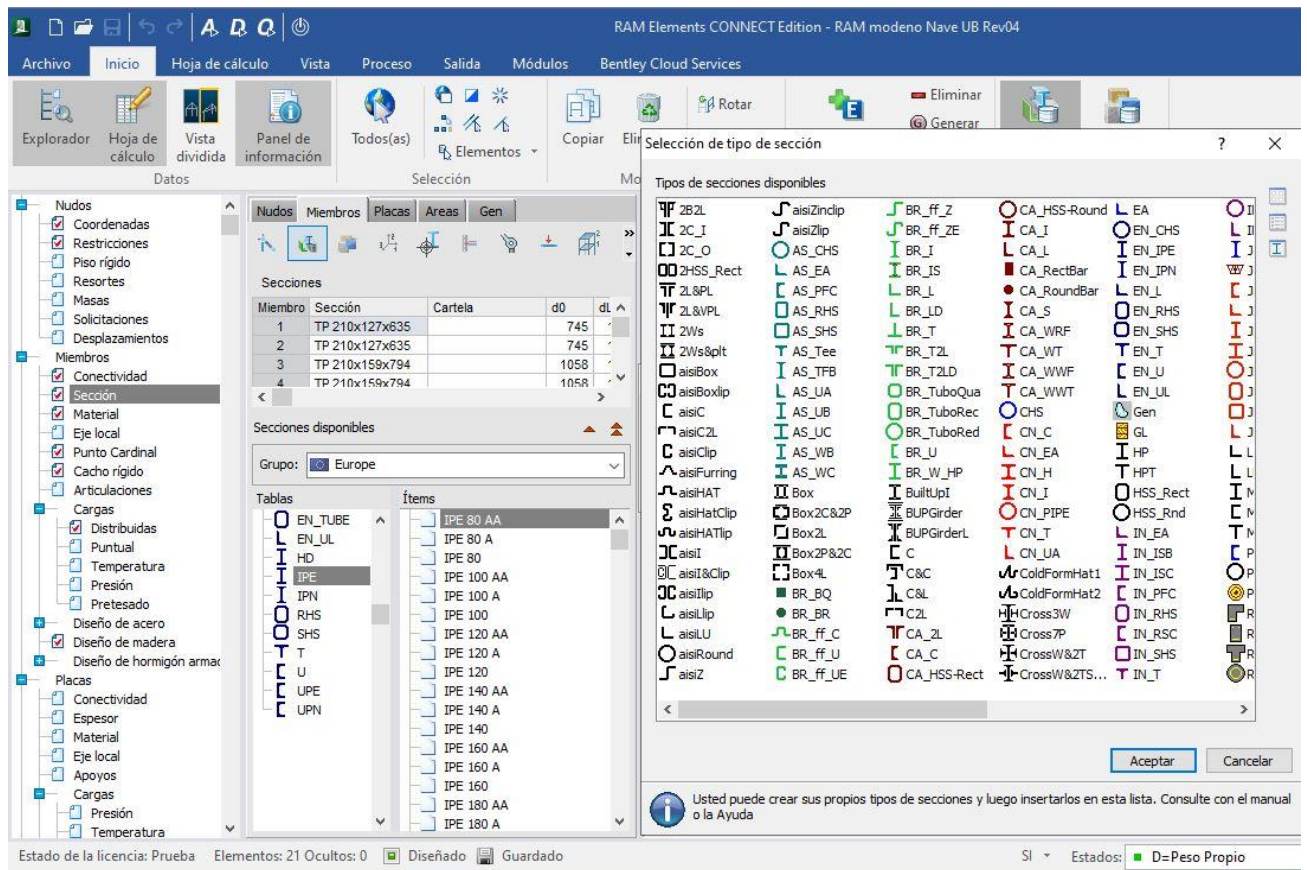


Imagen 45

En la imagen 45 vemos el apartado **SECCION**. Aquí observamos que el programa en este aspecto tiene un alcance mayor, puede trabajar con infinidad de secciones distintas, debido a que no solo trabaja con naves industriales, sino con estructuras de cualquier tipo como puede ser de hormigón, estructuras de madera, metálicas, puentes, edificios, torres, etc.

