

ANALISIS DE ESTRUCTURAS CON EL PROGRAMA LIRA 9.0

Dr. Genner Villarreal Castro

**PREMIO NACIONAL 2006, 2007, 2008
ASAMBLEA NACIONAL DE RECTORES**

Lima – Perú
2009

En la actualidad existe gran cantidad de programas informáticos de cálculo estructural que trabajan en el entorno del método de elementos finitos. Por ejemplo, en Rusia principalmente se usan los programas LIRA, SCAD y STARK; en EEUU los programas SAP2000, ETABS, STAAD y COSMOS; en Francia e Inglaterra el programa ROBOT MILLENNIUM y en otros países estos mismos programas adaptados a sus normas u otros programas estructurales.

En el presente texto se utiliza el programa LIRA v.9.0. Tal elección se fundamenta en que el programa LIRA es multifuncional y se utiliza en el cálculo, investigación y diseño estructural para diversas aplicaciones; tales como edificaciones, construcción de máquinas, puentes, energía atómica, industria petrolífera y en otras áreas, donde se aplican los métodos modernos de la mecánica estructural.

El programa LIRA tiene más de 40 años de creación, desarrollo y aplicación en investigaciones científicas y en la práctica de proyección estructural. Dicho programa permite investigar y proyectar diversos tipos de construcciones: sistemas estructurales espaciales, estructuras mixtas, membranas, cuerpos macizos, plateas de cimentación sobre bases elásticas, estructuras de paredes delgadas, estructuras tipo sándwich. El cálculo se realiza ante cargas estáticas y dinámicas. Las cargas estáticas se modelan como puntuales, distribuidas, momentos, variación térmica, asentamiento en los apoyos o desplazamiento de diversas partes de la estructura. Las cargas dinámicas se modelan debido a la acción de sismos, pulsaciones de viento, vibraciones debido a movimiento de maquinarias, cargas de impacto.

Además, el programa LIRA automatiza diversos procesos de proyección estructural como la combinación de cargas y fuerzas, asignación de elementos constructivos, elección y comprobación de las secciones metálicas y de concreto armado con sus correspondientes dibujos a nivel de proyecto.

El programa LIRA permite analizar la estabilidad general del modelo, comprobar la rigidez de las secciones de los elementos por las diversas teorías de destrucción. Asimismo, realiza cálculos estructurales considerando la no-linealidad geométrica y física, modela el proceso constructivo considerando el montaje y desmontaje de sus elementos.

También nos permite cambiar de idioma en cualquier parte del desarrollo del proyecto, trabajando con tres idiomas: ruso, inglés y francés. Igualmente, se puede elegir las unidades de medida, tanto en el proceso de creación del modelo, como en el análisis de resultados. Asimismo, se puede crear cualquier tipo de sección transversal, calculando automáticamente sus características geométricas, incluida la posibilidad de las características sectoriales, coordenadas de los centros de flexión y torsión, momentos de resistencia, así como determina

la forma del núcleo neutro. Ante la acción de cargas, se muestra la distribución de los esfuerzos principales y equivalentes, correspondientes a las diferentes teorías de resistencia.

El programa LIRA posee una rica biblioteca de elementos finitos, capaz de modelar cualquier tipo de estructura con propiedades reales, muy cerca de su comportamiento práctico. También posee un amplio sistema de consultas por medio de respuestas que contienen información total de todos los componentes del programa, leyes y secuencia del trabajo con el mismo.

Asimismo, permite trabajar con diversas Normas Internacionales y posee una conexión de información con otros sistemas CAD muy conocidos, como el AUTOCAD, ARCHICAD, HIPERSTEEL, ALLPLAN, FOK-PK y otros más.

El presente texto está dirigido a estudiantes, arquitectos e ingenieros civiles; así como a postgraduandos e investigadores en el área de estructuras.

Este libro se lo dedico a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres, por ser fuente de inspiración que me permite aportar a un desarrollo integral de la sociedad.

De manera muy especial, dedico el presente libro a mi hermano Jhony y su digna familia, quienes me enseñaron que la sencillez y humildad son sinónimos de riqueza espiritual y mental, necesarios para seguir el camino correcto hacia el éxito.

Dr. Genner Villarreal Castro
genner_vc@rambler.ru

Lima, Julio del 2009

CAPITULO 1

ARMADURAS PLANAS

PROBLEMA 1. Calcular y analizar el estado esfuerzo - deformación de una armadura tipo arco de sección tubular $D = 12\text{cm}$, $d = 10\text{cm}$, que cubre una luz $L = 12\text{m}$, sometida a las cargas de la cubierta de 5T por área tributaria y el efecto de la presión horizontal del viento de 1T en todos los nudos, a excepción de los apoyos. Considere que el apoyo izquierdo es fijo, el derecho movable y el módulo de elasticidad del acero $E_a = 2,1 \cdot 10^7 \text{T/m}^2$. La geometría de la armadura es tipo arco  , con

una relación entre la longitud y la altura de $K_f = \frac{L}{H} = 7$.

SOLUCION:

Iniciamos el problema escribiendo su nombre y la característica, así como los grados de libertad, que en este caso son dos (desplazamientos en OX y OZ). Para ello elegimos el N° 1, tal como se muestra en la figura 1.1

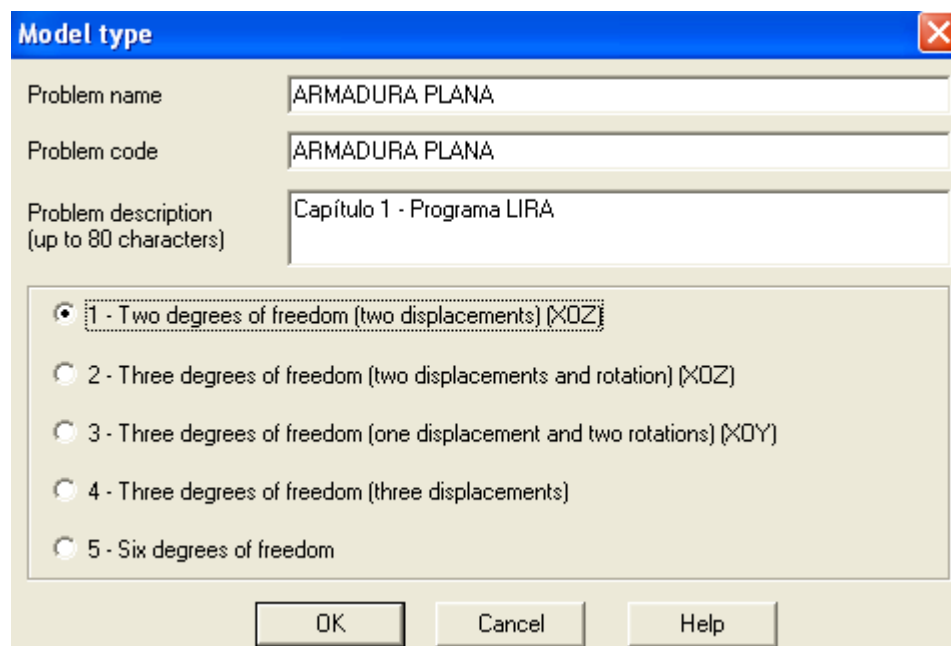


Fig. 1.1

Antes de iniciar el problema debemos de seleccionar las unidades de medida y de cargas, a través de la opción **OPTIONS** → **UNITS OF MEASUREMENT**, indicando las unidades iniciales (**INITIAL DATA**) y resultados del análisis (**ANALYSIS RESULTS**).

Luego, hacemos clic en  para elegir el tipo de armadura, apareciendo una ventana como la mostrada en la figura 1.2. Después, hacemos clic en el primer tipo, que es parecido al nuestro y aparecerá la ventana de la figura 1.3, donde ingresaremos el valor de $L = 12\text{m}$ y $K_f = 7$, haciendo clic en **DRAW** aparecerá la armadura dibujada en la pantalla y luego en **OK** para aceptarlo, quedando, de esta manera, la armadura requerida.

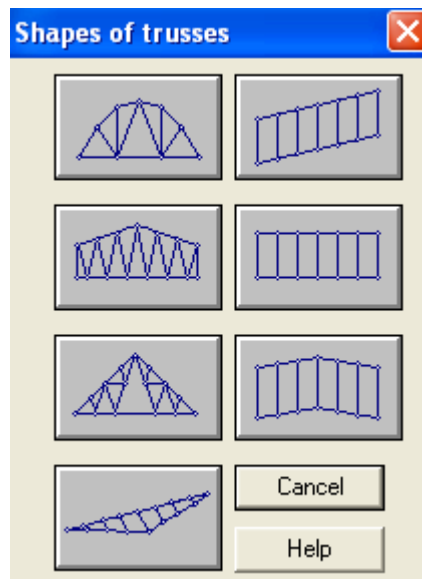


Fig. 1.2

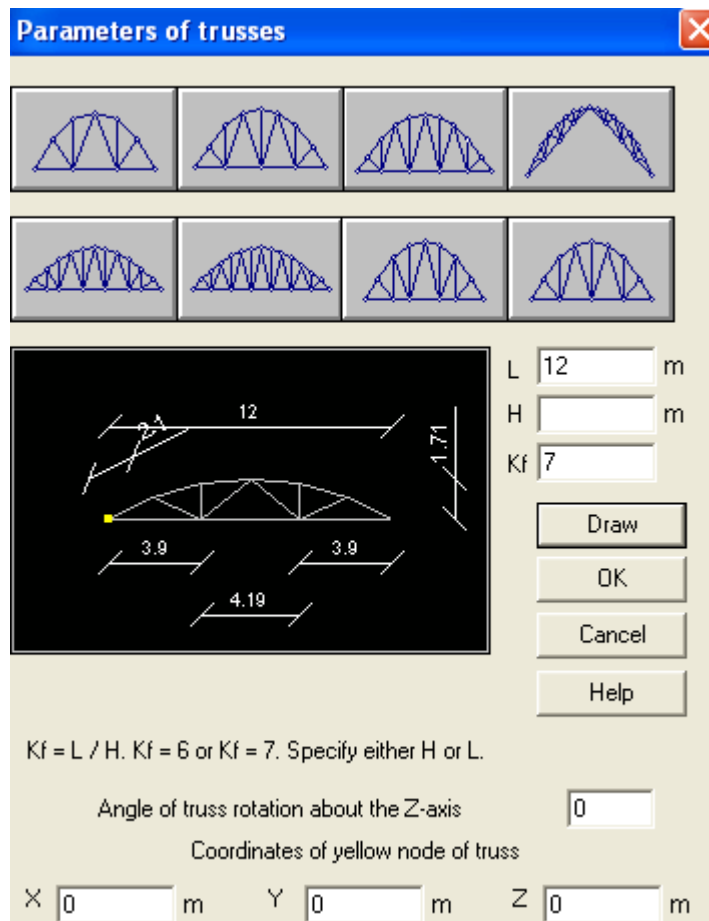


Fig. 1.3

Ahora indicaremos las restricciones en los apoyos, para ello, primero hacemos clic en  y luego marcamos el primer nudo (figura 1.4), apareciendo con color rojo.

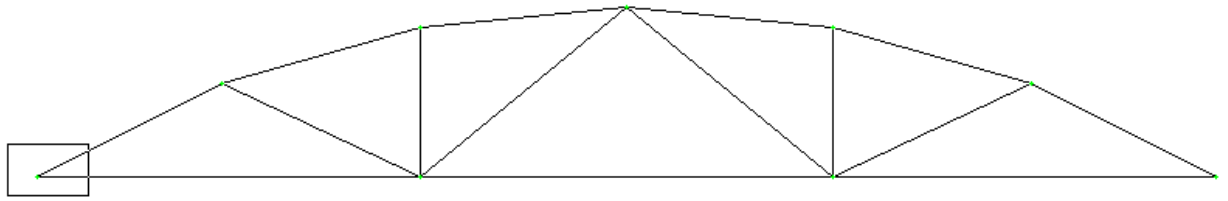


Fig. 1.4

Posteriormente, nos vamos al icono , apareciendo la ventana donde nos piden las restricciones en dicho apoyo, marcando en X y Z por ser apoyo fijo (figura 1.5) y aceptando. Luego se observará que dicho apoyo cambió a color azul, lo que implica que fueron aceptadas sus restricciones.



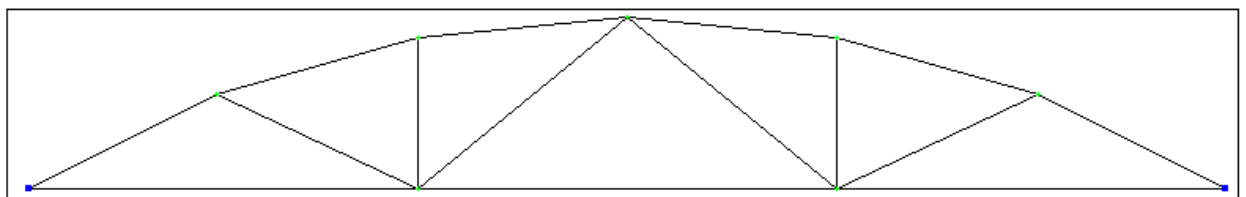
Fig. 1.5

En forma análoga hacemos con el nudo extremo de la derecha, pero por ser apoyo movable, la única restricción es su traslación en Z. No hay que preocuparse que aparezcan con el mismo color azul, ya que eso implica que fueron aceptadas las restricciones en Z de dicho apoyo.

