

VIGAS CARRILERAS DE GRÚAS - PUENTE

Las vigas carrileras han de soportar los esfuerzos dinámicos que les producen las grúas-puente al circular sobre ellas. Estos esfuerzos son debidos a las siguientes acciones:

- Carga a elevar.
- El peso de la grúa-puente.
- El peso de la propia viga (a comprobar al final).
- Elementos de suspensión de la carga en el gancho; como son: balancín, eslingas, etc. Todo elemento de sujeción de la carga.
- Fuerzas de inercia al comenzar a izarlas, o al frenar en su descenso.
- Al frenar la grúa-puente, actuará la componente horizontal de la carga suspendida, al balancearla en sentido transversal, además de la fuerza de inercia de la masa del carrito (se estima en un décimo de la vertical); o en sentido longitudinal en la frenada del puente en su traslación, donde interviene toda la masa de la grúa-puente, y la componente horizontal del balanceo de la carga, debido a la frenada puntual (se estima en un séptimo de la vertical). En el sentido transversal producirá flexión horizontal, y en sentido longitudinal una compresión sobre la viga.

La mayoración de las cargas dependerá de la frecuencia de funcionamiento, y de la carga a elevar, si suele estar próxima al valor máximo.

No obstante, los datos de estas acciones los suele facilitar el fabricante de la grúa.

El programas ejecutable en SILAB:

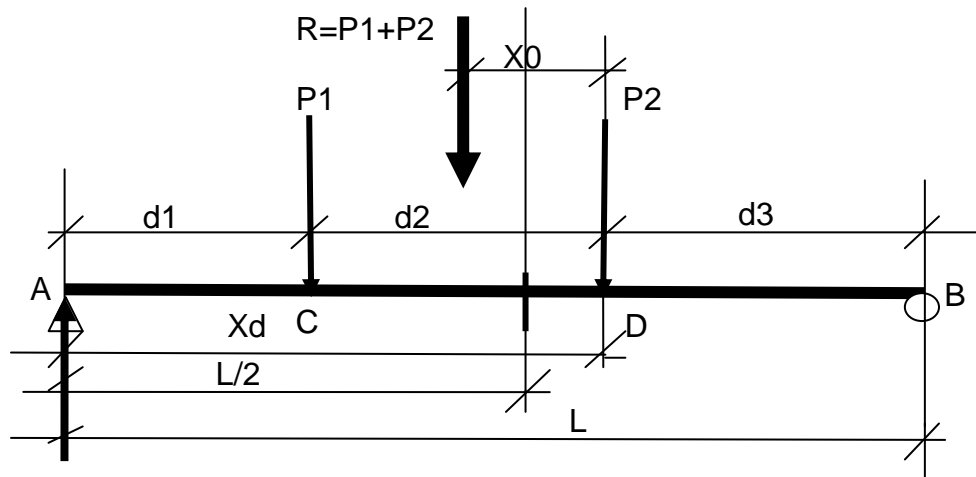
- vigacarril.sce.

Las funciones complementarias:

- dimiu.sce.
- dimt.sce.
- rigid.sce.
- vuelco.sce

Facilitan las operaciones de cálculo de tanteo, salvando los datos en ficheros, para usarlos en las sucesivas funciones, simplificando su uso.

Viga con tren de carga de dos ruedas.-



Consideramos la carga derecha mayor o igual a la izquierda. El momento máximo se producirá bajo la carga mayor.

La incógnita es x_d , poniendo todo en función de x_d tendremos:

$$x_0 = \frac{P_1 d_2}{P_1 + P_2}$$

$$R_A = \frac{R(L - x_d + x_0)}{L} ; R = P_1 + P_2$$

$$M_D = R_A x_d - P_1 d_2 = \frac{R[(L - x_d + x_0)x_d]}{L} - P_1 d_2$$

$$\frac{dM_D}{dx_d} = \frac{R}{L} [L - 2x_d + x_0] = 0$$

$$x_d = \frac{L + x_0}{2}$$

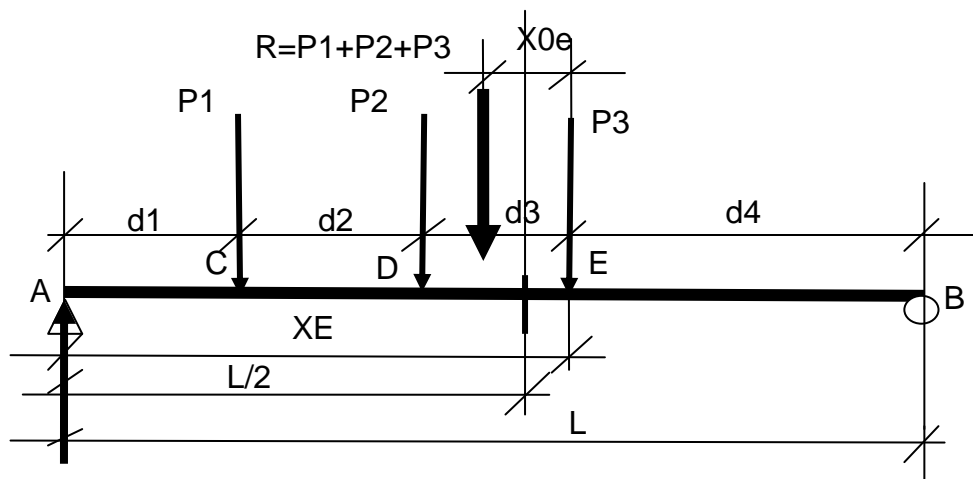
$$M_{fmax_D} = \frac{R_A(L + x_0)}{2} - P_1 d_2$$

$$M_{fmax_D} = \frac{R(L + x_0)^2}{4L} - P_1 d_2$$

Viga con tren de carga de tres ruedas.-

La carga derecha es mayor que cada una de las otras dos. La carga izquierda y la carga central, menores que la derecha, pueden ser iguales entre sí. El momento flector máximo se producirá bajo la carga central, o bien bajo la carga derecha, caso de ser esta carga muy superior a las otras dos. Por lo que se hace necesario comprobar los momentos máximos que se puedan producir bajo cada una de estas cargas: central y derecha.