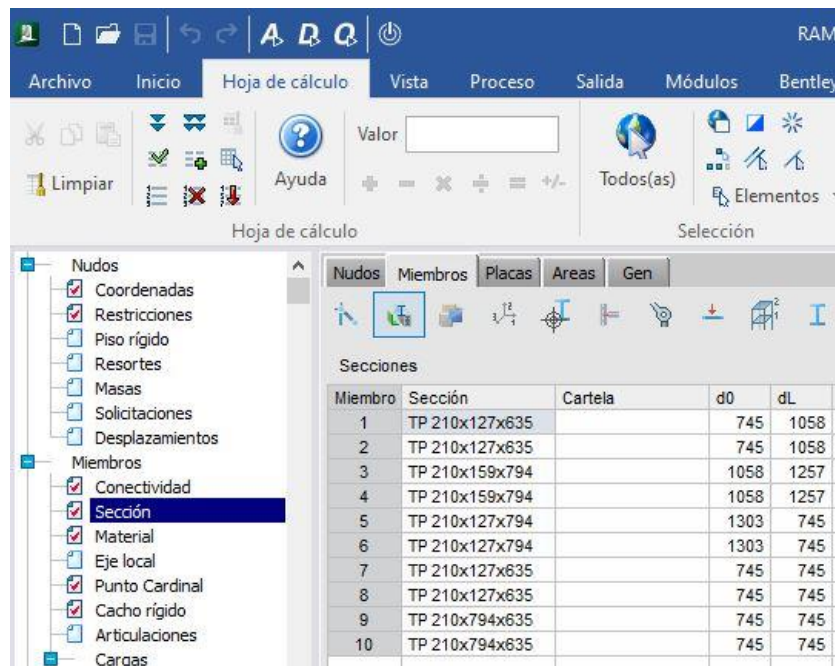


Imagen 46

En la imagen 46 vemos los referido a las secciones a utilizar. En este proyecto se optó por realizarlo con secciones doble T variables. Por ejemplo, como se ve en la imagen, alguna de las secciones utilizadas fueron doble T 210x127x635 (ala de 210mm ancho x ala de espesor 12,7mm x espesor de alma 6,35).

La columna del pórtico comienza teniendo un doble T de altura 74,5cm y termina con una altura de 125,7cm.

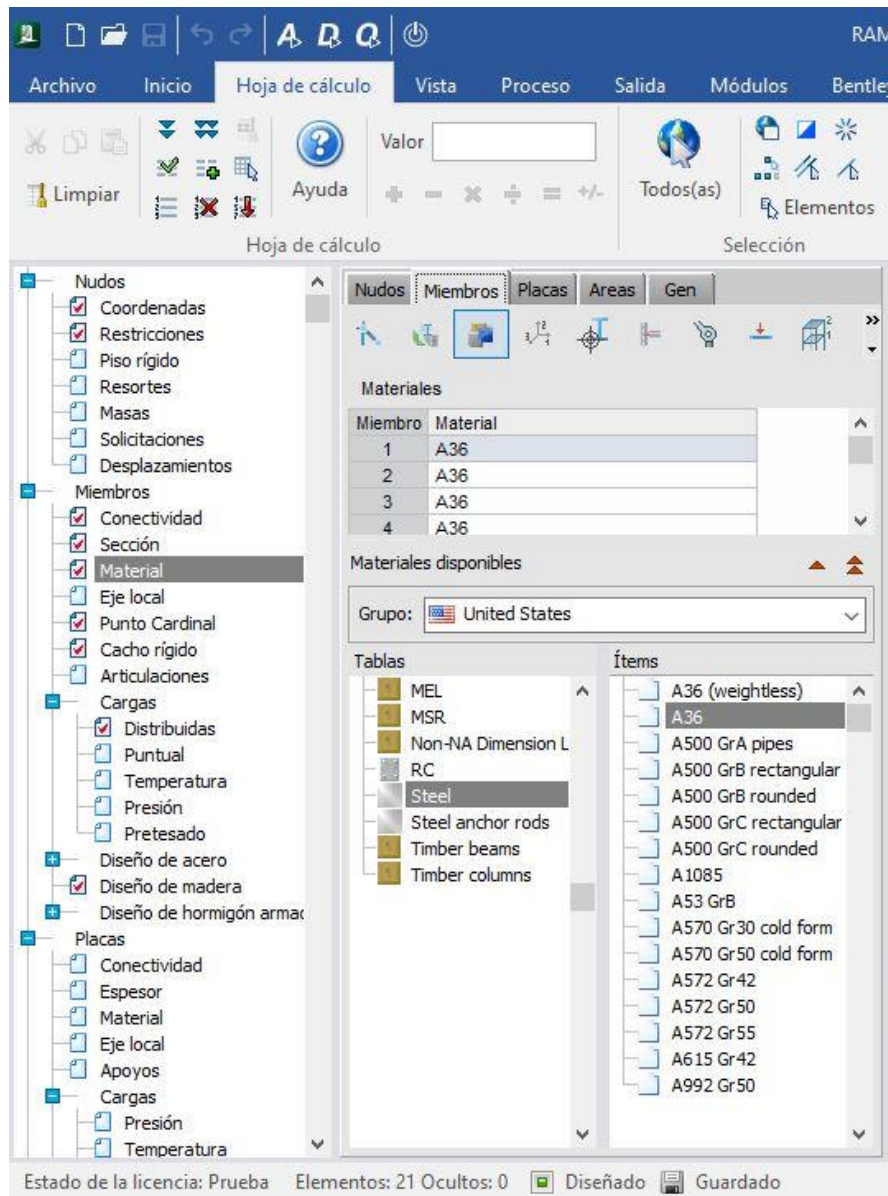


Imagen 47

En la imagen 47, a diferencia del “MBS”, observamos que el “RAM Elements” puede trabajar con todo tipo de materiales y no solo con acero, sino por ejemplo, con madera y con hormigón armado.