Ahora indicamos las propiedades físicas del material, en este caso para el acero, debiendo seleccionar todos los elementos de la viga, a través del icono  y marcando todas las barras (figura 1.6). No olvidar

hacer clic anteriormente en  para no seleccionar los nudos, sino sólo los elementos. Una vez seleccionados los elementos aparecerán con color rojo.

a)



b)

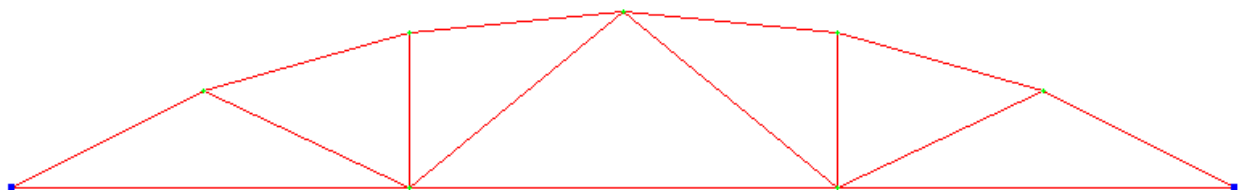


Fig. 1.6

Posteriormente, seleccionamos las propiedades físicas del material, en este caso el acero, a través del icono  y haciendo clic en ADD para adicionar nuevas secciones transversales, apareciendo una ventana pegada a la anterior (figura 1.7).

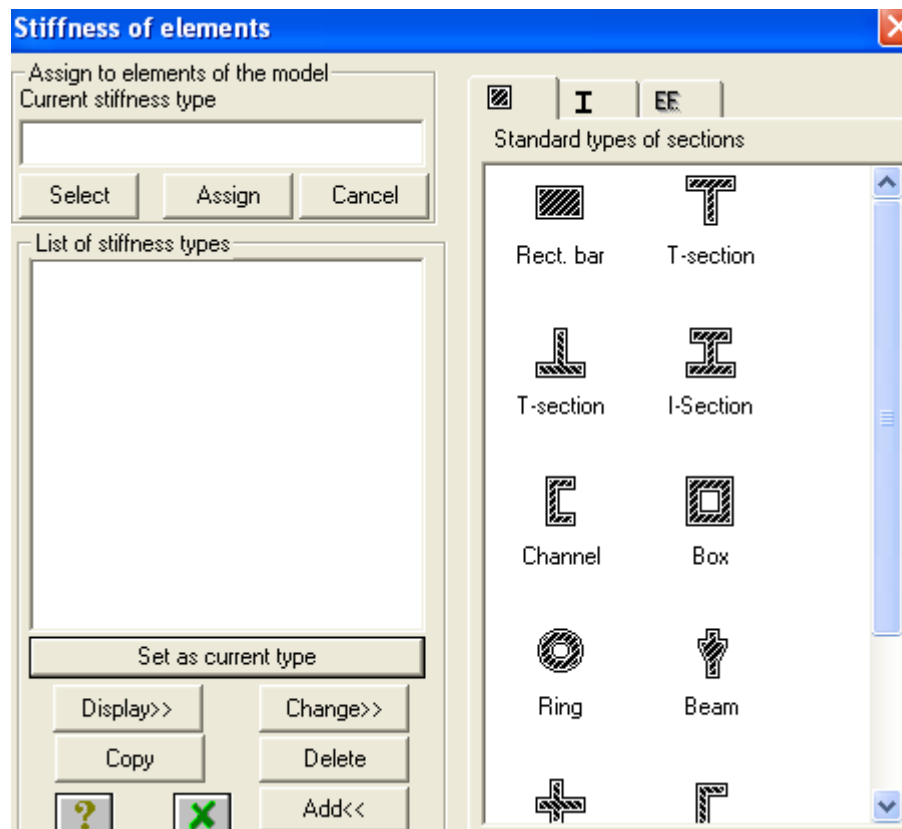


Fig. 1.7

Luego, hacemos doble clic en la sección tubular (RING), apareciendo una nueva ventana que debemos de ingresar los datos del problema, tal como aparece en la figura 1.8. Si deseamos que se grafique la sección, hacemos clic en dibujar (DRAW).

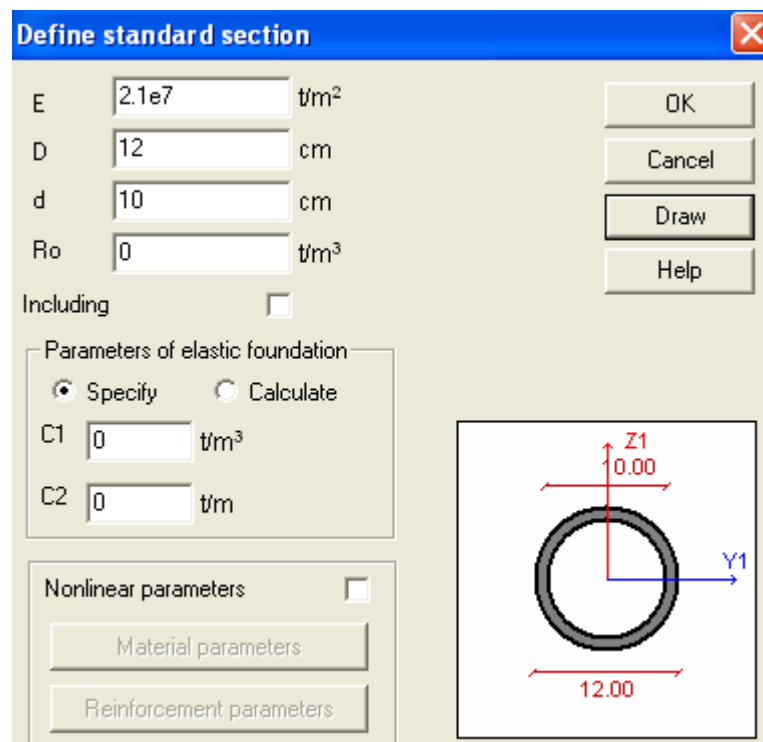


Fig. 1.8

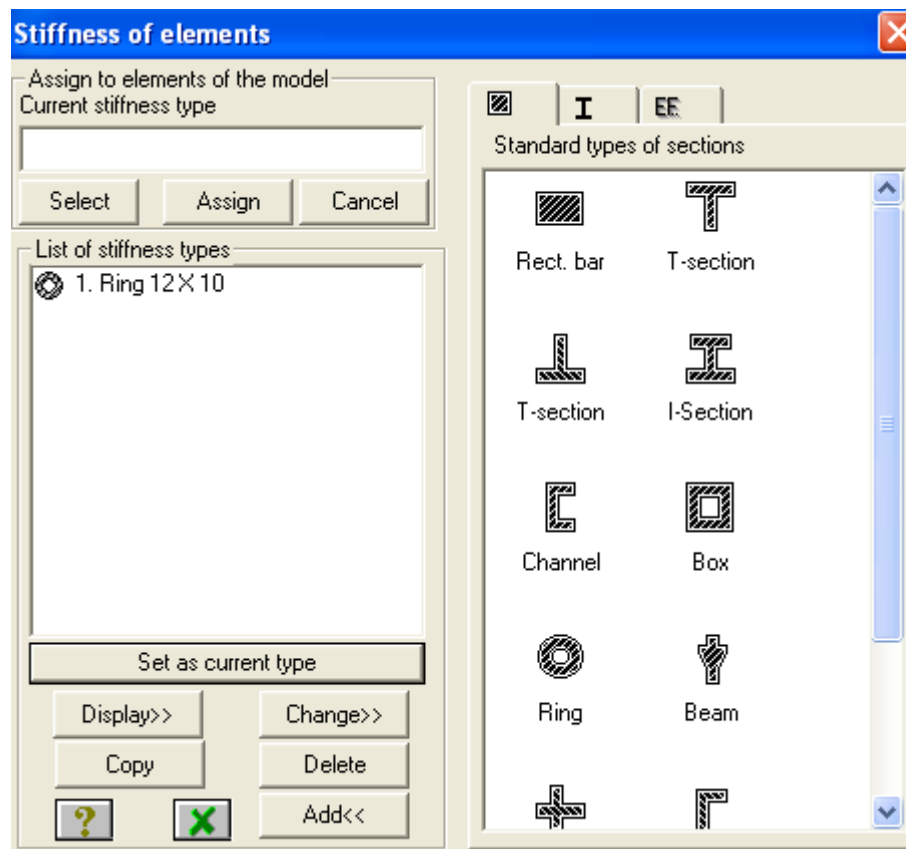


Fig. 1.9

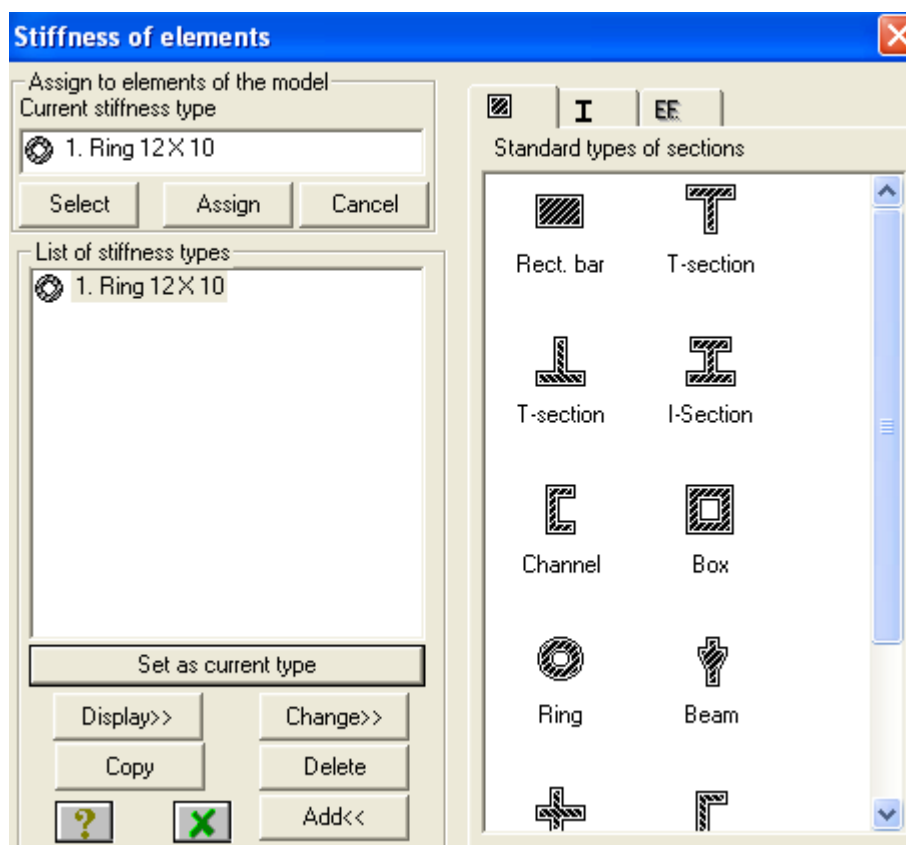
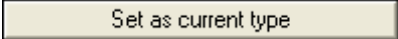


Fig. 1.10

Después, hacemos clic en OK y aceptamos, apareciendo la ventana de la figura 1.9. Posteriormente, hacemos clic en  1. Ring 12X10 apareciendo con color azul. Luego, hacemos clic en  y la sección aparece en la parte superior, como se muestra en la figura 1.10.

En seguida, hacemos lo mismo, es decir, marcamos  1. Ring 12X10 de la parte superior, quedando con color azul, asignamos dichas propiedades a los elementos a través del icono  y, de esta manera, todas las barras de la armadura aparecerán con el mismo color de antes, es decir, negro.

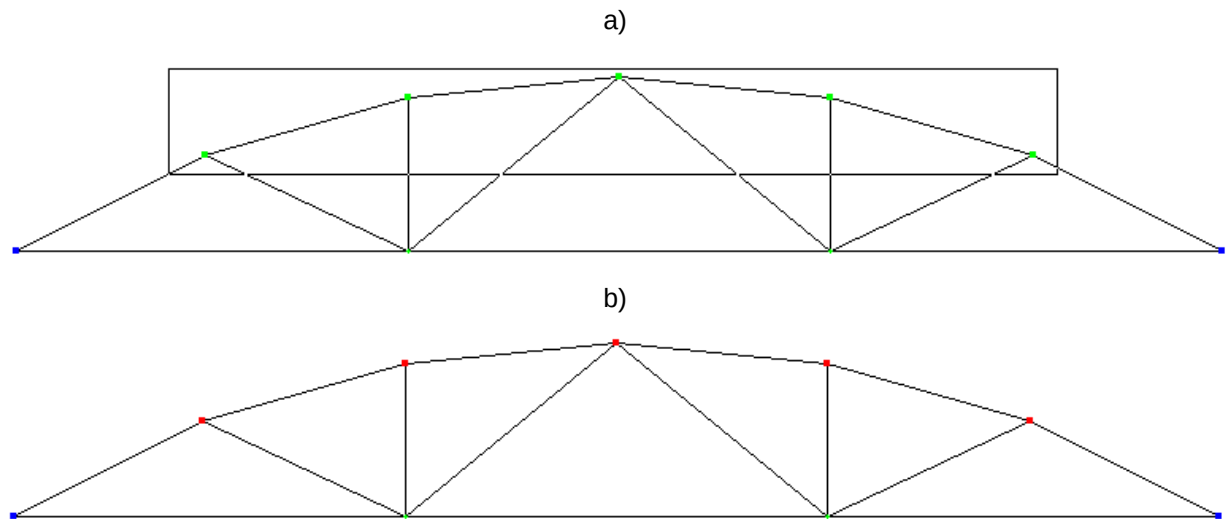


Fig. 1.11

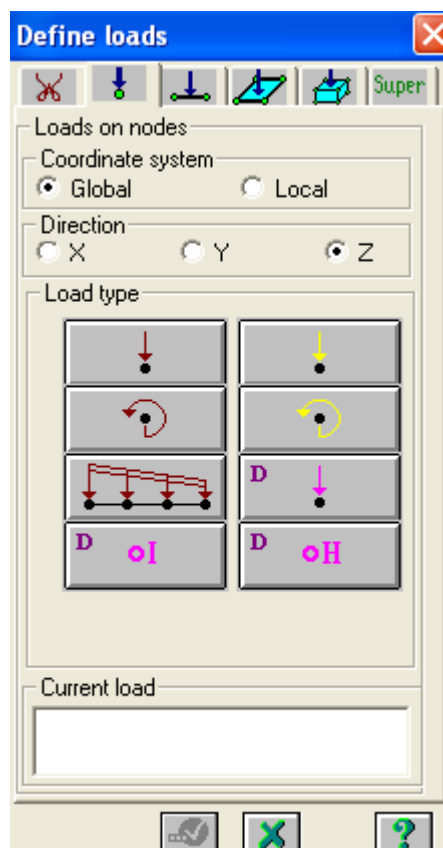


Fig. 1.12

Ahora efectuamos el 1er estado de carga, utilizando, para ello, el icono  y seleccionando solo los nudos del cordón superior (figura 1.11,a), a excepción de los nudos de los apoyos, apareciendo con color rojo (figura 1.11,b). Después, hacemos clic en LOADS → LOAD ON NODES AND ELEMENTS, o simplemente en , apareciendo la ventana de la figura 1.12.