Momento máximo bajo la rueda **E**:



La incógnita es x_E , poniendo todo en función de x_E tendremos:

$$R_A = \frac{R(L - x_E + x_{0E})}{L}$$

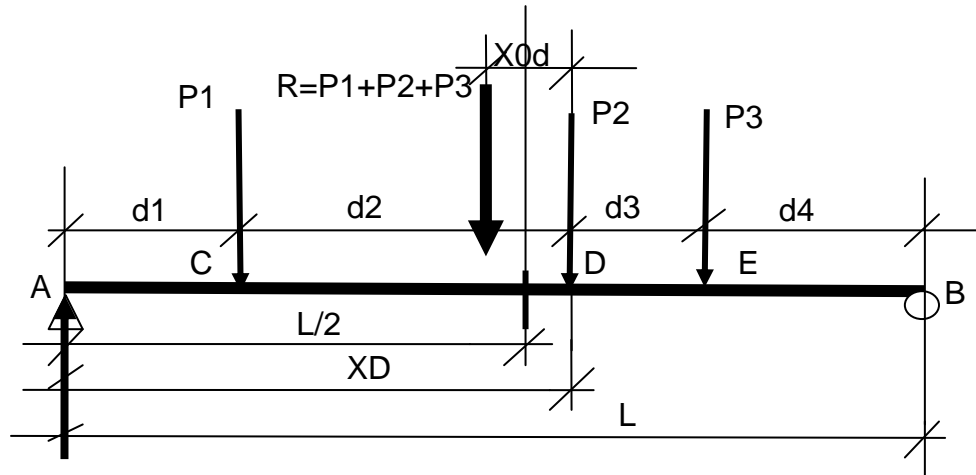
$$M_E = \frac{R(L - x_E + x_{0E})x_E}{L} - R_1x_1$$

$$\frac{dM_E}{dx_E} = \frac{R}{L}[L + x_{0E} - 2x_E] = 0 ; x_E = \frac{L}{2} + \frac{x_{0E}}{2}$$

$$x_E = \frac{L}{2} + \frac{x_{0E}}{2}$$

$$M_{fmax_E} = \frac{R}{4L}(L + x_{0E})^2 - R_1x_1$$

Momento máximo bajo la rueda **D**:



La incógnita es x_D , poniendo todo en función de x_D tendremos:

$$R_A = \frac{R(L - x_D + x_{0D})}{L}$$

$$M_D = \frac{R(L - x_D + x_{0D})x_D}{L} - P_1 d_2$$

$$\frac{dM_D}{dx_D} = \frac{R}{L} [L + x_{0D} - 2x_D] = 0 ; x_D = \frac{L}{2} + \frac{x_{0D}}{2}$$

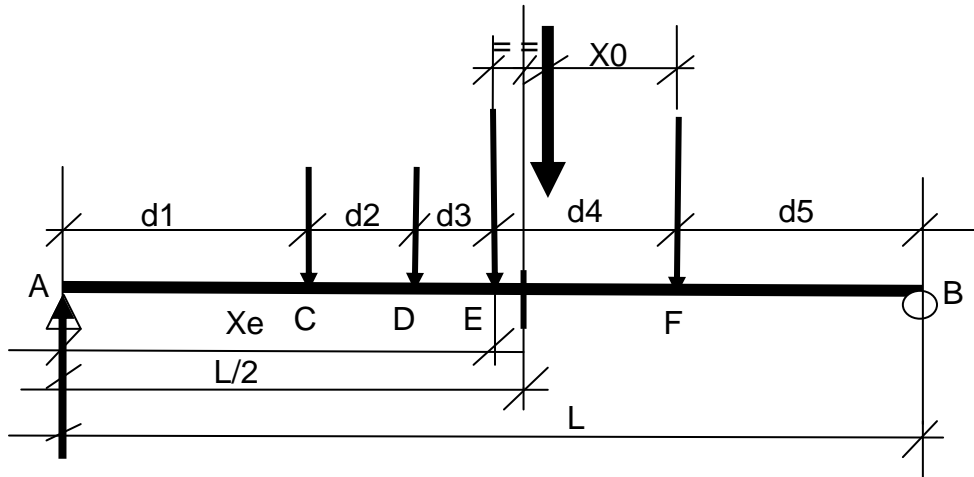
$$M_{fmax_E} = \frac{R}{4L} (L + x_{0D})^2 - P_1 d_2$$

Queda por comprobar cuál de los dos momentos máximos es mayor: bajo la rueda **D** o la rueda **E**.

Viga con tren de carga de cuatro ruedas.-

Se supone que caben dos grúas-puente sobre la viga, y que las dos cargas de la izquierda son menores o iguales, que las dos de la derecha.

Suponiendo que la resultante de las cargas de las ruedas, esté situada entre las tercera y cuarta ruedas, el momento flector máximo se producirá bajo la tercera rueda (en el punto **E**), cuando el punto medio de la viga equidistará de la resultante y de la tercera rueda, bajo la cual (en el punto **E**) en esta posición se produce el momento flector máximo de la viga.