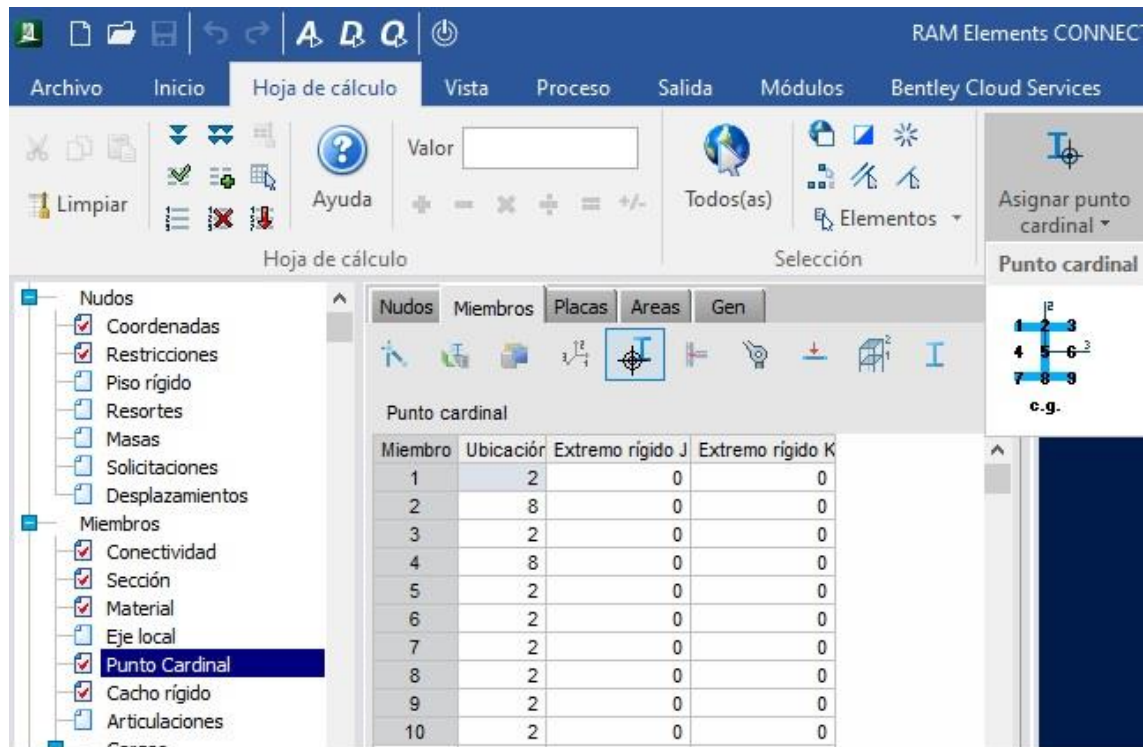


Imagen 48

En la imagen 48 observamos el apartado Puntos Cardinales, dentro de Miembros, donde podemos especificarlos. Los puntos cardinales son usados para definir los puntos donde se va a ubicar la sección de los miembros. Estos son usados generalmente para alinear miembros en la posición deseada. Se usan típicamente para modelar miembros excéntricos o de sección variable que se alinean de acuerdo a un centro o a un punto de su perímetro.

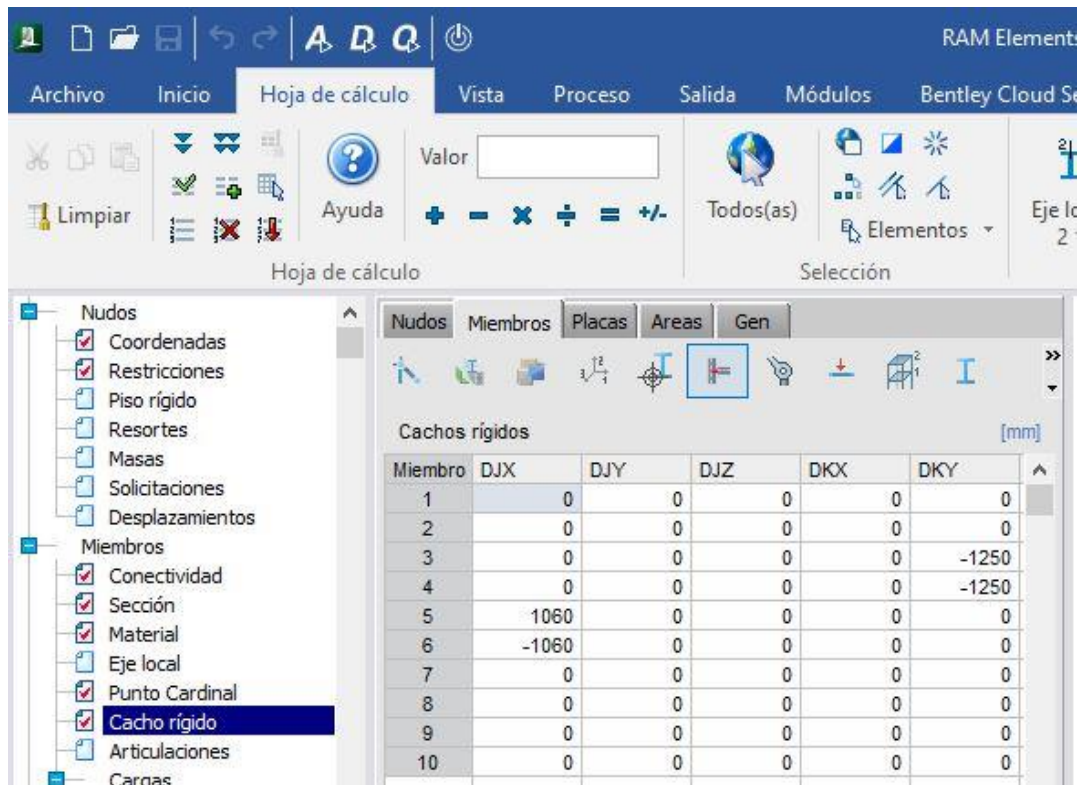


Imagen 49

En la imagen 49 apreciamos cómo es cargado “Cachos rígidos”.