Posteriormente, hacemos clic en  y escribimos la magnitud 5T, presionando OK para aceptar, apareciendo la ventana de la figura 1.13, donde hacemos clic en  y quedará la armadura cargada como se muestra en la figura 1.14.

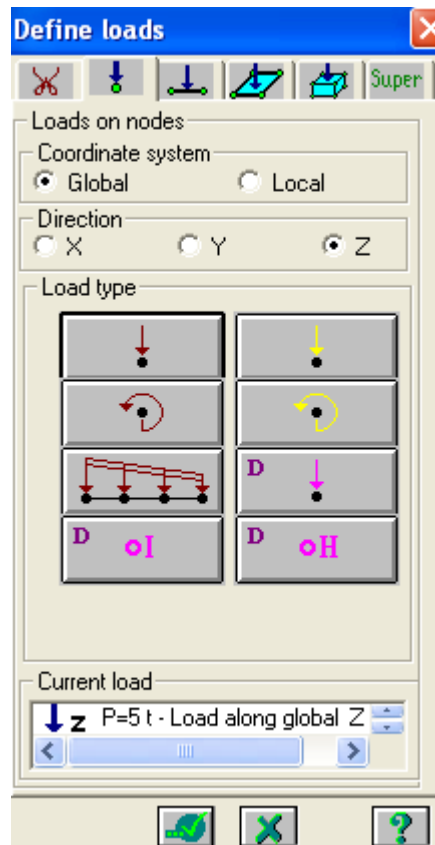


Fig. 1.13

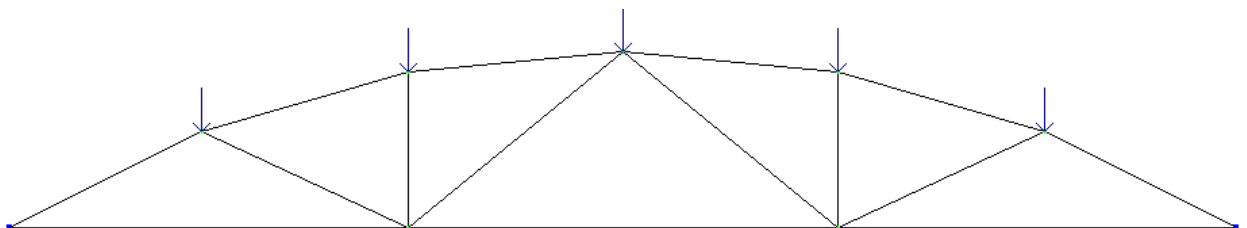


Fig. 1.14

En forma análoga hacemos para el caso de las cargas en los apoyos, que serán de 2,5T por ser su área tributaria la mitad de las anteriores.

Si deseamos ver los valores de las cargas, hacemos clic en  y luego en  para adicionar los valores de las cargas marcando  tal como se muestra en la figura 1.15, aceptando, desde luego, y aparecerá la armadura con sus cargas (figura 1.16).



Fig. 1.15

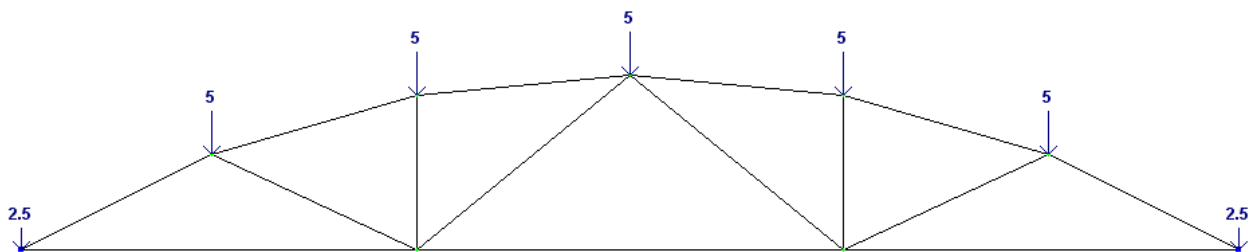


Fig. 1.16

Ahora pasamos al 2do estado de carga, a través del icono , quedando tal como se muestra en la figura 1.17 y aceptando, desapareciendo el estado de carga anterior.

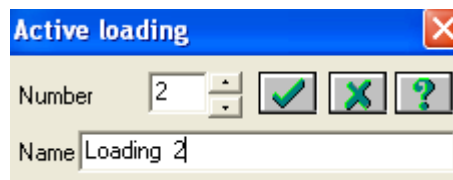


Fig. 1.17

En forma análoga al 1er estado de carga, seleccionamos todos los nudos de la parte superior (figura 1.11,a) y aplicamos una carga horizontal de 1T en la dirección de X. Para ello, hay que ver la convención de signos del programa, el cual requiere se coloque -1T, para que esté orientada de acuerdo al problema, tal como se muestra en la figura 1.18, presionando OK y luego en  para aplicarlo.

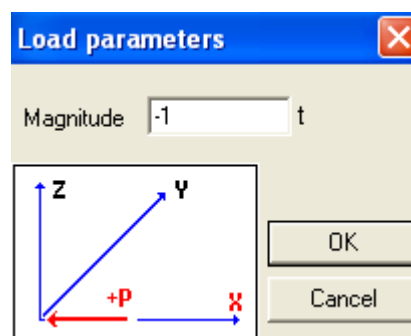


Fig. 1.18

De esta manera, la armadura quedará cargada como se muestra en la figura 1.19.

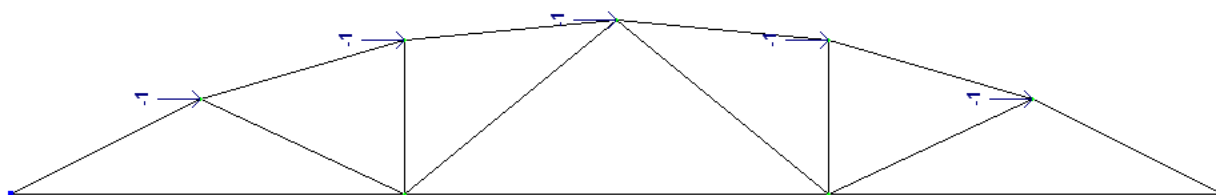


Fig. 1.19

Posteriormente, grabamos el problema con el nombre “CAPITULO 1 (Armadura plana)” y quedamos listos para correr el programa, haciendo clic en el icono

Ahora visualizaremos los resultados del cálculo, a través del icono y luego por medio de marcando **N** para ver la fuerza axial o normal, apareciendo en la parte inferior los valores máximos y mínimos y la barra con color rojo donde está el valor máximo.

Si deseamos ver los valores de los diagramas hacemos clic en luego en y marcamos en el casillero de tal como se muestra en la figura 1.20.



Fig. 1.20

Si deseamos desactivar las cargas, hacemos clic en luego en y en desactivándose automáticamente después de aceptarlo por medio de .

Para cambiar de tipo de estado de carga, hacemos clic en apareciendo la ventana de la figura 1.21, a través de la cual podemos cambiar al 2do estado de carga o viceversa.

En las figuras 1.22 y 1.23 se muestran los diagramas de fuerza axial o normal para el 1er y 2do estado de carga y en las figuras 1.24 y 1.25 el diagrama de deformación de la armadura, el cual se obtiene haciendo clic en **N**, para desactivar el anterior diagrama, luego en apareciendo con color negro el estado inicial y en rosado el diagrama deformado.

Si queremos ver el desplazamiento en un punto específico, primero debemos de desactivar lo que estábamos analizando, luego hacemos clic en después en y, posteriormente, en el punto específico, apareciendo sus desplazamientos en las tres direcciones, por ejemplo para el nudo central

del cordón superior (nudo 7) por el 1er estado de carga, sus desplazamientos serán los que se muestran en la figura 1.26.

Active loading

Number 2

Name Loading 2

Choose layer for LITERA

☒ Bottom layer

☐ Middle layer

☐ Top layer

OK Cancel Help

Fig. 1.21

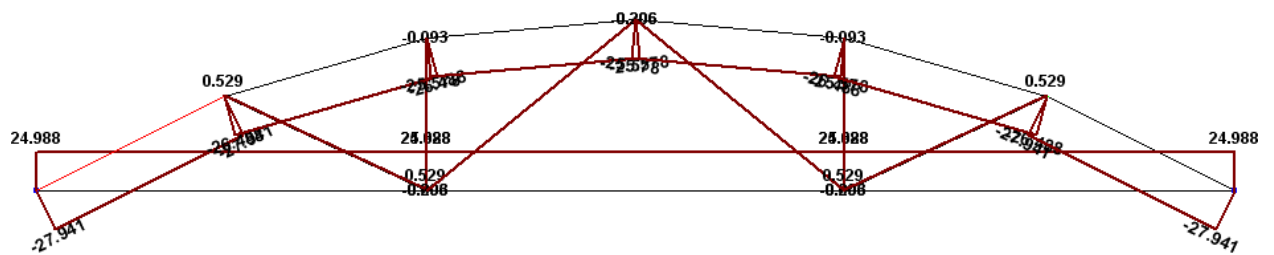


Fig. 1.22 Diagrama N para el 1er estado de carga

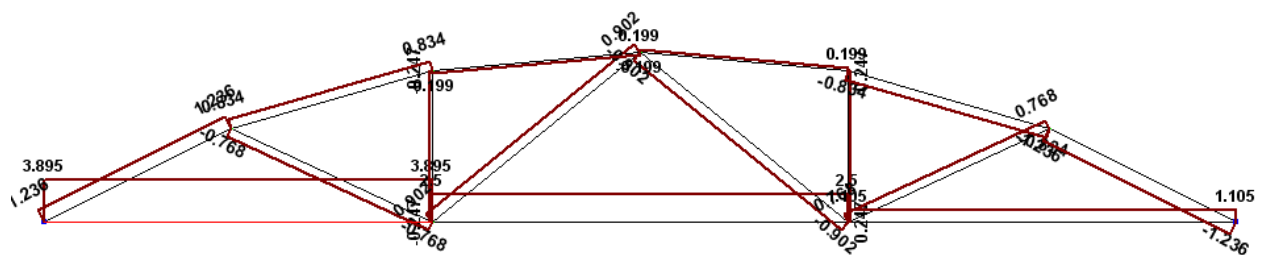


Fig. 1.23 Diagrama N para el 2do estado de carga

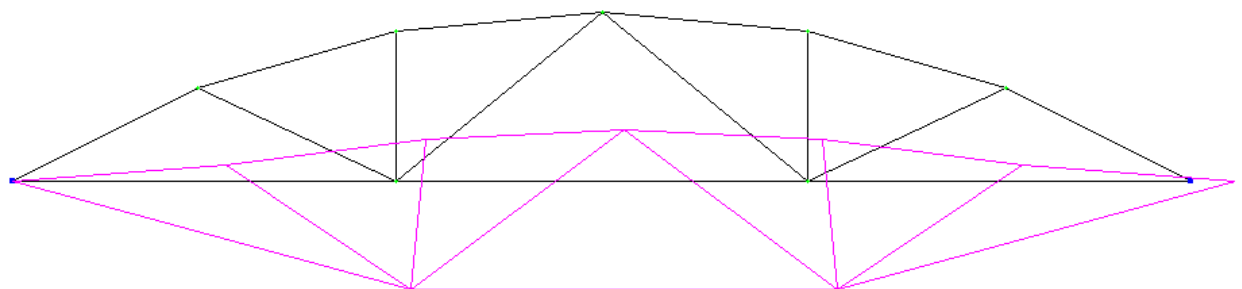


Fig. 1.24 Diagrama de deformación para el 1er estado de carga

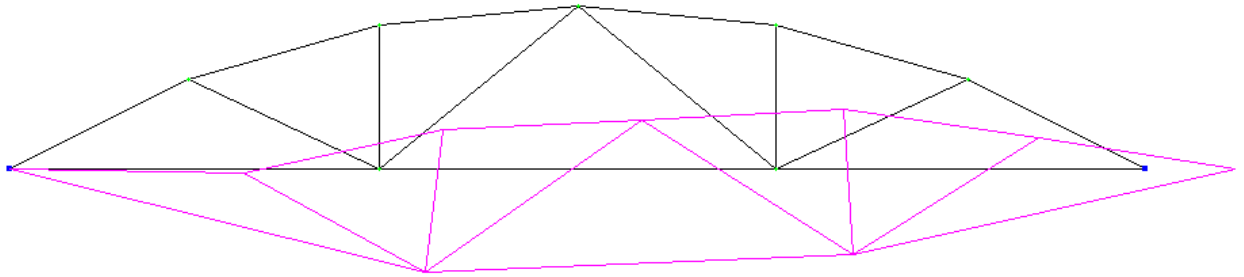


Fig. 1.25 Diagrama de deformación para el 2do estado de carga

Node 7 [X]

Coordinates		Restrains	
X	6 m	☐ X	☐ UX
Y	0 m	☐ Y	☐ UY
Z	1.714286 m	☐ Z	☐ UZ

node #	Block #	Select
7	1	☐

Loads

☒ Loading Load. # 1

☐ DCL

↓ z P=5 t - Load along global Z axis

[New] [Delete]

Displacements in local system

X	2.08445 mm	UX	0
Y	0 mm	UY	0
Z	-11.0738 mm	UZ	0

Displacements in global system

X	0	UX	0
Y	0	UY	0
Z	0	UZ	0

[OK] [Help]

Fig. 1.26

Finalmente grabamos los resultados, de tal manera, que cuando deseamos volver a analizar el problema, el programa nos lleve directamente a los resultados y no estar de nuevo corriendo el programa para el problema específico.