Cuando la resultante está entre las ruedas **E** y **F**:

$$x_0 = \frac{P_1 d_2 + (P_1 + P_2) d_3 + (P_1 + P_2 + P_3) d_4}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}$$

$$R_A = \frac{R(L - x_E - d_4 + x_0)}{L}$$

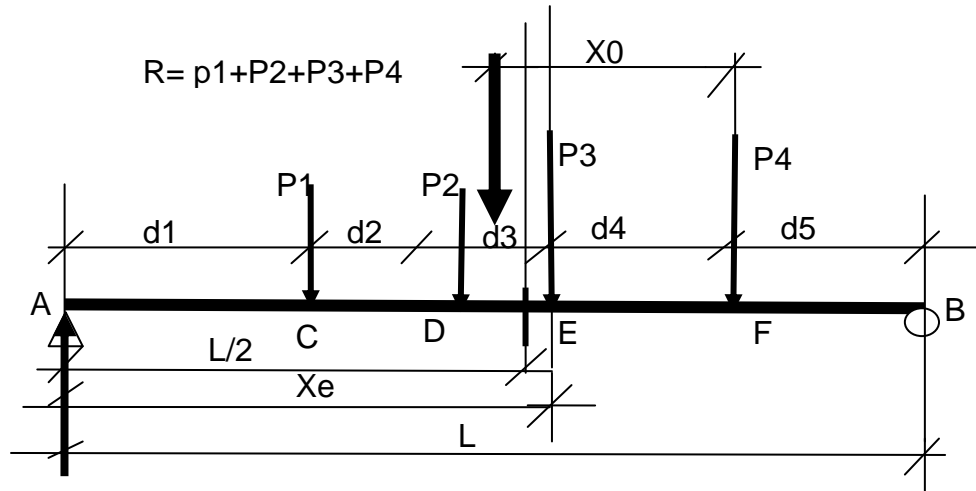
$$M_E = R_A x_E - P_1(d_2 + d_3) - P_2 d_3$$

$$M_E = \frac{R[(L - d_4 + x_0)x_E - x_E^2]}{L} - P_1(d_2 + d_3) - P_2 d_3$$

$$\frac{dM_E}{dx_E} = L - d_4 + x_0 - 2x_E = 0 ; \quad x_E = \frac{L}{2} - \frac{d_4 - x_0}{2}$$

$$M_{fmax_E} = \frac{R[L - (d_4 - x_0)]^2}{4L} - P_1(d_2 + d_3) - P_2 d_3$$

Cuando la resultante de las fuerzas está entre las ruedas **D** y **E**.



La expresión del momento flector máximo en **E** sigue siendo:

$$Mfmax_E = \frac{R[L - (d_4 - x_0)]^2}{4L} - P_1(d_2 + d_3) - P_2d_3$$

Hace falta comprobar el momento máximo bajo la rueda **D**. Así, la comprobación del momento máximo bajo la rueda **D** es:

$$R_A = \frac{R(L - x_D - d_3 - d_4 + x_0)}{L}$$

La posición más desfavorable es:

$$x_D = \frac{L}{2} - \frac{d_3 + d_4 - x_0}{2}$$

Habiendo situado el centro de la viga equidistante de la rueda **D** y la resultante.

La expresión del momento flector máximo bajo la rueda **D** es:

$$Mfmax_D = \frac{R}{4L} [L - (d_3 + d_4 - x_0)]^2$$

Programas en SILAB para determinar los esfuerzos y el momento de inercia necesario para una flecha vertical menor de $L/1000$

Para la determinación de los esfuerzos y los momentos de inercia necesarios para limitar las deformaciones, el programa ejecutable con **SILAB** es **vigacarril.sce**. En el menú emergente, elegir: la viga soportando dos, tres o cuatro cargas móviles.

2 – Instrucciones de utilización.-

En primer lugar, tener instalado el programa SCILAB 6.0.0, que es el que ejecuta las instrucciones dadas por el programa de cálculo.

Crear la carpeta **carrileras** en la base del disco duro **C**; y volcar en dicha carpeta los ficheros de ejecución del programa de cálculo de vigas carrileras.

C:\CARRILERAS

Iniciar el programa scilab6.0.0 y pulsar en la barra del programa: Archivo, en el desplegable, pulsar Abrir archivo y buscar el fichero vigacarril en la carpeta carrileras, a continuación pulsar la instrucción *ejecutar*, y en el desplegable pulsar *guardar y ejecutar*. Aparecerán en el zócalo dos pantallas; poner a la vista la que pide los primeros datos:

Las unidades serán **cm** para las distancias y **Kp** para las fuerzas.

Viga con dos cargas.-

Los datos que pide son:

- Luz de la viga en cm.
- Carga izquierda igual o menor que la derecha en Kp.
- Carga derecha en Kp.
- Separación entre cargas en cm.

Respuesta: Caso de quedar fuera de la viga la rueda izquierda, o la rueda derecha, al situar el tren de ruedas en la posición más desfavorable, el programa lo avisa. De no ser así, responde con:

- El momento máximo sin ponderar.
- El momento máximo ponderado.
- El I_x necesario (cm⁴) para una flecha vertical $< luz/1000$.
- x_0 , x_c , m_c , m_d , d_1 , d_2 , d_3 : que se corresponden con distancia de la resultante a la carga derecha, posición de la rueda izquierda, momentos y distancia entre apoyos y ruedas.

Gráfico: En principio está previsto para un tren de cuatro cargas móviles, pero para este caso, da el valor cero a las cargas que no intervengan (P3 y P4), así como a las distancias que no existan (d_3 y d_4). Los puntos **E** y **F** corresponden al **D**; que al ser **F** el último aparecerá en celeste y el **C** en azul.