Los trechos o cachos rígidos son extremos de miembros infinitamente rígidos en comparación al resto del elemento. No existe deformación por flexión o corte dentro de la longitud del trecho rígido.

Los cachos rígidos son usados comúnmente, para modelar adecuadamente las uniones de la estructura, cuando estas son considerablemente grandes, o para modelar columnas excéntricas.

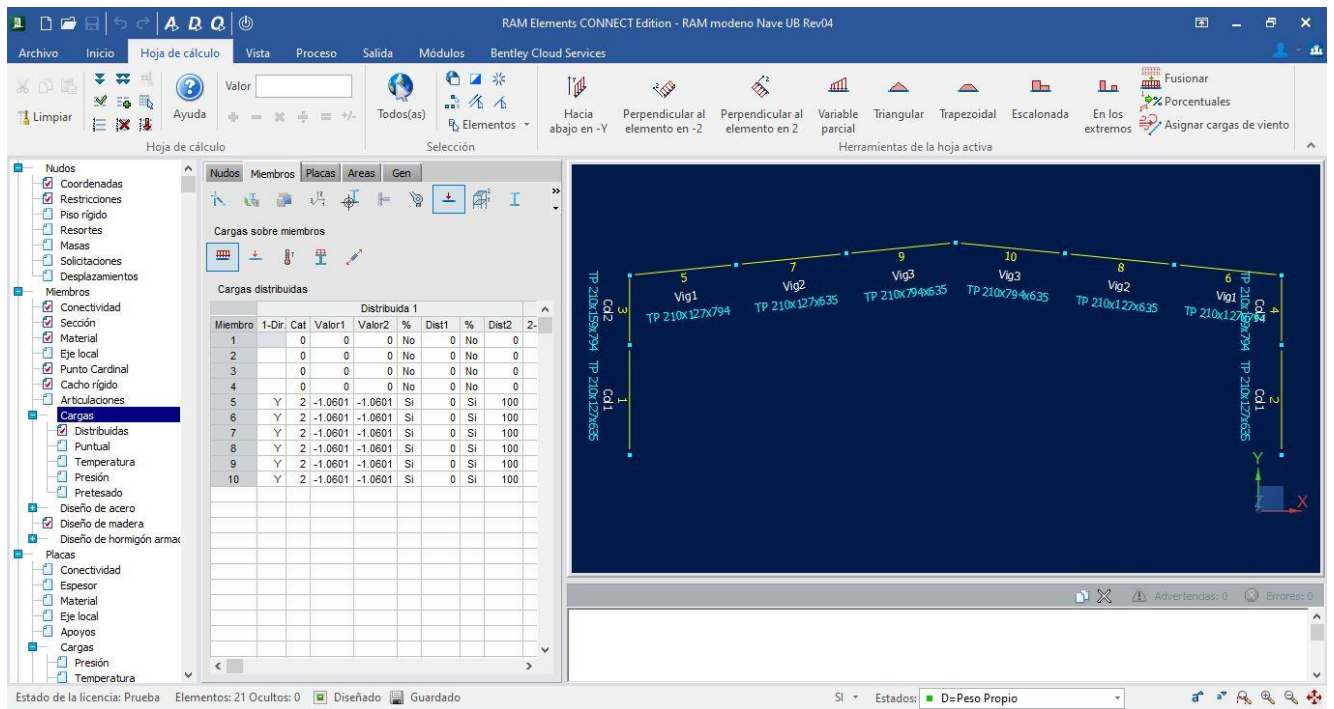


Imagen 50

En la imagen 50 vemos cómo se ingresan las cargas puntuales, distribuidas, variables, escalonadas, etc.