CAPITULO 2

VIGAS CONTINUAS

PROBLEMA 2. Calcular y analizar el estado esfuerzo - deformación de una viga continua de cuatro tramos (1er tramo – 4m; 2do tramo – 7m; 3er y 4to tramo – 5m). La sección es rectangular $h = 40cm$, $b = 20cm$, el módulo de elasticidad del concreto es $E_c = 3.10^6 T / m^2$ y el peso específico $\gamma_c = 2,75T / m^3$. Realizar el cálculo ante las siguientes cargas:

1. Peso propio (carga muerta).
2. Carga puntual en el primer tramo de 7,5T debido a la acción de la maquinaria y a una distancia 2,3m del primer apoyo; carga trapezoidal en el segundo tramo de 1,8T/m a una distancia 0,7m del apoyo izquierdo y de 4,4T/m a una distancia 5,3m del mismo apoyo. Esta última carga es debido a la acumulación del material de construcción (carga viva de corta duración).
3. Cargas puntuales en el segundo y tercer tramo de 6,4T debido la acción de maquinaria y a una distancia 3,2m del apoyo izquierdo en cada tramo (carga viva de corta duración).
4. Carga distribuida en el tercer y cuarto tramo de 5,6T/m debido a la acumulación del material de construcción (carga viva de larga duración).

Considerar que el primer apoyo es fijo y el resto móviles.

SOLUCION:

Iniciamos el problema escribiendo su nombre y la característica, así como los grados de libertad, que, en este caso, son tres (dos desplazamientos en OX y OZ y una rotación alrededor de OY). Para ello, elegimos el N° 2, tal como se muestra en la figura 2.1

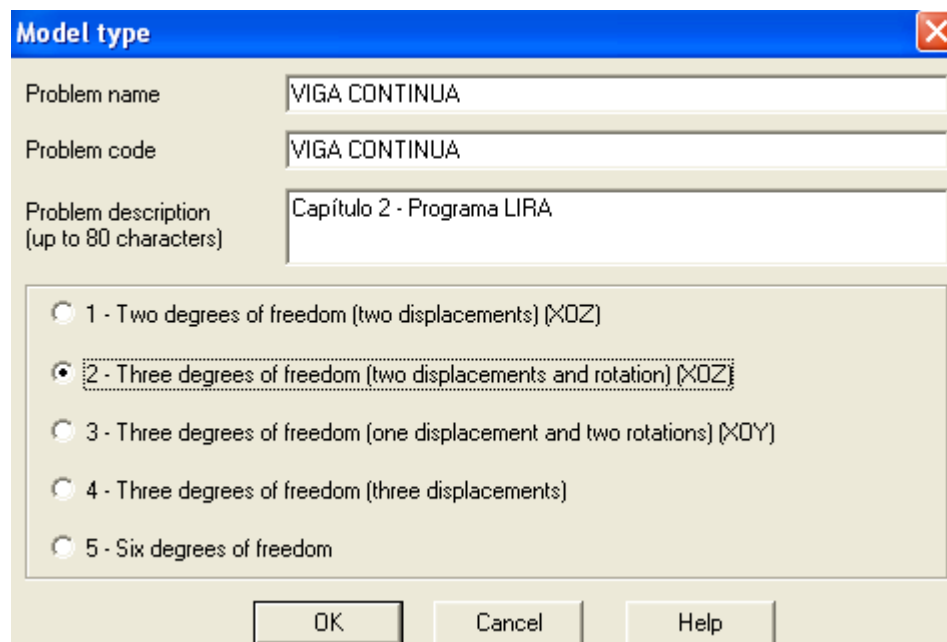


Fig. 2.1

Antes de iniciar el problema debemos de seleccionar las unidades de medida y de cargas, a través de la opción **OPTIONS** → **UNITS OF MEASUREMENT**, indicando las unidades iniciales (**INITIAL DATA**) y resultados del análisis (**ANALYSIS RESULTS**).

Ahora creamos el esquema de la viga continua haciendo clic en el icono  e indicando las dimensiones a lo largo del 1er eje, es decir, el horizontal (figura 2.2). Una vez indicadas las dimensiones, debemos de hacer clic en  para aceptar y luego aparecerá el esquema de la viga.

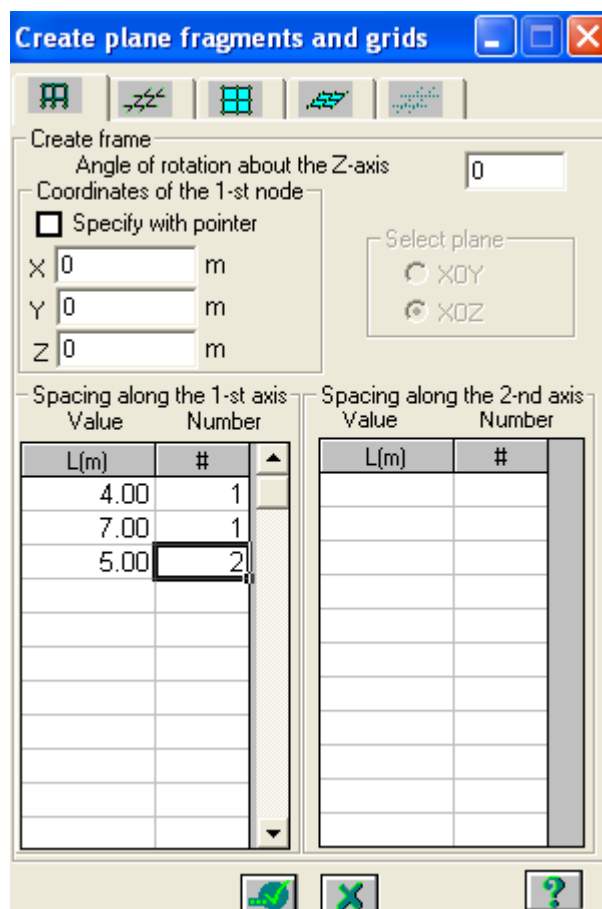


Fig. 2.2

Luego indicaremos las restricciones en los apoyos, para ello, primero hacemos clic en  y luego marcamos el primer nudo (figura 2.3), apareciendo con color rojo.



Fig. 2.3

Posteriormente, nos vamos al icono , apareciendo la ventana donde nos piden las restricciones en dicho apoyo, marcando en X y Z por ser apoyo fijo (figura 2.4) y aceptando. Luego se observará que dicho apoyo cambió a color azul, lo que implica que fueron aceptadas sus restricciones.



Fig. 2.4

En forma análoga hacemos con los siguientes nudos, pero indicaremos que en todos ellos la única restricción será su traslación en Z. No hay que preocuparse que aparezcan con el mismo color azul, ya que eso implica que fueron aceptadas las restricciones en Z en todos los apoyos.

Ahora, indicamos las propiedades físicas del material, en este caso para el concreto, debiendo seleccionar todos los elementos de la viga, a través del icono  y marcando todas las barras (figura 2.5). No olvidar hacer clic anteriormente en  para no seleccionar los nudos, sino sólo los elementos. Una vez seleccionados los elementos aparecerán con color rojo.

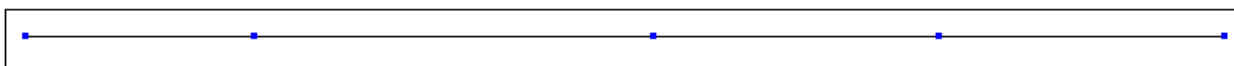


Fig. 2.5

Posteriormente, seleccionamos las propiedades físicas del material, en este caso el concreto, a través del icono  y haciendo clic en ADD para adicionar nuevas secciones transversales, apareciendo una ventana pegada a la anterior (figura 2.6).

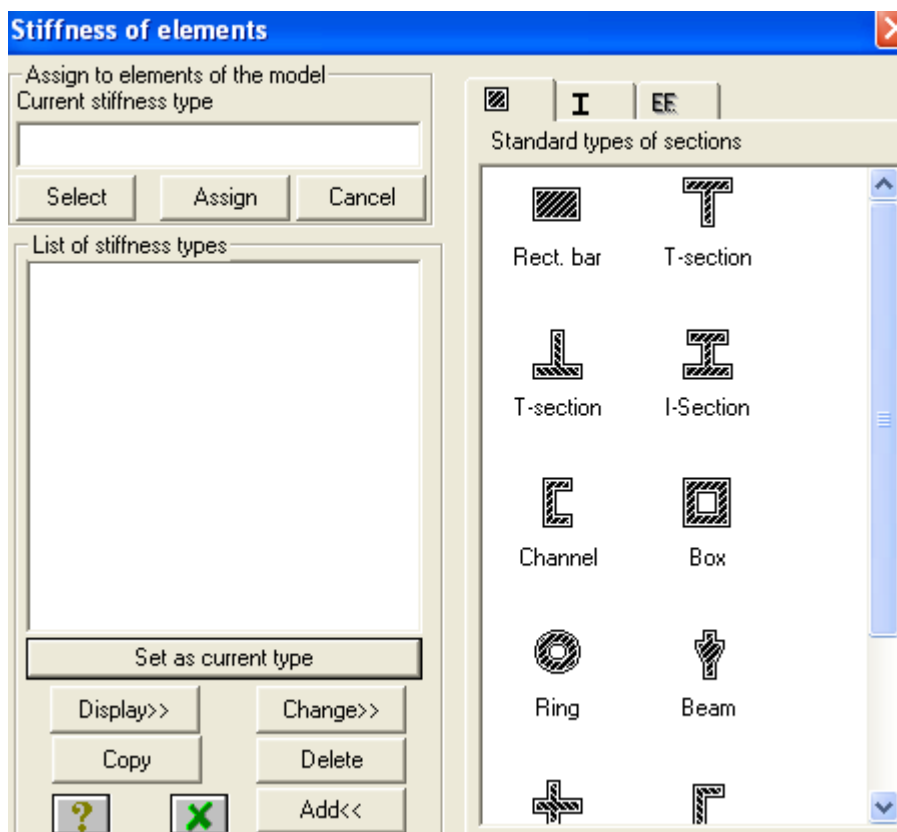
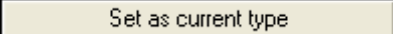


Fig. 2.6

Luego, hacemos clic en la sección rectangular (RECT. BAR), apareciendo una nueva ventana que debemos de ingresar los datos del problema, tal como aparece en la figura 2.7. Si deseamos que se grafique la sección, hacemos clic en dibujar (DRAW).

Después, hacemos clic en OK y aceptamos, apareciendo la ventana de la figura 2.8. Posteriormente, hacemos clic en  1. Rect. bar 20 X 40 apareciendo con color azul. Seguidamente, hacemos clic en

 y la sección aparece en la parte superior, como se muestra en la figura 2.9.