Existe en este programa un cálculo de los momentos “*en todas las posiciones*” cm. a cm. Por lo que es posible comprobar el momento máximo, con el calculado anteriormente de forma analítica. En el caso de considerar las cargas empezando por la izquierda: **C**, **D**, **E** y **F**. Aparecerán:

- **C** en **azul**.
- **D** en **verde** (**F** lo sobreimprime en celeste).
- **E** en **rojo** (el **F** lo sobreimprime en celeste).
- **F** en **celeste**.

Viga con tres cargas.-

La carga derecha es la mayor. Las otras dos son menores y pueden ser iguales entre sí.

Los datos que pide son:

- Luz de la viga.
- Carga izquierda.
- Carga central.
- Carga derecha.
- Separación entre la carga izquierda y la central.
- Separación entre la carga central y la derecha.

Respuesta: Caso de quedar fuera de la viga una de las ruedas: izquierda o derecha, al situar el tren de ruedas en la posición más desfavorable, el programa lo avisa. De no ser así, responde con:

- El momento máximo sin ponderar.
- El momento máximo ponderado.
- El I_x necesario (cm^4) para una flecha vertical $< \text{luz}/1000$.
- x_e , x_d , m_c , m_d , d_1 , d_2 , d_3 , d_4
- Momentos sin ponderar en m_c , m_d , m_e .

Gráfico: En principio está previsto para un tren de cuatro cargas móviles, pero para este caso, da el valor cero a la carga que no intervenga (P_4), así como a la distancia que no exista (d_4). El punto **D** aparecerá en verde. El punto **F** coincide con el **E**; que al ser **F** el último aparecerá el **E** en celeste y el **C** en azul.

Este programa reproduce los momentos “*en todas las posiciones*” cm. a cm. Por lo que se puede comprobar el momento máximo, con el calculado anteriormente de forma analítica.

En el caso de considerar las cargas empezando por la izquierda: **C**, **D**, **E** y **F**. Aparecerán:

- **C** en **azul**.
- **D** en **verde**.
- **E** en **rojo** (en este caso el **F** lo sobreimprime en celeste).
- **F** en **celeste**.

Viga con cuatro cargas.-

Situar las cargas de menor a mayor de izquierda a derecha. Así, las dos de la izquierda pueden ser iguales entre sí. Las dos mayores situadas a la derecha también pueden ser iguales entre ellas. Puede ser las cuatro iguales.

Los datos que pide son:

- Luz de la viga.
- Carga izquierda primera.
- Carga segunda.
- Carga tercera.
- Carga cuarta.
- Separación entre las dos cargas izquierdas.
- Separación entre las dos cargas derechas.
- Separación entre las cargas centrales.

Respuesta: Caso de quedar fuera de la viga una de las ruedas: izquierda o derecha, al situar el tren de ruedas en la posición más desfavorable, el programa lo avisa. De no ser así, responde con:

- El momento flector máximo ponderado.
- El I_x necesario (cm⁴) para una flecha vertical $< luz/1000$.
- X_0 , m_c , m_d , m_e , m_f (momentos sin ponderar).
- Distancias: d_1 , d_2 , d_3 , d_4 , d_5 .

Gráfico: En el caso de considerar las cargas empezando por la izquierda: **C, D, E y F**. Aparecerán:

- **C** en **azul**.
- **D** en **verde**.
- **E** en **rojo**.
- **F** en **celeste**.
- Gráfico:

Este programa reproduce los momentos “*en todas las posiciones*” cm. a cm. Por lo que es posible comprobar el máximo, con el calculado anteriormente.

En el caso de considerar las cargas empezando por la izquierda: **C, D, E y F**. Aparecerán:

- **C** en **azul**.
- **D** en **verde**.
- **E** en **rojo**.
- **F** en **celeste**.

Programas en SILAB para el dimensionamiento de las vigas:

Las vigas de un lateral, donde la separación de pilares sea de cinco metros o inferior, en algunos casos, se puede solucionar con la composición de un perfil en **IPE**, con otro perfil **PNU** colocado encima con las alas hacia abajo, según la figura 1.

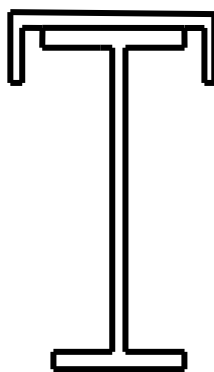


Figura 1

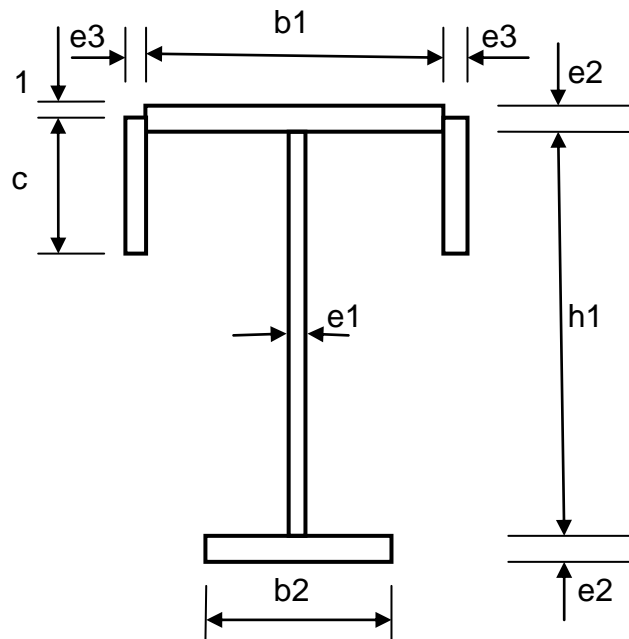
La función **dimiu.sce** captura los datos necesarios del programa: **vigacarril.sce**

- Momento de inercia necesario para una flecha menor de $L/1000$ en el eje **y** (vertical).
- Momento flector ponderado máximo en el eje **z** (normal a los ejes **x** e **y**).