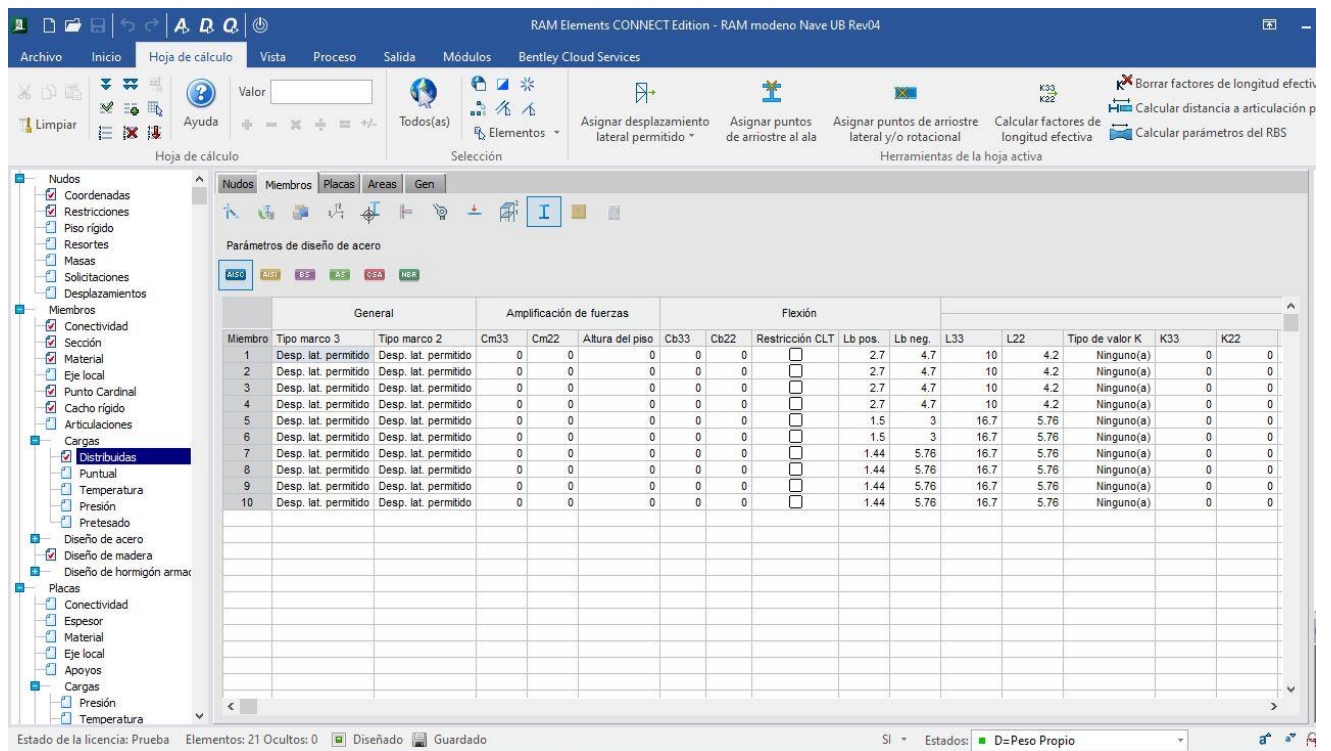


Imagen 51

En la imagen 51 observamos una serie de parámetros que pueden ser modificados manualmente si es necesario y si contamos con la información adecuada. Caso contrario, el programa trabajará con valores estándar o conservadores. Podemos ver que hemos cargado las correspondientes longitudes de pandeo para que el programa trabaje, diseñe con ellas.

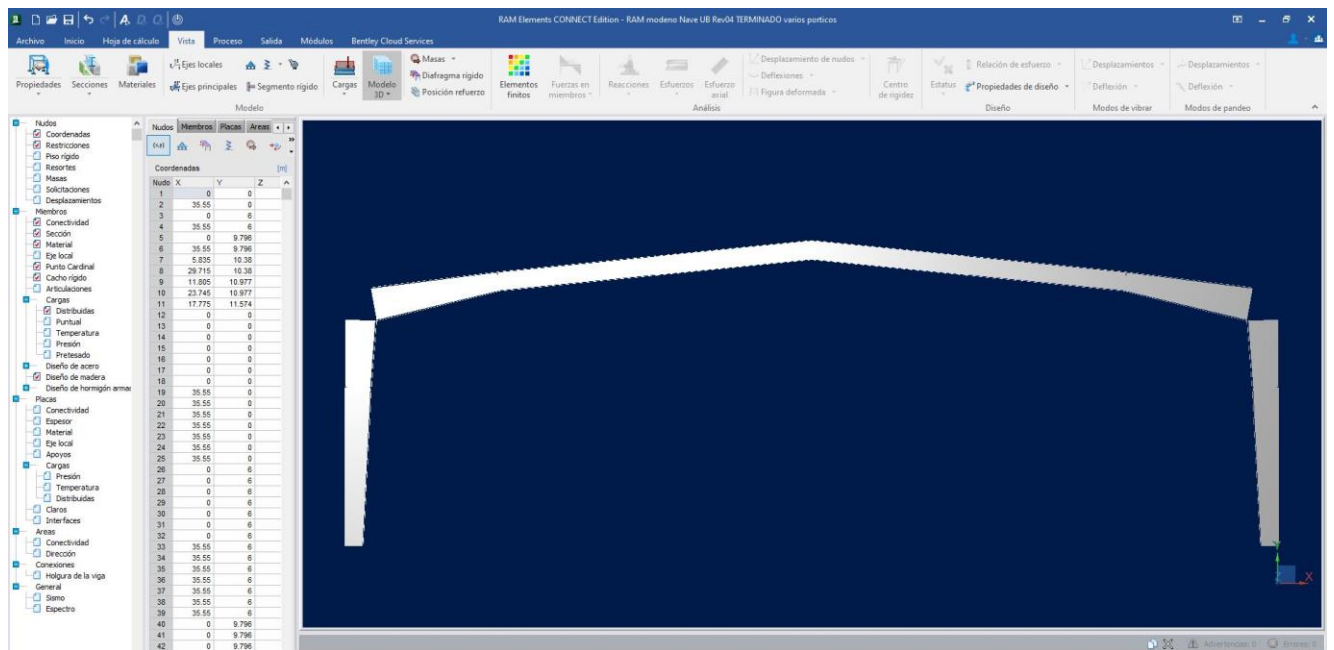


Imagen 52

En la imagen 52 observamos un modelo 3D del pórtico principal de la nave industrial.