Define standard section

E t/m²

B cm

H cm

Ro t/m³

Including shear ☐

Parameters of elastic foundation

☒ Specify ☐ Calculate

C1 t/m³

C2 t/m

Nonlinear parameters ☐

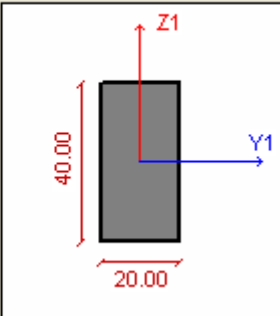


Fig. 2.7

Stiffness of elements

Assign to elements of the model

Current stiffness type

List of stiffness types

☒ 1. Rect. bar 20 X 40

☐ ☒ ☐ ☐

Standard types of sections

☒ Rect. bar ☐ T-section

☐ T-section ☐ I-Section

☐ Channel ☐ Box

☐ Ring ☐ Beam

☐ ☐

Fig. 2.8

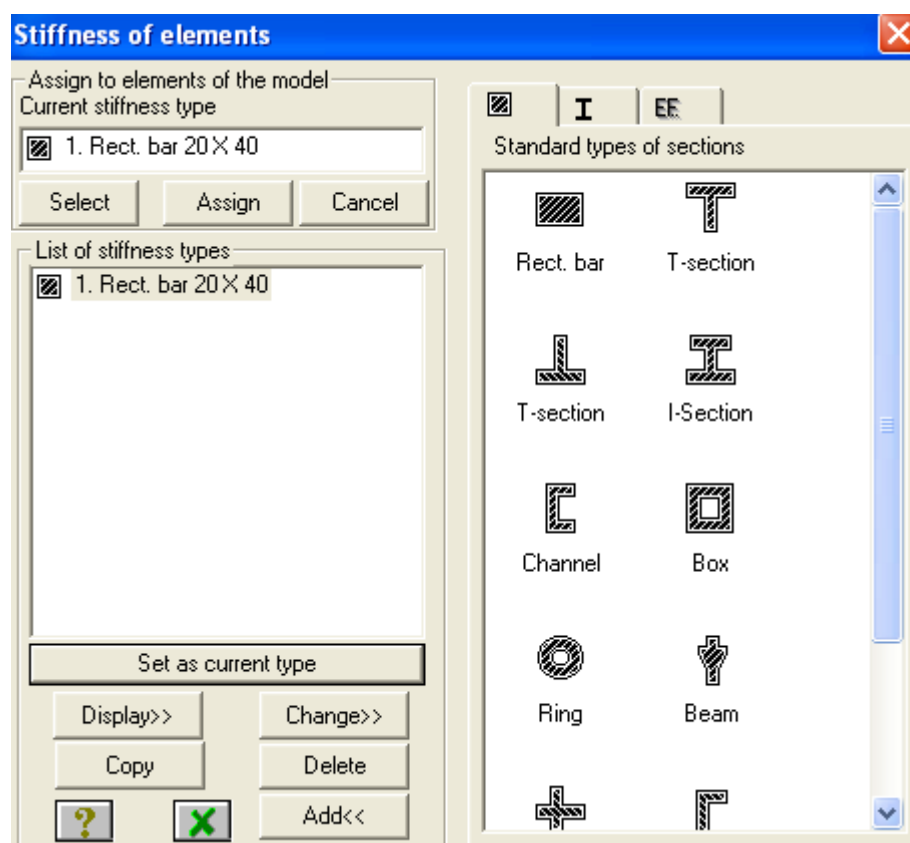


Fig. 2.9

Luego, hacemos lo mismo, es decir, marcamos ☒ **1. Rect. bar 20 X 40** de la parte superior, quedando con color azul, asignamos dichas propiedades a los elementos a través del icono **Assign** y, de esta manera, todas las barras de la viga continua aparecerán con el mismo color de antes, esto es, negro. Ahora, aplicamos las cargas en los elementos, siendo para el 1er tipo de carga (peso propio), debiendo hacer clic en cargas (LOADS) y luego adicionamos el peso propio (ADD DEAD WEIGHT). Para ver el tipo de cargas, producto del peso propio, hacemos clic en  y luego en  para adicionar los valores de las cargas marcando  tal como se muestra en la figura 2.10, aceptando, desde luego, y aparecerá la viga con sus cargas (figura 2.11).

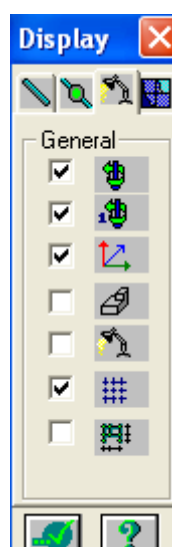


Fig. 2.10



Fig. 2.11

Ahora pasamos al 2do estado de carga, a través del icono , quedando tal como se muestra en la figura 2.12 y aceptando, desapareciendo el estado de carga anterior.

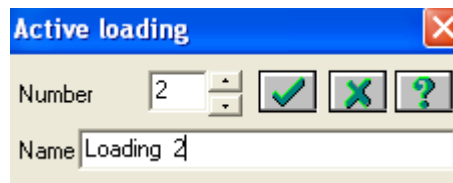


Fig. 2.12

Luego, marcamos el primer elemento a través del icono , apareciendo con color rojo. Después, vamos a definir la carga puntual a través del icono  o a través de LOADS → LOADS ON NODES AND ELEMENTS.

Posteriormente, marcamos el icono , sistema de coordenadas local y la dirección Z. Para indicar la carga marcando esta vez, pero en el icono , apareciendo la ventana mostrada en la figura 2.13, donde ingresamos su valor y distancia hasta el apoyo izquierdo.

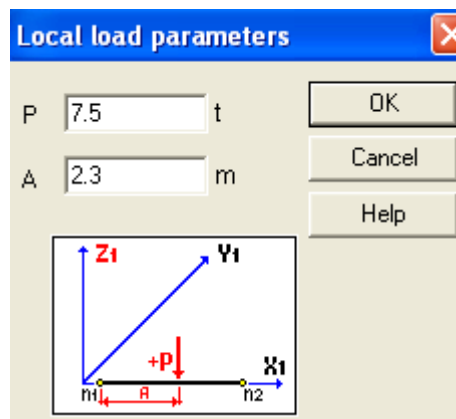


Fig. 2.13

Después de aceptar en OK aparecerá la ventana mostrada en la figura 2.14, aceptando una vez más y aparecerá en la viga en dicho tramo la carga indicada. Luego, hacemos en forma análoga con el

segundo tramo, haciendo clic en , ingresando los valores de la carga trapezoidal y las distancias respectivas al apoyo izquierdo, tal como se muestra en la figura 2.15 y aceptando haciendo clic en OK, apareciendo la ventana de la figura 2.16.

Una vez realizado este proceso se tendrá un nuevo sistema de cargas, que es el 2do, tal como se muestra en la figura 2.17.

Posteriormente, hacemos en forma análoga para el 3er sistema de cargas, cambiando previamente a dicho sistema de cargas, como se muestra en la figura 2.18. Seguidamente, marcamos los elementos de los tramos 2 y 3 y aplicamos las cargas puntuales de 6,4T a una distancia de 3,2m del apoyo izquierdo, tal como se muestra en la figura 2.19, aceptando dichas cargas a través de la ventana de la figura 2.20 y así la viga quedará como se muestra en la figura 2.21.

Finalmente, se ingresará el 4to sistema de cargas, en forma análoga a los casos anteriores, eligiendo previamente dicho sistema como se muestra en la figura 2.22, luego, marcamos el 3er y 4to tramo y el icono , e ingresamos los valores de la carga distribuida tal como se muestra en la figura 2.23, aceptando dichas cargas a través de la ventana de la figura 2.24 y de esta manera la viga quedará como se muestra en la figura 2.25.

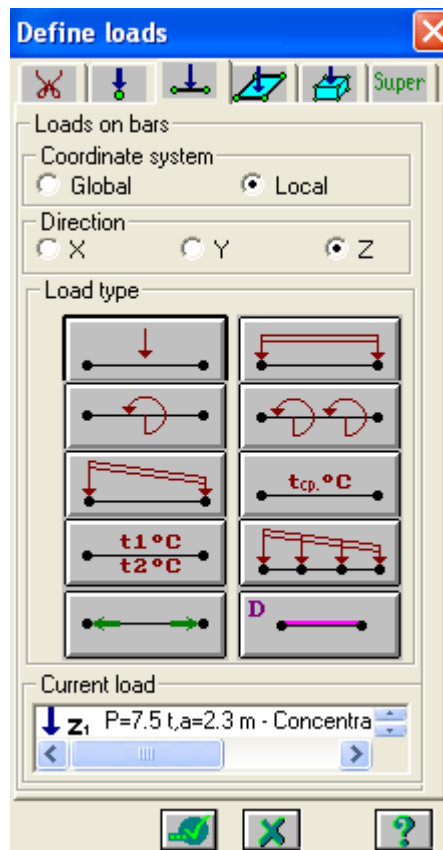


Fig. 2.14

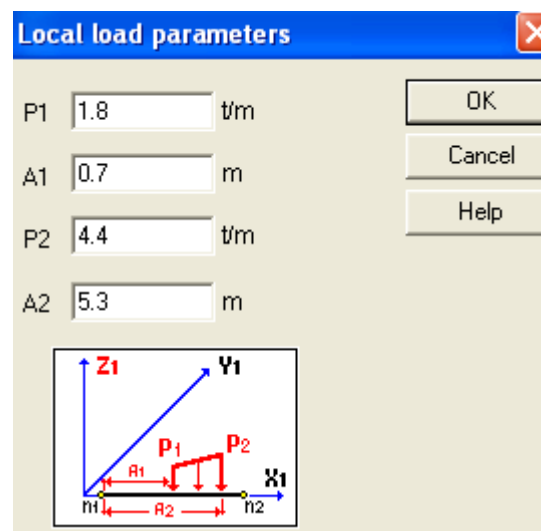


Fig. 2.15

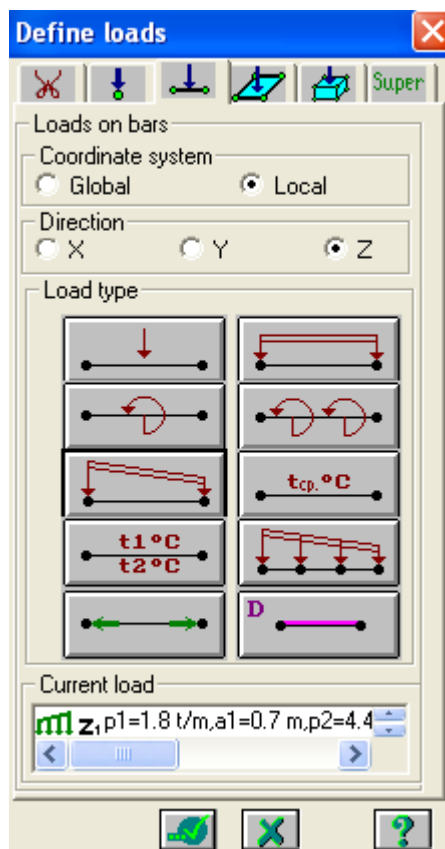


Fig. 2.16



Fig. 2.17



Fig. 2.18

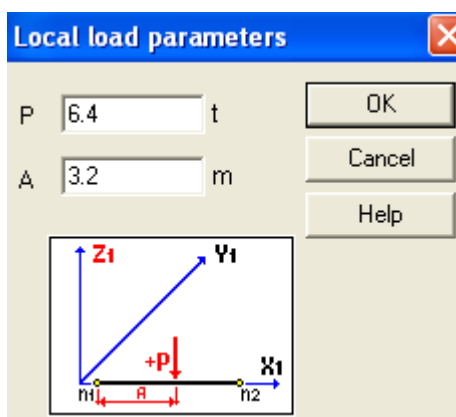


Fig. 2.19

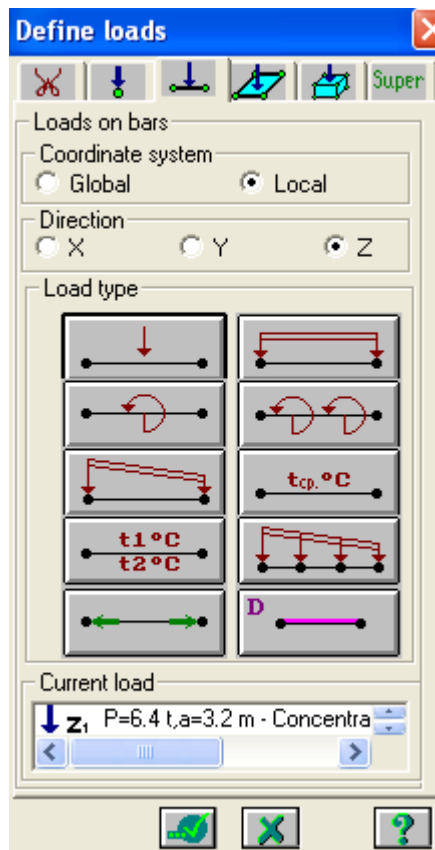


Fig. 2.20



Fig. 2.21



Fig. 2.22

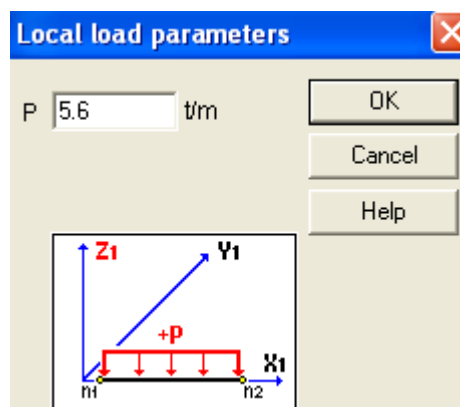


Fig. 2.23

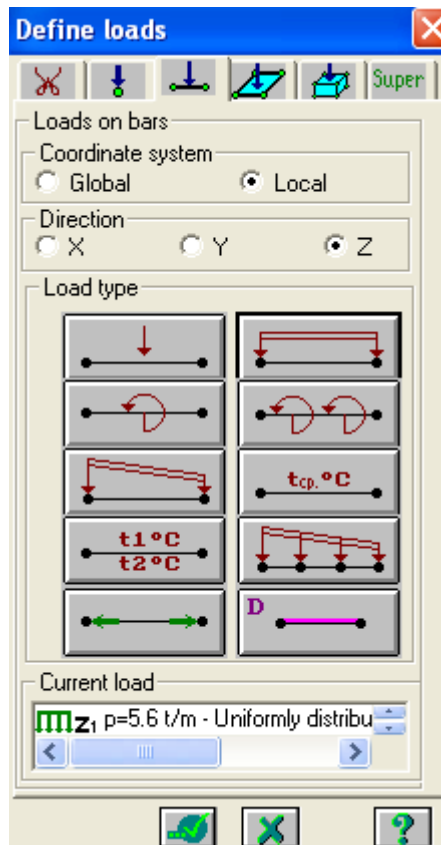


Fig. 2.24



Fig. 2.25

Ahora efectuamos la combinaciones de cargas a través de LOADS → DESIGN COMBINATIONS OF FORCES (DCF), indicando que el 1er sistema de cargas es constante (peso propio) o comúnmente conocido como carga muerta (DEAD), haciendo clic en OK y automáticamente pasará al 2do sistema de cargas, que es carga viva de corta duración (SHORT-TERM), tan igual como el 3er sistema de cargas y el 4to sistema de cargas es también carga viva, pero de larga duración (LIVE), quedando, de esta manera, la combinación tal como se muestra en la figura 2.26.