Siendo el eje **x** el longitudinal de la viga, el eje **y** el vertical y el eje **z** el horizontal transversal, determina el perfil **PNU** necesario en horizontal, sabiendo que tanto el momento flector horizontal como el momento de inercia horizontal necesario son la décima parte del vertical correspondiente.

A continuación hay que facilitar la **IPE** compatible en ala para que quepa ajustada al alma del **PNU**; para resistir conjuntamente los esfuerzos en el plano vertical.

Cuando no es suficiente con perfiles normales laminados, se impone construir una viga armada con chapas, formando el perfil deseado, por lo que habría que dimensionar una viga con la sección tipo de la figura 2.

**Figura 2**

Para tantear las dimensiones, la altura del alma h_1 puede considerarse en principio entre $1/10$ y $1/12$, pudiendo llegar a $1/20$ de la luz de la viga; y el espesor del alma e_1 igual o mayor de $h_1/100$ y el ancho de la platibanda o ala superior aproximadamente hasta $h_1/2,5$; mientras que la inferior menor de $h_1/4$.

En los primeros tanteos, aunque consigamos validar la flecha vertical, no valdrá la horizontal. Para conseguirlo, debemos aumentar el ancho del ala superior, separando los faldones, aumentando por tanto la rigidez en horizontal.

El siguiente paso sería determinar la necesidad de rigidizadores intermedios, para evitar el pandeo del alma. Aunque no se necesiten, en los apoyos es obligado, por ser los puntos de máxima concentración de esfuerzos.

Los espesores de chapa podemos elegir el mismo para las alas y los faldones verticales, y otro espesor menor para el alma. En cuanto al alma, debemos sopesar un espesor que sea imprescindible rigidizar, frente a un espesor que no sea necesario rigidizar; con el consiguiente ahorro en mano de obra. Depende de la luz de la viga. Debe ser $e_1 > 9$ mm por las soldaduras.

La función **dimt.sce** ayuda a tantear una solución. Los distintos programas crean ficheros de datos, y los facilitan al siguiente, para no tener que repetirlos en cada uno de ellos, pidiendo solamente el necesario en cada caso. En algún caso de luces muy grandes, habría que ir a una viga cajón.

PANDEO LATERAL O VUELCO DE LAS VIGAS. [1]

El momento crítico a pandeo lateral es aquel para el cual, estando impedido el vuelco en los extremos, la viga se desestabiliza y vuelca por la parte central, originando una torsión. De acuerdo con la *teoría de la estabilidad elástica* debida a Timoshenko, la expresión del momento crítico viene dada por:

$$M_{cr} = \frac{\pi \sqrt{E I_y G I_T}}{L} \quad \text{Donde:}$$

- I_y momento de inercia respecto al eje paralelo al alma.
- I_T momento polar para secciones en doble te.
- E módulo de elasticidad longitudinal.
- G módulo de elasticidad transversal.
- L longitud de la viga entre puntos inmovilizados al alabeo.

La tensión unitaria crítica ideal para el pandeo lateral es:

$$\sigma_{ki} = \frac{M_{cr}}{W_z} \quad \text{Siendo } W_z \text{ el módulo resistente a la flexión.}$$

La tensión crítica ideal puede tomar valores por encima del límite de proporcionalidad ($0,8 \sigma_F$), al haber considerado previamente el material súper-elástico; por lo que se hace necesario determinar un valor límite real para la tensión crítica.

Una buena aproximación de la tensión crítica real viene dada por:

$$\sigma_{kr} = \sigma_{ki} \left[1 - \left(\frac{\sigma_{kr} - \sigma_p}{\sigma_F - \sigma_p} \right)^2 \right] \quad \text{Despejando } \sigma_{kr} \text{ resulta:}$$

$$\sigma_{kr} = \frac{1,6\sigma_F - \frac{0,04\sigma_F^2}{\sigma_{ki}} + \sqrt{\left(1,6\sigma_F - \frac{0,04\sigma_F^2}{\sigma_{ki}} \right)^2 - 2,4\sigma_F^2}}{2}$$

Donde σ_F es el límite de fluencia del material.

La tensión admisible de trabajo debe ser inferior del valor de σ_{kr} .

Observación: No será necesario comprobar el pandeo del cordón comprimido, cuando se encuentre inmovilizado en puntos aislados, con separación inferior a cuarenta veces el radio de giro respecto al eje de la dirección de la carga.

[1] *La estructura Metálica Hoy.* R Argüelles.

La función **vuelco.sce** nos ayuda a comprobar si la viga es estable en cuanto al vuelco, utilizando la “teoría de la estabilidad elástica” debida a Timoshenko.