Lista de materiales				
Nota.- Listado sólo de las barras y placas seleccionadas gráficamente				
Miembros:				
Perfil	Material	PesoU [Ton/m]	Longitud [m]	Peso [Ton]
TP 210X127X635 (VARIAB.)	A36	8.57E-02	12.004	1.028
TP 210X127X794 (VARIAB.)	A36	1.04E-01	9.637	1.005
TP 210X159X794 (VARIAB.)	A36	1.23E-01	7.595	0.932
TP 210X127X635	A36	7.79E-02	12.000	0.934
TP 210X794X635	A36	6.26E-02	12.000	0.751
Peso Total [Ton]				4.651

Imagen 53

En el reporte que nos brinda "RAM Elements" (imagen 53) podemos observar el peso del pórtico principal que es de 4.651 Kg. Contando la estructura con 8 pórticos principales, por lo cual $4.651 \text{ Kg} \times 8 = 37.208 \text{ Kg}$ en total.

Resultados del análisis con ambos programas

Habiendo analizado la estructura metálica con el "MBS" y el "RAM Elements" para comparar los resultados nos enfocaremos en el peso de los pórticos principales, debido a que es allí realmente donde vamos a tener la mayor diferencia de peso en la estructura. El resto de los materiales (la cubierta de techo y latearles, chapa, correas, arriostramientos, placas, tillas, tornapuntas, etc.) prácticamente van a ser los mismo para ambos modelos.

"MBS"

Peso total del pórtico principal:

4.068,6 Kg c/u

Total = 32.548.8 Kg (8 pórticos)

Peso total de la nave industrial:

98.483,2 Kg

"RAM Elements"

Peso total del pórtico principal:

4.651 Kg c/u

Total = 37.208 Kg (8 pórticos)

Peso total de la nave industrial:

103.142,4 Kg

La diferencia entre pórticos principales resultó un 14,32% más liviano en el "MBS" respecto del "RAM Elements". Esto significa que en la totalidad de la obra representa un 4,73% más liviano

calcular la nave industrial con el software "MBS". Esa diferencia del 4,73% es equivalente a 4.659,2 Kg.

Esta diferencia en Kg se debe fundamentalmente al cálculo correcto y específico del C_b antes mencionado por parte del "MBS". Esto se ve reflejado en mayor o menor medida en relación a cuánta relevancia tenga el Pandeo Lateral Torsional - C_b en el diseño estructural realizado.

En principio esta diferencia podría parecer pequeña, pero considerando que el valor aproximado de venta del acero es de USD 2,5 x Kg, los 4.659,2 Kg serían equivalentes a USD 11.648.75 o \$ 1.159.050 (cotización oficial peso argentino). En consecuencia, un porcentaje del 4,73% sería lo suficientemente relevante a la hora de ganar una cotización o participar competitivamente en una licitación.

Ventajas y desventajas del software “MBS” respecto al “RAM Elements”

Ventajas:

- *La carga de la información en el “MBS”, el input de las características de nuestro proyecto, es mucho más ágil y rápida.*

En solo minutos el usuario carga toda la información necesaria sobre la nave industrial, dejándolo listo para correr el programa y una vez realizado el mismo, se envía para su producción. Esto se debe a que ambos software trabajan de forma distinta, ya que la carga de información en el “MBS” consiste básicamente en ingresar la geometría general de la Nave Industrial (esto es mucho más rápido que en el “RAM”), para posteriormente proponernos una solución, diseñando de forma inmediata la ingeniería y materializando así el proyecto. En cambio, el “RAM Elements”, trabaja al revés, el operador del software plantea una geometría específica (nudos, coordenadas, restricciones, conectividad, sección, material, etc.), presenta un diseño de la ingeniería y básicamente lo que hace el programa “RAM” es verificar o no lo que el operador propuso. Este proceso es mucho más lento y depende en mayor medida de la experiencia del usuario.

- *Disminución de errores por parte del usuario.*

El software “MBS” al tener un alcance específico, únicamente para realizar naves industriales en alma llena, reduce significativamente inconvenientes que se pueden presentar en la práctica, producidos por parte del operador del programa. En cambio, el “RAM Elements” al ser un programa mucho más abarcativo en el cual podemos realizar todo tipo de estructuras (naves industriales de alma llena o reticulado, estructuras de hormigón, de acero, madera, edificios, torres, puentes, antenas, etc.) es más flexible en dicho sentido, el campo de acción es mayor, es más permisivo y se pueden cometer más errores porque no “entiende” específicamente el tipo de estructura del proyecto que vamos a realizar.

Por ejemplo, errores de interpretación entre el operador del programa y el software “RAM Elements” suelen aparecer con frecuencia en la incorrecta carga de luces de pando.