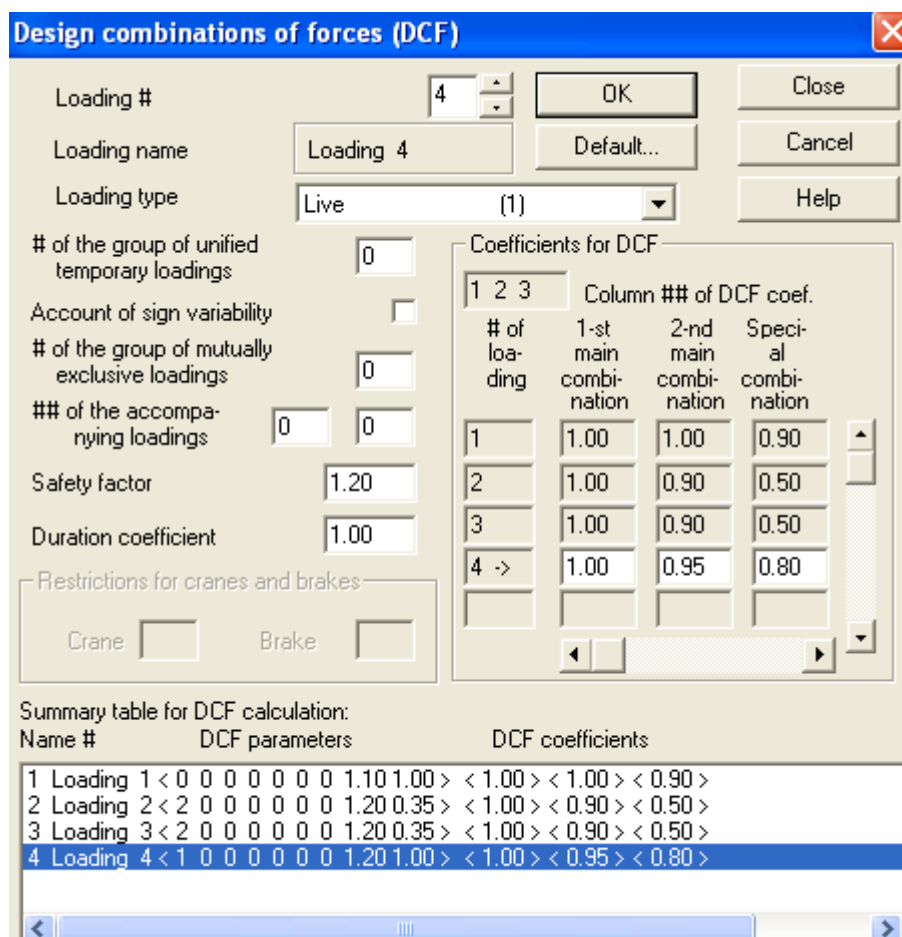
Posteriormente, grabamos el problema con el nombre “CAPITULO 2 (Viga continua)” y quedamos listos para correr el programa, haciendo clic en el icono .

Ahora, visualizaremos los resultados del cálculo, a través del icono , luego por medio de , marcando Q_z o M_y para ver la cortante o momento flector, apareciendo en la parte inferior los valores máximos y mínimos y en la viga aparecerá con rojo el elemento donde está el valor máximo.

Si deseamos ver los valores de los diagramas hacemos clic en , en seguida en  y marcamos en el casillero de , tal como se muestra en la figura 2.27.

En la figura 2.28 se muestra el diagrama de cortante incluido las cargas y en la figura 2.29 el diagrama de momento flector, pero sin cargas, para lo cual fue necesario previamente hacer clic en , luego en  y finalmente lo desactivamos las cargas por medio de .

En las figuras 2.30 y 2.31 se muestran ambos diagramas para el 2do estado de carga; en las figuras 2.32 y 2.33 para el 3er estado de cargas y en las figuras 2.34 y 2.35 para el 4to estado de cargas.



Design combinations of forces (DCF)

Loading #: 4

Loading name: Loading 4

Loading type: Live (1)

of the group of unified temporary loadings: 0

Account of sign variability: ☐

of the group of mutually exclusive loadings: 0

of the accompanying loadings: 0

Safety factor: 1.20

Duration coefficient: 1.00

Restrictions for cranes and brakes:

Crane ☐ Brake ☐

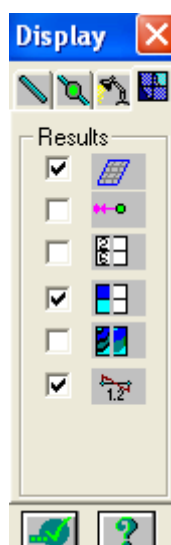
Coefficients for DCF

Column	1	2	3	## of DCF coef.
	# of loading	1-st main combination	2-nd main combination	Special combination
1	1.00	1.00	0.90	
2	1.00	0.90	0.50	
3	1.00	0.90	0.50	
4 ->	1.00	0.95	0.80	

Summary table for DCF calculation:

Name	#	DCF parameters	DCF coefficients
1 Loading	1	< 0 0 0 0 0 0 0 1.10 1.00 >	< 1.00 > < 1.00 > < 0.90 >
2 Loading	2	< 2 0 0 0 0 0 0 1.20 0.35 >	< 1.00 > < 0.90 > < 0.50 >
3 Loading	3	< 2 0 0 0 0 0 0 1.20 0.35 >	< 1.00 > < 0.90 > < 0.50 >
4 Loading	4	< 1 0 0 0 0 0 0 1.20 1.00 >	< 1.00 > < 0.95 > < 0.80 >

Fig. 2.26



Display

Results

- ☒ 
- ☐ 
- ☐ 
- ☒ 
- ☐ 
- ☒ 

Fig. 2.27

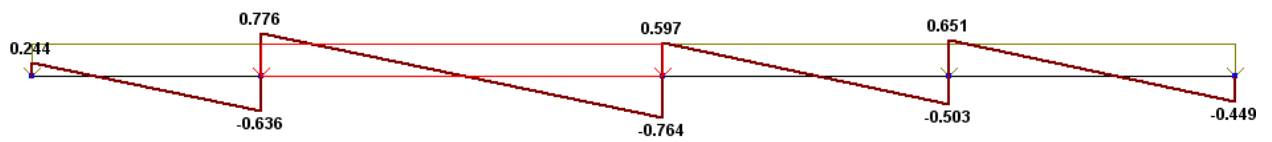


Fig. 2.28 Diagrama V para el 1er estado de cargas

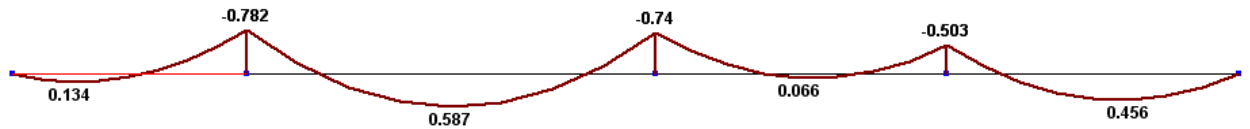


Fig. 2.29 Diagrama M para el 1er estado de cargas

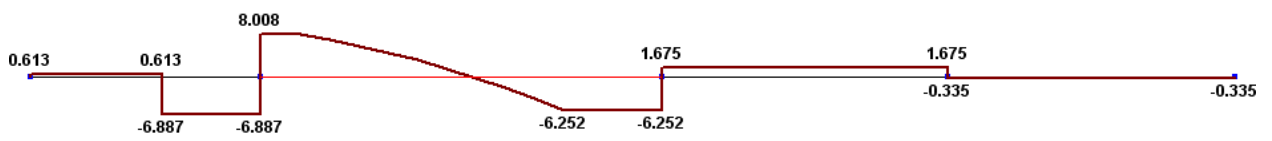


Fig. 2.30 Diagrama V para el 2do estado de cargas

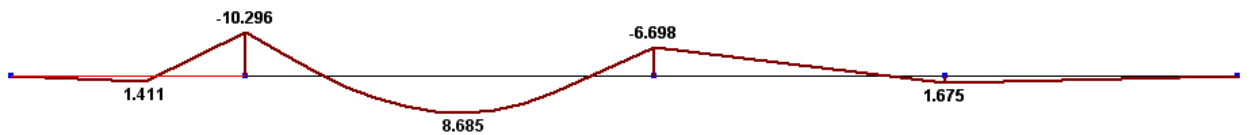


Fig. 2.31 Diagrama M para el 2do estado de cargas

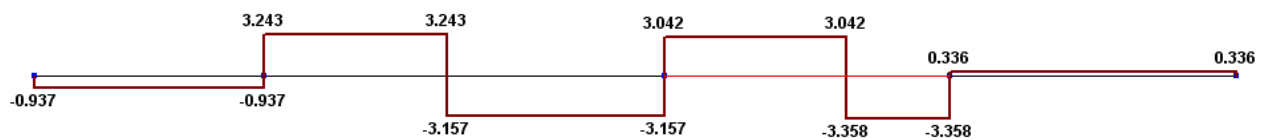


Fig. 2.32 Diagrama V para el 3er estado de cargas

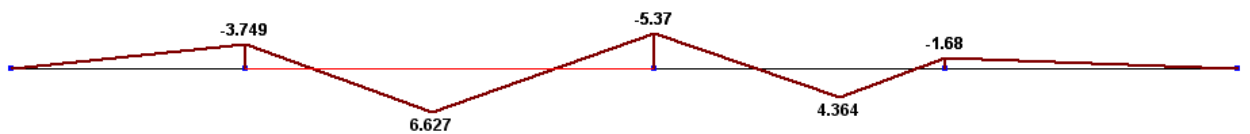


Fig. 2.33 Diagrama M para el 3er estado de cargas

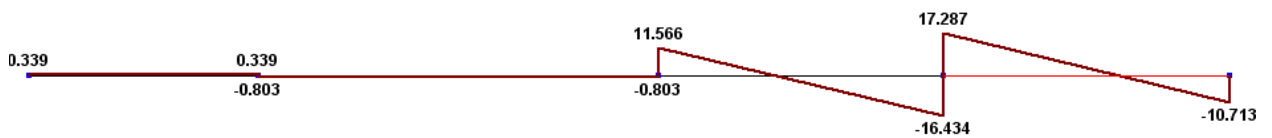


Fig. 2.34 Diagrama V para el 4to estado de cargas

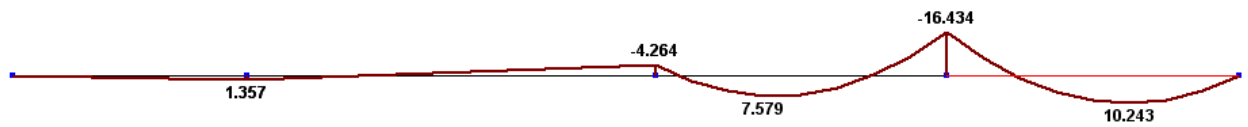


Fig. 2.35 Diagrama M para el 4to estado de cargas

En el caso que queramos observar todos los diagramas a un mismo tiempo en un tramo determinado hacemos clic en  y luego en el tramo que deseamos, por ejemplo el último tramo del 4to sistema de cargas, apareciendo sus características geométricas y de cargas. Luego, hacemos clic en DIAGRAMS y automáticamente aparecerá una ventana con los diagramas incluida la deflexión, tal como se muestra en la figura 2.36.

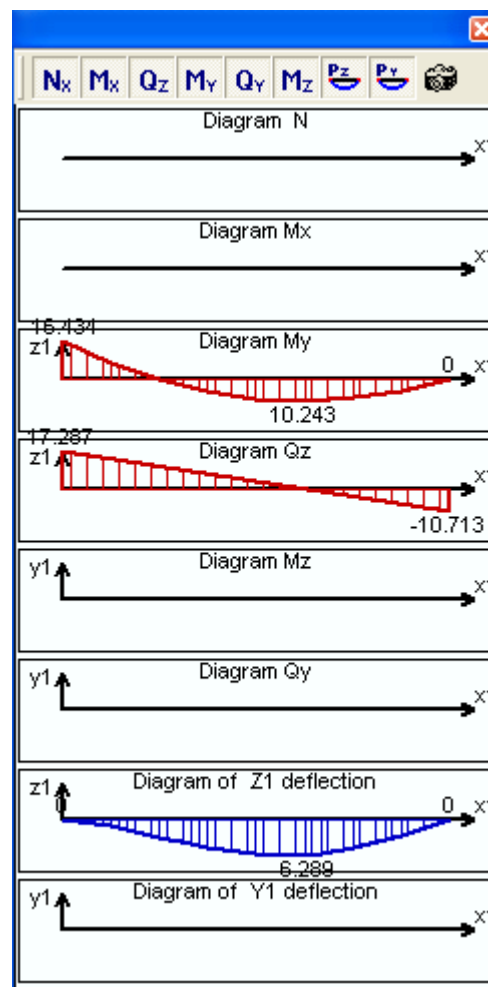


Fig. 2.36

CAPITULO 3

CALCULO ESTATICO DE PORTICOS PLANOS

PROBLEMA 3. Calcular el pórtico plano mostrado en la figura 3.1, cuyas secciones transversales son las mostradas en la figura 3.2,a para columnas y figura 3.2,b para vigas; sometido a los estados de carga de la figura 3.3. Se pide mostrar el diagrama de deformación del pórtico y los diagramas de fuerzas internas V y M .