VIGAS ARMADAS. ABOLLADURA DEL ALMA. [1]

La tensión unitaria crítica normal y tangencial, a partir de la cual aparece abolladura, tiene la forma:

$$\sigma_{ki} = k \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{h_0} \right)^2$$

La tensión de referencia de Euler es:

$$\sigma_c = \frac{\pi^2 E}{12(1-\mu^2)} \left(\frac{t}{h_0} \right)^2$$

Para el acero, $\mu = 0,3$ y $E = 2,1 \times 10^6$ resulta:

$$\sigma_c = 1,898 \times 10^6 \left(\frac{t}{h_0} \right)^2$$

Si solo existen tensiones normales, la tensión crítica ideal es:

$$\sigma_{1ki} = K_1 \sigma_c$$

Si solo existen tensiones tangenciales, la tensión crítica ideal es:

$$\tau_{ki} = K_2 \sigma_c$$

Los coeficientes K_1 y K_2 se determinan de la siguiente forma:

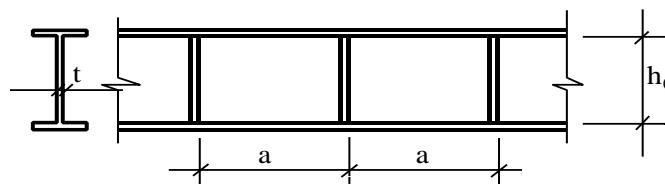


Figura 3

$$\text{Haciendo: } \alpha = a/h_0$$

[1] La estructura Metálica Hoy. R Argüelles.

Coeficiente K_1 para σ crítica:

$$\alpha \geq \frac{2}{3} \quad K_1 = 23,9$$

$$\alpha < \frac{2}{3} \quad K_1 = 15,87 + \frac{1,87}{\alpha^2} + 8,6\alpha^2$$

Coeficiente K_2 para τ crítica:

$$\alpha > 1 \quad K_2 = 5,34 + \frac{4}{\alpha^2}$$

$$\alpha \leq 1 \quad K_2 = 4 + \frac{5,34}{\alpha^2}$$

Si actúan simultáneamente tensiones normales y tangenciales, la tensión crítica ideal de abolladura es:

$$\sigma_{ki} = \frac{\sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau^2}}{\frac{1+\psi}{4} \frac{\sigma_1}{\sigma_{1ki}} + \sqrt{\left(\frac{3-\psi}{4} \frac{\sigma_1}{\sigma_{1ki}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_{ki}}\right)^2}}$$

Donde ψ es la relación entre las máximas tensiones de compresión y tracción debidas a la flexión, $\psi = \frac{\sigma_{compr}}{\sigma_{tracc}}$ negativa si existe compresión; y:

$$\sigma_1 = \frac{P}{A} + \frac{M_f h_o}{2I_z}$$

$$\tau = \frac{V}{t h_o}$$

El valor real de la tensión crítica (compresión, cortadura o compresión y cortadura) tendrá un valor real menor que la tensión admisible de cálculo; igual, si solamente actúa la normal o la cortante, viene dada por:

$$\sigma_{kr} = \frac{1,6\sigma_F - \frac{0,04\sigma_F^2}{\sigma_{ki}} + \sqrt{\left(1,6\sigma_F - \frac{0,04\sigma_F^2}{\sigma_{ki}}\right)^2 - 2,4\sigma_F^2}}{2}$$

Donde σ_F es el límite de fluencia del material.

La función **rigid.sce** nos ayuda a determinar la distancia entre rigidizadores, si fueran necesarios, jugando con la separación entre ellos.

[1] *La estructura Metálica Hoy*. R Argüelles.

EJEMPLO

Vigas carrileras para una nave de 25 m. de luz, para dos grúas-puente de 20 y 5 tn. respectivamente. En un lateral, los pilares se distancian 5 m entre sí, por lo que las vigas serán de 5 m de luz. En el otro lateral la nave conecta con otras naves de 15m de luz, lo que ocasiona que las vigas sean de 15 m de luz.

Según el fabricante de las grúas, aporta los siguientes datos:

Puente-grúa de 5 tn con dos ruedas sobre la carrilera:

- Carga por cada rueda: 5200 Kp.
- Distancia entre ruedas: 400 cm.
- Longitud de la viga testera: 465 cm.
- Distancia de cada rueda al tope de su extremo: 32,5 cm

Puente-grúa de 20 tn con dos ruedas sobre la carrilera:

- Carga por cada rueda: 14400 Kp.
- Distancia entre ruedas: 400 cm.
- Longitud de la viga testera: 479 cm.
- Distancia de cada rueda al tope de su extremo: 39,5 cm

La distancia mínima entre las ruedas de dos carros juntos: 72 cm.

Las distancias se dan en cm en vez de mm, para evitar errores con datos de momentos de inercia o módulos resistentes. Las fuerzas se dan en kilopondios (9,8 N).

NOTA:

El programa no pretende suplantar al ingeniero, solamente trata de simplificar y reducir el tiempo de ejecución de los cálculos, sobre todo en el tanteo de la solución más desfavorable. Ante cualquier duda sobre los resultados, hay que usar lápiz, papel y calculadora, y confirmar el cálculo.

La posición relativa más desfavorable será cuando los dos carros estén juntos y cargados frenando tanto bajando la carga como deteniéndose los magomos (los carritos portadores del mecanismo de elevación) contra sus topes sobre las vigas testeras de la grúa, encima de la carrilera.

El tren de ruedas queda (*figura 4*):

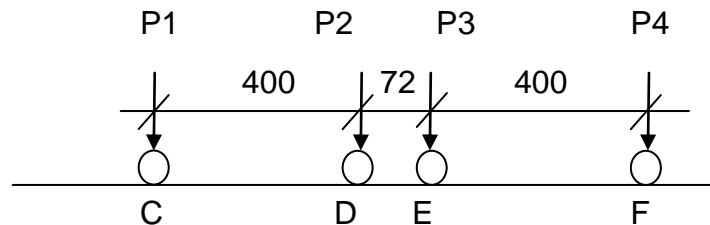


Figura 4

Vigas de 5m.-

Las cuatro ruedas no pueden actuar, solamente serían tres: supongamos las dos de 14,4 tn con una de 5,2 tn. Veremos que el programa nos avisa de la salida de una rueda de la viga, cuando las traslada a la posición más desfavorable. Como los máximos se producen siempre bajo una rueda (son cargas puntuales), y son mayores cuanto más al centro de la viga, se impone dejar solo las dos ruedas más próximas entre sí, y con las cargas mayores: esto redundará en esfuerzos mayores, que son los que buscamos conocer.