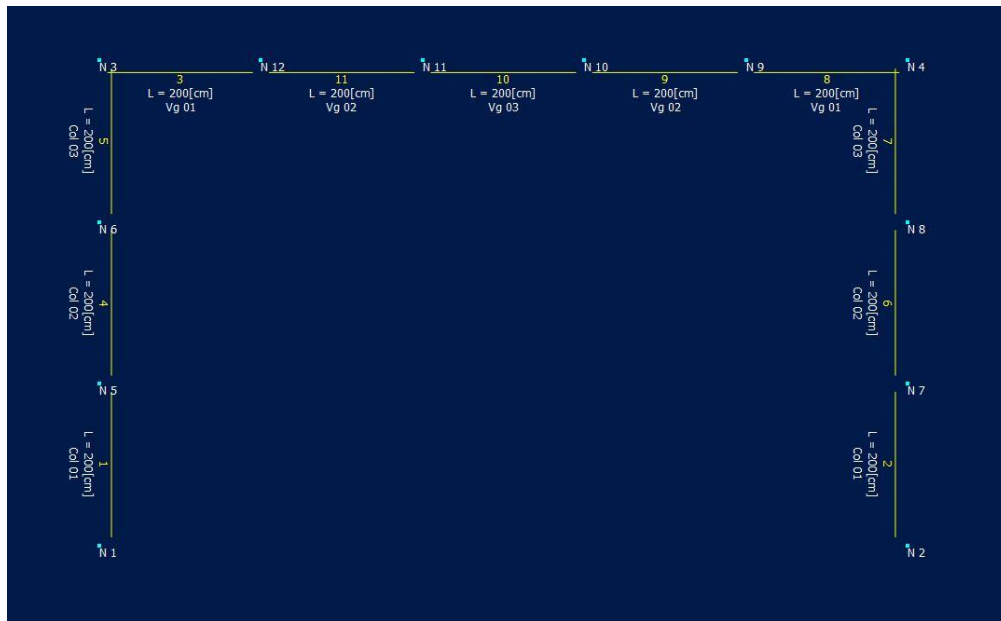


Imagen 1: Software “RAM Elements”



Imagen 2: Software “RAM Elements”

Para explicarlo de manera simplificada se presenta el siguiente ejemplo. Tenemos un arco que fue cargado en el “RAM Elements”. La viga está compuesta por 5 miembros de distintas secciones, por ende, hubo que cargar varios nudos y miembros para realizarlo.

El inconveniente surge cuando el operador cree que la luz de pandeo que está considerando es la distancia entre columnas, pero no es así, el programa entiende que la luz de pandeo que debe tomar está entre nudos, por ello, tiene en cuenta que el operador va a materializar los arriostres correspondientes (rompe tramo, torna punta, etc.) sobre dichos nudos. Entonces el programa teniendo en cuenta estas consideraciones va a utilizar secciones más chicas, más livianas, porque habría mejorado su resistencia con dichos arriostres, cosa que en la realidad no es así porque nunca fueron considerados por el operador, por ende, en la práctica no son colocados.

Este es un error de interpretación, de mal uso del programa, atento que no debe tener diferencias entre lo que se diseñe con el software y lo que en la realidad se va a fabricar y montar. Este fallo en ocasiones puede ser muy grave, poniendo en riesgo la estructura al punto de llegar a colapsarse y asimismo exponer la seguridad de las personas.

- *Otra de las importantes ventajas del software “MBS” sobre el “RAM Elements” es el cálculo correcto y específico del coeficiente de flexión C_b .*

El “MBS” determina en forma automática el C_b correspondiente de cada miembro y para cada uno de las distintas combinaciones de carga de la nave industrial en cuestión. El “RAM Elements” no calcula el coeficiente de flexión C_b en forma automática, éste por defecto utiliza el valor de $C_b = 1$ lo que resulta muy conservador a la hora de dimensionar la estructura metálica. Lo que sí permite el “RAM Elements”, es cargar dicho coeficiente en forma manual, el operador del software debe calcular a mano el mismo, lo que no es un proceso ágil ni práctico, debido a que generalmente una estructura metálica como lo es una nave industrial cuenta con infinidad de elementos, miembros, y no solo eso, sino que también lo debe calcular para los distintos combinaciones de carga.

- *En el software “MBS” no necesitamos dibujar los planos, el programa los genera automáticamente en forma inmediata.*

Crea planos de arquitectura, de armado y de fabricación, dejándolos listos para mandar a producir a fábrica la nave industrial en cuestión. De esta manera nos ahorramos tiempo y dinero. Dependiendo del proyecto a realizarse, dibujar los planos es un proceso laborioso, que requiere gran concentración y control para que un error humano sobre los mismos no se traslade a la fabricación. Esta tarea insume una inversión en recursos humanos, en lo que hace al trabajo de varios dibujantes y en ocasiones puede llevar varios meses concluirla.

- *Rapidez a la hora de presupuestar una nave industrial.*
Gracias a las virtudes del software “MBS” se ha simplificado y agilizado realizar una cotización. Esto sucede debido a que, al correr el programa y realizar la ingeniería, éste nos brinda de manera inmediata información esencial.
El programa nos proporciona un reporte detallado, en el cual nos indica con sumo detalle y de manera específica la cantidad y peso de los materiales a utilizar de todos los elementos que componen la nave industrial (pórticos estructurales, correas, chapa, conexiones, placas, ángulos, tensores, tornapuntas, tillas, bulones, tuercas, arandelas, soldadura, etc.). De esta manera nos permite realizar el presupuesto y brindárselo al cliente de forma inmediata y además le proporciona al ingeniero comercial/vendedor los elementos y argumentos necesarios que facilitan su tarea.
- *Mejora continua del software “MBS”.*
El mismo cuenta con actualizaciones constantes. Éstas no sólo son enfocadas como el común de los programas a errores particulares y de seguridad informática, sino que están especialmente dirigidas a mejorarlo, a mantenerlo actualizado en cuanto a normas, códigos, etc., actualizándolo además en relación a nuevas funcionalidades prácticas, ampliando así el alcance del mismo. Por esto es fundamental que las actualizaciones estén al día.