Considere $E_c = 3.10^6 T / m^2$ para toda la estructura y las distancias para el 2do estado de carga de 0,5m hasta el inicio de la carga trapezoidal y 3,5m hasta el final de la acción de la misma.

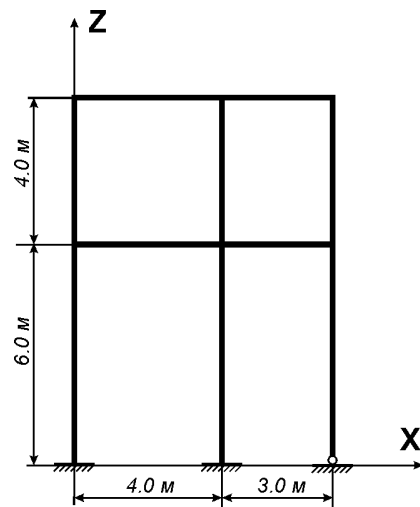


Fig. 3.1 Esquema del pórtico plano

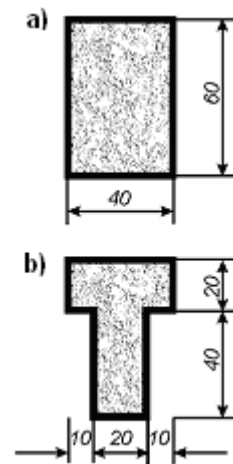
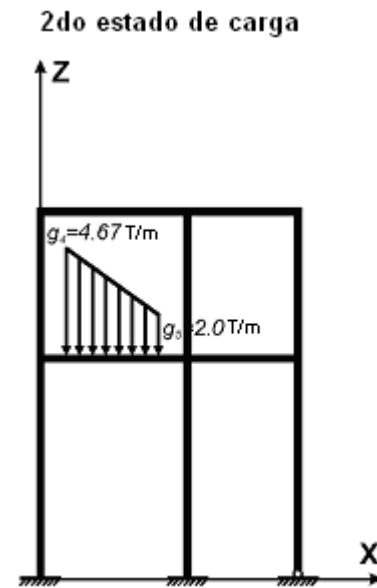
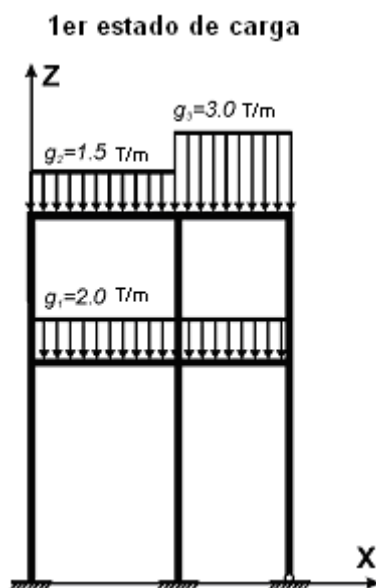


Fig. 3.2 Secciones transversales en cm



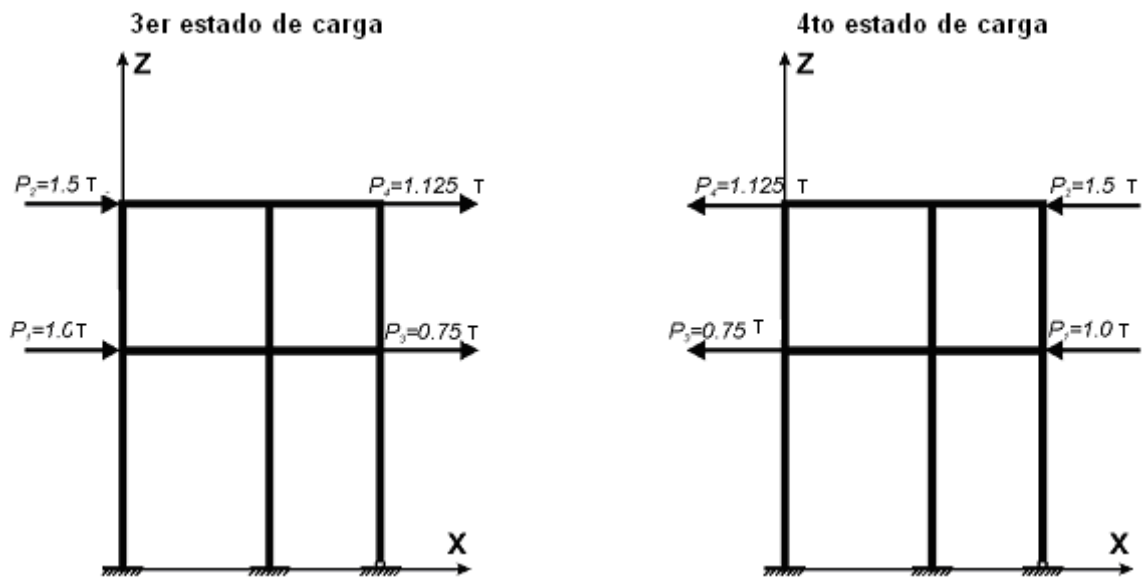


Fig. 3.3 Estados de cargas: 1er estado de carga (carga constante uniformemente distribuida), 2do estado de carga (carga viva de larga duración), 3er estado de carga (carga viva de viento a la izquierda de corta duración) y 4to estado de carga (carga viva de viento a la derecha de corta duración)

SOLUCION:

Iniciamos el problema escribiendo su nombre y la característica, así como los grados de libertad, que, en este caso, son tres (dos desplazamientos en OX y OZ y una rotación alrededor de OY). Para ello, elegimos el N° 2, tal como se muestra en la figura 3.4.

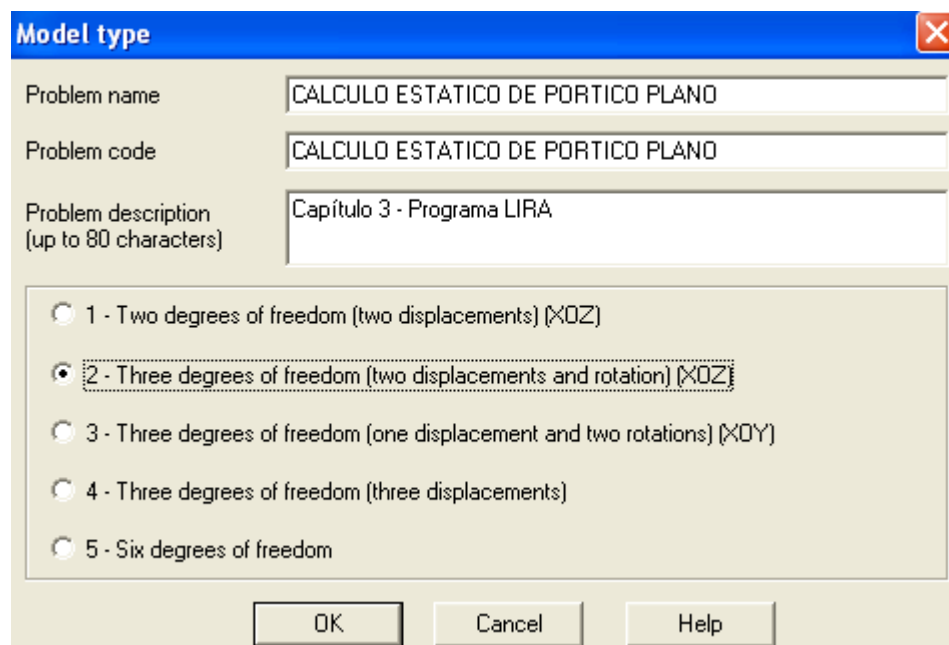
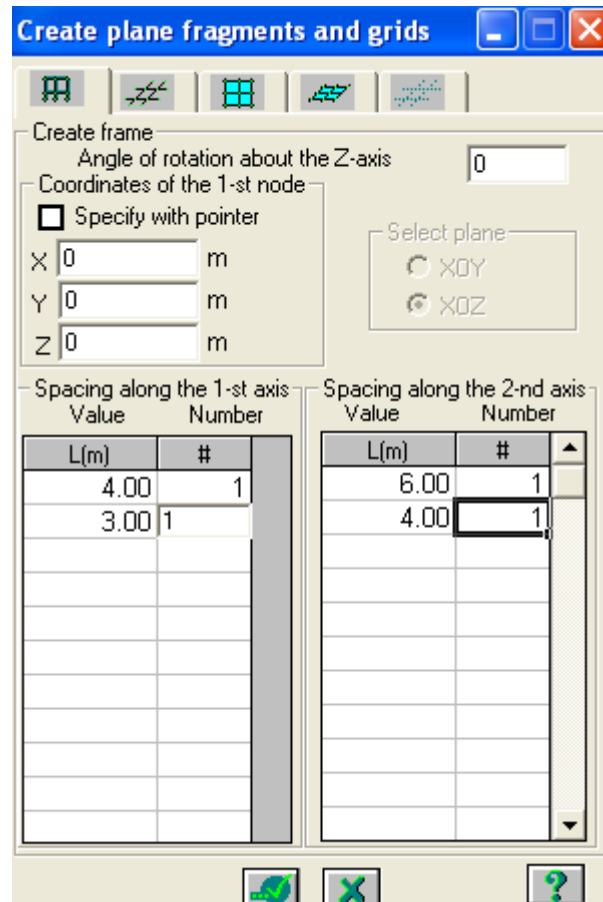


Fig. 3.4

Antes de iniciar el problema debemos de seleccionar las unidades de medida y de cargas, a través de la opción **OPTIONS** → **UNITS OF MEASUREMENT**, indicando las unidades iniciales (**INITIAL DATA**) y resultados del análisis (**ANALYSIS RESULTS**).

Luego, generamos el pórtico a través del icono  e ingresando las dimensiones del pórtico en la dirección horizontal, como en altura, tal como se muestra en la figura 3.5.



Create plane fragments and grids

Create frame
Angle of rotation about the Z-axis: 0

Coordinates of the 1-st node
☐ Specify with pointer
X: 0 m
Y: 0 m
Z: 0 m

Select plane
☐ XOY
☒ XOZ

Spacing along the 1-st axis

Value	Number
4.00	1
3.00	1

Spacing along the 2-nd axis

Value	Number
6.00	1
4.00	1

Fig. 3.5

Ahora, indicamos los números de los nudos, tal como se muestra en la figura 3.6, haciendo clic en ,  y .

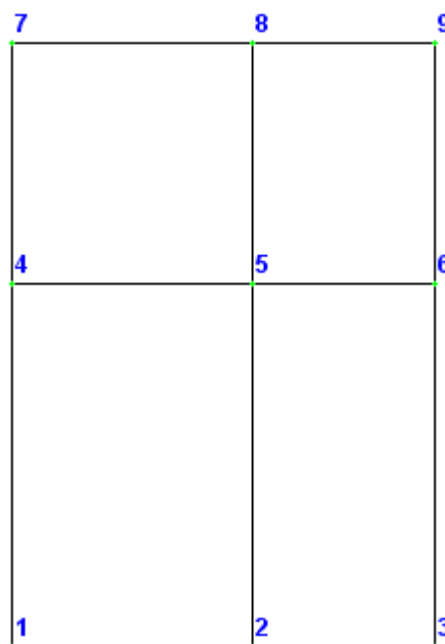


Fig. 3.6

Posteriormente, seleccionamos los nudos 1 y 2 e indicamos sus restricciones en sus apoyos, que en este caso por ser empotramiento, estarán restringidos en X, Z y giro en UY (figura 3.7) y para el apoyo 3 sólo estará restringido en X y Z.



Fig. 3.7

Ahora, seleccionamos las columnas, haciendo clic en , luego en SELECT → SELECT VERTICAL ELEMENTS y seleccionaremos comúnmente toda la estructura, apareciendo solamente las columnas (figura 3.8). Posteriormente ingresamos sus características geométricas, tal como se muestra en la figura 3.9. En forma análoga procedemos con las vigas, pero ahora seleccionamos los elementos horizontales, haciendo clic en , luego en SELECT → SELECT HORIZONTAL ELEMENTS y seleccionaremos toda la estructura, apareciendo solamente las vigas (figura 3.10) e ingresamos sus características geométricas, como se muestra en la figura 3.11, para luego aceptarlo en forma análoga a los casos anteriores, es decir, haciendo clic en  2. T-section 20 X 60 → Set as current type →  2. T-section 20 X 60 → Assign (figura 3.12), apareciendo las vigas de color negro, habiéndose aceptado exitosamente las secciones.