En este caso, dejaremos las dos grúas juntas, con una rueda de cada grúa próxima a tope; y comprobaremos en el resultado, que las otras ruedas han quedado fuera de la viga, cuando ocupan la posición más desfavorable.

El programa vigacarril.sce nos da el perfil necesario en U: **PNU-280**.

Probamos añadir una **IPE-500**, y el resultado es:

Tensión de trabajo: $\sigma = 2250 \text{ Kp/cm}^2 < 2750 \text{ adm.}$

$I_z = 68715 \text{ cm}^4$; $I_y = 7346 \text{ cm}^4$ ambos mayores a los necesarios:

$I_{znec.} = 49938 \text{ cm}^4$; $I_{ynec.} = 4994 \text{ cm}^4$.

Al probar con **IPE** menores, no se cumplen las condiciones de deformaciones y tensiones admisibles, por lo que daríamos por válida esta solución.

Vigas de 15m.-

El perfil necesario para esta viga, supera la composición de un **IPE** con un **PNU**. Por lo que se hace necesario buscar la solución en una viga armada, según la *figura 2*.

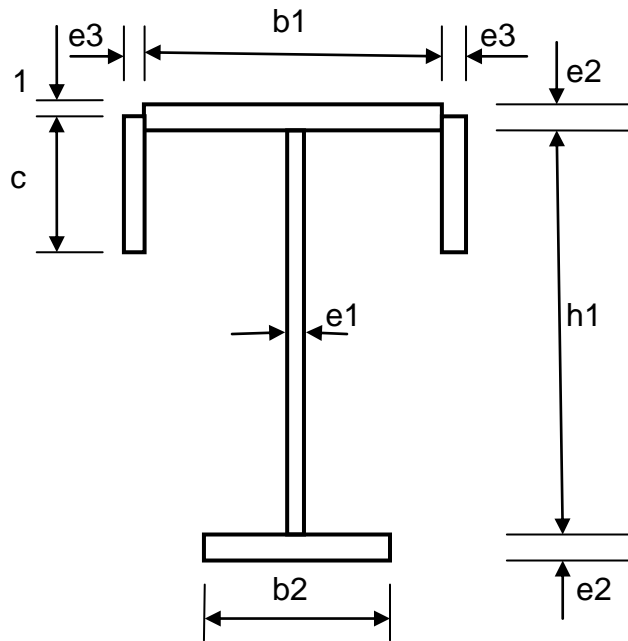


Figura 2

Tanteamos valores que se aproximen a la solución, $h_1=L/12$, $b_2=h_1/4$, $b_1=h_1/2.5$ y $e_1=h_1/100$; quedaría (después de varios intentos):

$h_1 = 125 \text{ cm}$, $e_1 = 1 \text{ cm}$, $b_1 = 50 \text{ cm}$, $b_2 = 30 \text{ cm}$, $e_2 = e_3 = 2 \text{ cm}$ y $c = 25 \text{ cm}$

El programa vigacarril.sce nos dará los valores de momentos flectores y momentos de inercia necesarios, aplicado para las cuatro ruedas sobre la viga; obteniéndose:

$$M_c = 4,480.905 \text{ cm.Kp} \quad I_{z\text{nec}} = 748.484 \text{ cm}^4$$

$$M_d = 9,850.079 \text{ cm.Kp} \quad V_{\text{max}} = 30.700 \text{ Kp}$$

$$M_e = 10,442.130 \text{ cm.Kp}$$

$$M_d = 7,971.303 \text{ cm.Kp}$$

El momento máximo ponderado por 1,5 será: $M_{\text{max}} = 15,163.195 \text{ cm Kp}$

Dando la función dimit.sce los valores dimensionales anteriores, se obtienen:

$$I_z = 916.464 \text{ cm}^4, I_y = 88.466 \text{ cm}^4$$

$$W_z = 10.865 \text{ cm}^3, w_y = 3.276 \text{ cm}^3 A = 385 \text{ cm}^2.$$

$$\text{Tensión de trabajo: } \sigma = 1.920 \text{ Kp/cm}^2 < 2.750 \text{ adm.}$$

Tanteamos reducir espesores: Considerar el espesor de las alas y los faldones, en vez de 20 mm pasarlo a 18 mm, y el resultado es:

$$I_z = 843.002 \text{ cm}^4, I_y = 79.147 \text{ cm}^4$$

$$W_z = 10.108 \text{ cm}^3, w_y = 2.953 \text{ cm}^3 A = 359 \text{ cm}^2.$$

$$\text{Tensión de trabajo: } \sigma = 2.079 \text{ Kp/cm}^2 < 2750 \text{ adm.}$$

El peso propio es:

$$Q = 15000 \times 0,0359 \times 7,85 = 4227,2 \text{ Kg} \quad \sigma = \frac{QL}{8} = \frac{4227 \times 1500}{8} = 78,4 \text{ Kp/cm}^2$$

$$\text{La tensión de trabajo al final es: } \sigma = 2.159 \text{ Kp/cm}^2$$

Habría que comprobar, tanto en estas vigas, como en las de cinco metros, la disponibilidad comercial de los perfiles o chapas elegidas, bien cambiarlos por otros mayores, o jugar con las alturas y espesores.