Desventajas:

- *Una de las desventajas más relevantes es el precio elevado para adquirir el software.*
El “MBS” cuesta USD 115.000 (dólares estadounidenses) para adquirir el programa más USD 950 mensuales de actualizaciones y acompañamiento técnico. Mientras que el “RAM Elements” cuesta \$70.000 (pesos argentinos) anuales (abril 2021). Dicha diferencia económica es muy apreciable entre ambos programas.
- *Otra de las desventajas es su alcance, su campo de acción.*
El “MBS” está determinado específicamente para realizar galpones, naves industriales en alma llena; no trabaja otro tipo de estructuras. En cambio, el “RAM Elements” tiene un alcance es más amplio. Éste permite trabajar todo tipo de estructuras (galpones en alma llena y reticulados, edificios, puentes, torres, antenas, etc.) y trabajar con distintos materiales (acero, hormigón, madera, etc.). En este aspecto, el “RAM Elements” es más flexible, pero menos específico al abarcar un alcance de trabajo mayor.

- *Capacitación del usuario / operador del programa.*

El “MBS” al ser un software poco conocido, prácticamente se necesita sí o sí de la capacitación oficial del proveedor del programa. Es muy difícil encontrar personal que ya conozca o haya trabajado previamente con esta herramienta. No existe material gratuito, manuales o tutoriales a disposición como sí lo hay acerca del “RAM Elements”, debido a su popularidad en el mercado. Este último es mucho más conocido y utilizado por los profesionales, ingenieros y empresas.

La diferencia de precio de ambos programas hace que naturalmente haya más profesionales que manejen y conozcan el “RAM Elements”.

Por otro lado, existen versiones no legales del “RAM Elements” y períodos gratuitos para su uso que permiten al operador, sin costo alguno, ir conociendo y aprendiendo el funcionamiento del programa. El “MBS” no cuenta con dichas opciones gratuitas y esto hace en cierta medida que se dificulte encontrar el personal capacitado y con experiencia para el manejo del mismo.

Conclusiones

En la presente tesina se realizó un estudio comparativo del diseño estructural integral de una nave industrial. Para ello se trabajó con dos software actuales del mercado, "RAM Elements" (estándar) y "Metal Building Software" ("MBS", exclusivo para naves industriales). Se pusieron en evidencia los beneficios, ventajas y desventajas de haber utilizado el "MBS" respecto del "RAM Elements".

Para realizar dicho estudio, en ambos métodos se inició desde el mismo punto de partida, desde un proyecto con las mismas características para una nave industrial. De esa manera, se llevó a cabo el análisis correspondiente, pudiéndose obtener resultados comparables. En algunos aspectos se advirtieron resultados más evidentes y en otros no tanto, pero aun así de vital importancia.

En base a este estudio y sus resultados, pudimos observar con claridad que los mencionados beneficios de implementar el uso del software "MBS" son considerablemente significativos. Aun así, es importante destacar que debido al requerimiento de una inversión inicial elevada para obtener este software, se debe considerar pertinente que quien lo aplique tenga un nivel de producción que justifique la implementación del mismo.

Más allá de que se requiera una inversión inicial elevada, las ventajas mencionadas prevalecen sobre el programa "RAM Elements", destacando entre ellas la generación de planos de fabricación de manera automática y en forma inmediata, siendo ésta determinante a la hora de compararlos. Esto trae aparejado no sólo evitar la realización de los planos, sino también conlleva una mejora notable en los recursos implementados para el mismo, un ahorro de tiempo y dinero, infraestructura tecnológica, hardware, software y recursos humanos, debido que es una tarea que requiere suma concentración y control para no trasladar posibles errores a la fabricación. Mejora la productividad y consecuentemente brinda una forma de trabajo más precisa y ordenada. Hoy en día existen determinados programas o módulos enfocados a resolver cuestiones específicas dentro de la ingeniería, siendo más eficiente que la media.

El software "MBS" cuenta con actualizaciones constantes que mejoran su funcionamiento y alcance, esto permite a quien lo aplique ir en línea con la búsqueda constante de la mejora continua.

Bibliografía y Referencias

- Gabriel Troglia (2018). Estructuras Metálicas. Proyecto por estados límites. Parte I Teórico. 7° Edición.
- Gabriel Troglia (2018). Estructuras Metálicas. Proyecto por estados límites Parte II Práctico. 7° Edición.
- Software “RAM Elements” (www.bentley.com)
- Manual RAM Elements Connect edition. Versión 16.1. Edición 2019.
- Curso virtual “Diseño de Nave Industrial” con “RAM Elements” v16 (www.portalcivil.com).
- Software “Metal Building Software” (MBS) (www.mbsweb.com).
- Manual “MBS” (documentación interna brindada por el proveedor oficial del software).
- Reglamento Argentino de acción de vientos sobre las construcciones, CIRSOC 102.
- Reglamento para diseño, fabricación y montaje de estructuras de acero.
- Manual de diseño y revisión de estructuras metálicas. Edición 2002.
- CIRSOC 301 Reglamento Argentino de Estructuras de Acero para Edificios.
- AISC 360-16 Código Internacional acero laminado en caliente.
- AISI 360-16 Código Internacional acero laminado en frio.