El siguiente paso será comprobar la estabilidad del alma de la viga de quince metros, en las de cinco los perfiles normalizados no precisan de esa comprobación, y solamente se rigidizarán sus almas sobre los apoyos.

La función rigid.sce nos facilita la comprobación.

Consideremos que no va a precisar de rigidizadores, solamente ponerlos en los apoyos. Para lo cual, consideramos una separación de quince metros entre ellos: daremos separación = 1.500 cm. El programa se encarga de darnos el valor de las tensiones críticas por cortadura y por tensiones normales, que comprobaremos que sean mayores a las de trabajo, por lo que no hay inestabilidad del alma. No obstante, el paño de chapa puede presentar imperfecciones de alabeo, por lo que como quitamiedo pondría rigidizadores cada cinco metros, sobre todo por amarrar los faldones en los laterales del ala superior, que implementaría con rigidizadores exclusivos para estos faldones cada 2,5 m. según la *figura 6*.

El cálculo de comprobación, en su caso, de los rigidizadores, es considerarlos como una barra a compresión con pandeo, de altura la del alma, y sección la del rigidizador con una longitud del alma de treinta veces su espesor. *Figura 5*.

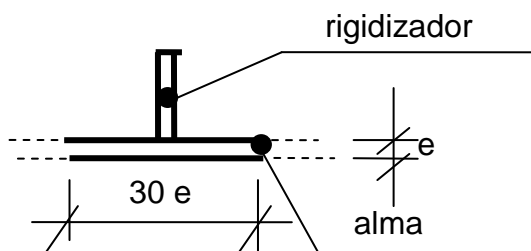


Figura 5

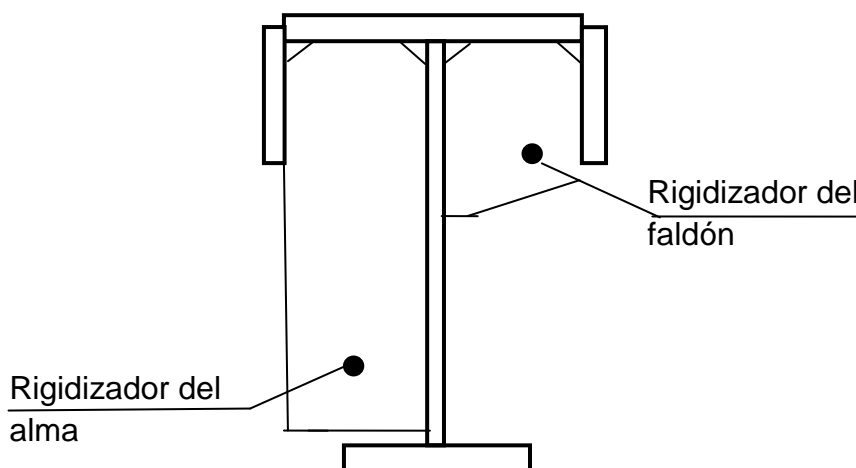


Figura 6

Al ser la viga de mucho peralte, podemos colaborar en su estabilidad, rebajando su altura sobre los apoyos, donde los momentos flectores tienden a cero, y “solamente” deben soportar los cortantes, que en estos puntos son máximos. Además de unir la cabeza de la viga por el ala superior al pilar existente. No obstante, comprobemos su estabilidad al vuelco, al poderse tumbar por el centro de la luz, ocasionando momentos torsores, que arruinarían la viga. El programa *voelco.sce* nos informará sobre la tensión crítica, a partir de la cual se produce el vuelco.

La tensión crítica obtenida que empieza a crear inestabilidad, es de $2.739 \text{ Kp/cm}^2 > 2.158$ de trabajo.

Comprobación de la soldadura del alma con las alas.-

Supongamos que se utilicen cuellos de soldadura: $a = 3.5$ mm, siempre inferior su suma al 80% del espesor del alma: $2a < e_1$.

En el ejemplo actual $e_1 = 10\text{mm} > 2a = 7\text{mm}$; es decir cada cuello de soldadura es: $a = 3,5$ mm

En este punto de la viga, confluyen valores casi máximos de la tensión normal a compresión, con valores altos de la tensión tangencial. La combinación de estas tensiones, hace según el círculo de Mohr, que la tensión principal pudiera superar el valor máximo a compresión de la fibra más alejada, al producirse lo que se conoce como una entalladura, que pudiera hacer saltar la soldadura.

Igualmente, se comprobaría la soldadura entre el alma y el ala inferior, y de no ser válida alguna de estas soldaduras, habría que aumentar el espesor del alma, para que pueda soportar cordones de soldadura de más cuello, sin quemar el material del alma.

Otra observación, es la de no soldar los rigidizadores al ala inferior de tracción. Esto es por la distinta extensión del ala, con el seguimiento de la misma por parte del rigidizador, que puede ocasionar el levantamiento de la soldadura entre ellos.

Organigrama.-

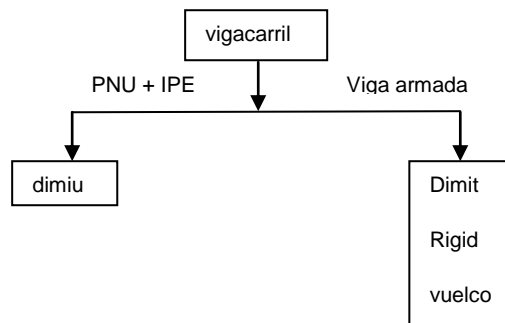


Diagrama de flujo.-