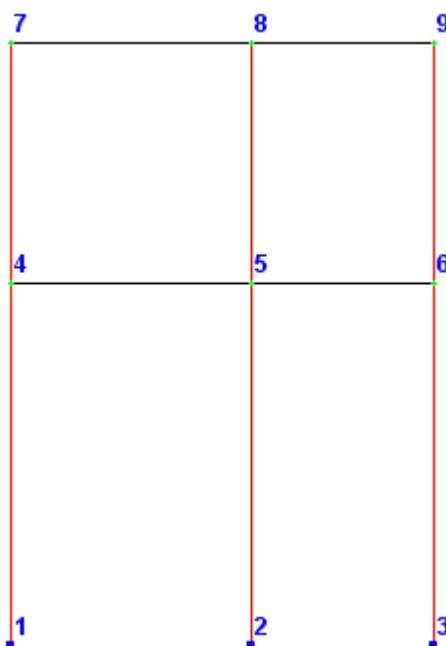


Fig. 3.8

Define standard section ✕

E t/m²

B cm

H cm

R_o t/m³

Including shear ☐

Parameters of elastic foundation

☒ Specify ☐ Calculate

C1 t/m³

C2 t/m

Nonlinear parameters ☐

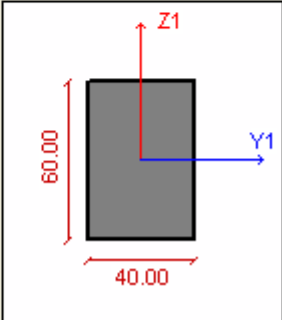


Fig. 3.9



Fig. 3.10

Define standard section

E t/m²

B cm

H cm

B1 cm

H1 cm

Ro t/m³

Including shear ☐

Parameters of elastic foundation
☒ Specify ☐ Calculate
 C1 t/m³
 C2 t/m

Nonlinear parameters ☐
 Material parameters
 Reinforcement parameters

OK
Cancel
Draw
Help

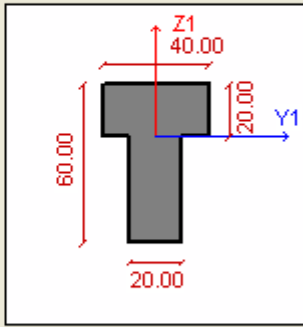


Fig. 3.11

Stiffness of elements

Assign to elements of the model
 Current stiffness type
☒ 2. T-section 20 X 60

Select Assign Cancel

List of stiffness types
☒ 1. Rect. bar 40 X 60
☒ 2. T-section 20 X 60

Set as current type

Display>> Change>>
 Copy Delete
 ? X Add<<

Standard types of sections

☒ I EE

Rect. bar T-section
 T-section I-Section
 Channel Box
 Ring Beam

Fig. 3.12

Ahora, indicaremos los números de los elementos, haciendo clic en ,  y , mostrándose como en la figura 3.13.

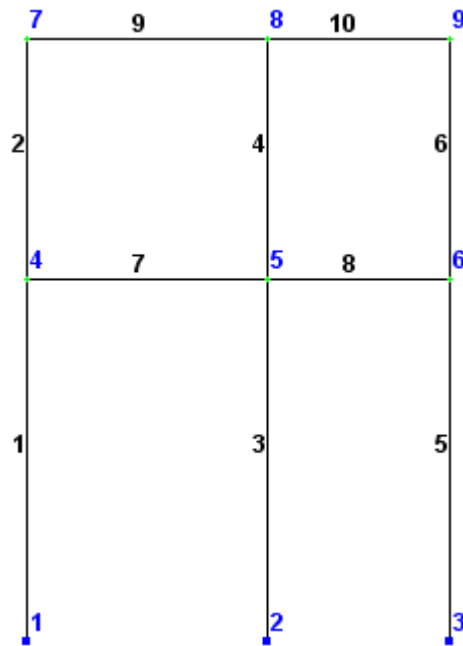


Fig. 3.13

En forma análoga a los problemas 1 y 2, cargamos la estructura tal como se muestra en las figuras 3.14 – 3.17, según sus estados de carga.

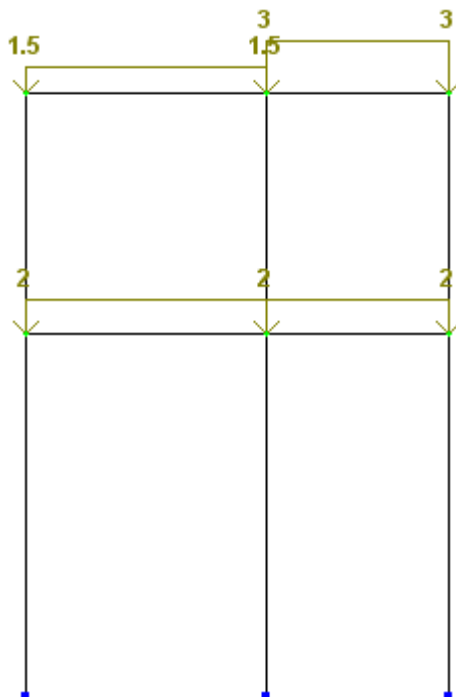


Fig. 3.14 1er estado de carga

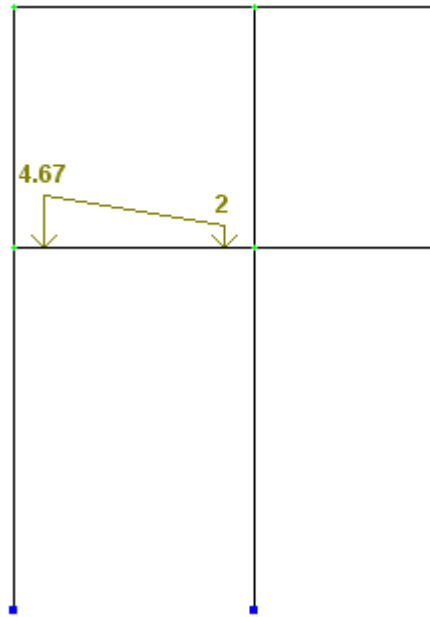


Fig. 3.15 2do estado de carga

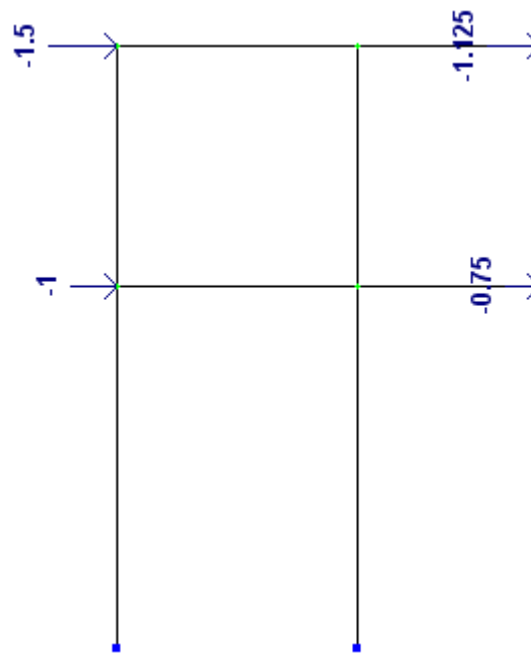


Fig. 3.16 3er estado de carga

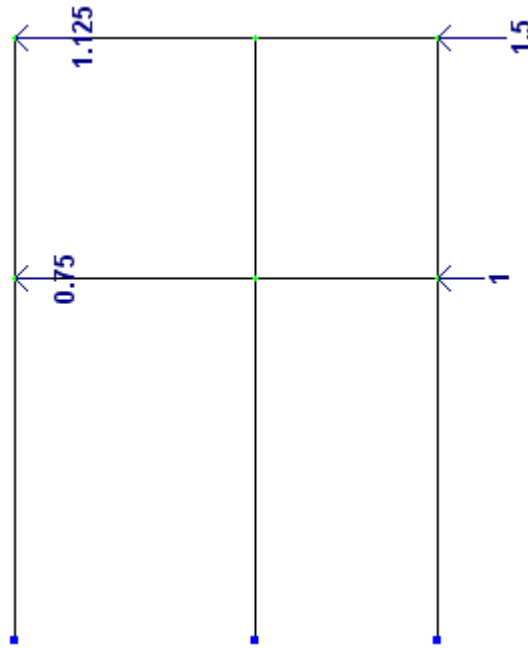


Fig. 3.17 4to estado de carga

Ahora, efectuamos las combinaciones de los estados de carga: 1er estado de carga (DEAD), 2do estado de carga (LIVE), 3er y 4to estados de carga (SHORT-TERM).

Design combinations of forces (DCF)

Loading #: 4

Loading name: Loading 4

Loading type: Short-term (2)

of the group of unified temporary loadings: 0

Account of sign variability: ☐

of the group of mutually exclusive loadings: 0

of the accompanying loadings: 0 0

Safety factor: 1.20

Duration coefficient: 0.35

Restrictions for cranes and brakes:

Crane ☐ Brake ☐

Coefficients for DCF

# of loading	1-st main combination	2-nd main combination	Special combination
1	1.00	1.00	0.90
2	1.00	0.95	0.80
3	1.00	0.90	0.50
4 ->	1.00	0.90	0.50

Summary table for DCF calculation:

Name #	DCF parameters	DCF coefficients
1 Loading 1	< 0 0 0 0 0 0 0 1.10 1.00 >	< 1.00 > < 1.00 > < 0.90 >
2 Loading 2	< 1 0 0 0 0 0 0 1.20 1.00 >	< 1.00 > < 0.95 > < 0.80 >
3 Loading 3	< 2 0 0 0 0 0 0 1.20 0.35 >	< 1.00 > < 0.90 > < 0.50 >
4 Loading 4	< 2 0 0 0 0 0 0 1.20 0.35 >	< 1.00 > < 0.90 > < 0.50 >

Fig. 3.18 Combinaciones de los estados de carga

Para darle mayor exactitud a los resultados, dividimos las vigas en 7 partes iguales, seleccionando las vigas y haciendo clic en , luego en  ($n>1$) y escribimos el número 7 (figura 3.19), apareciendo automáticamente todas las vigas divididas en 7 partes iguales (figura 3.20).



Fig. 3.19

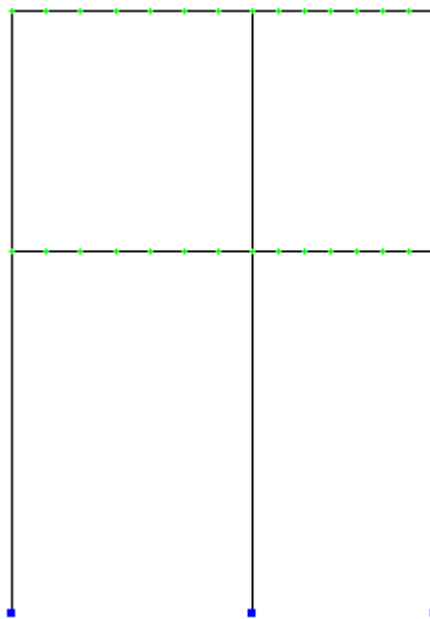


Fig. 3.20

Finalmente, corremos el programa y obtenemos los resultados requeridos que se muestran en las figuras 3.21 – 3.25.

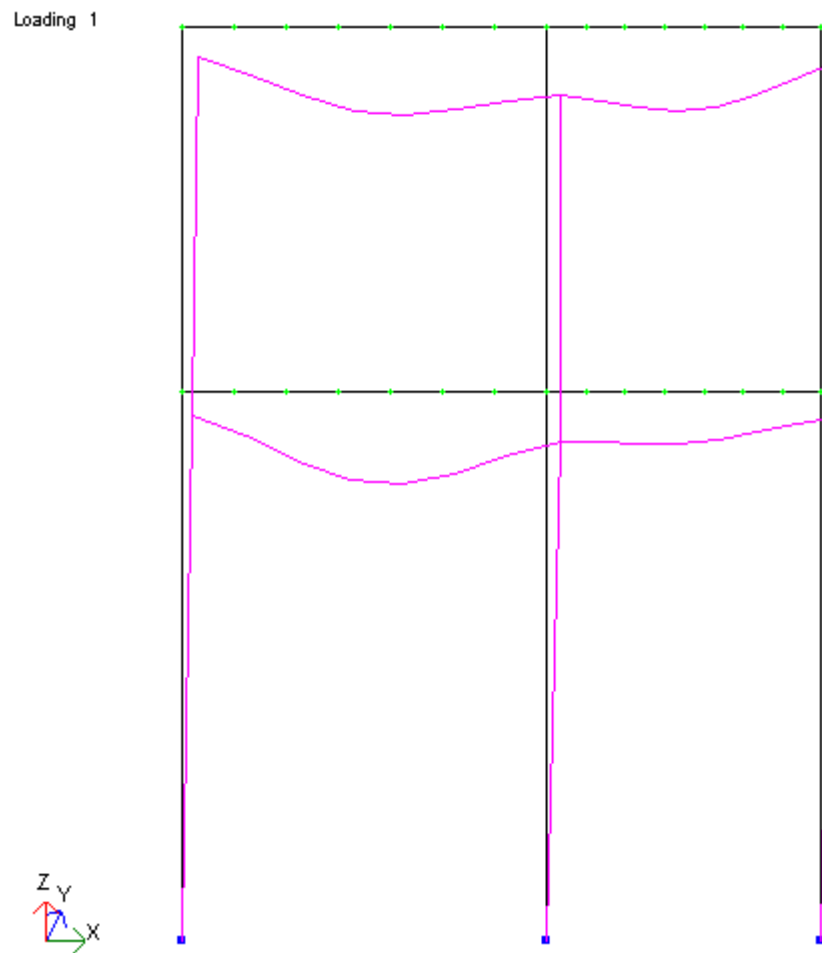


Fig. 3.21 Esquema inicial y final deformado del pórtico según el 1er estado de cargas

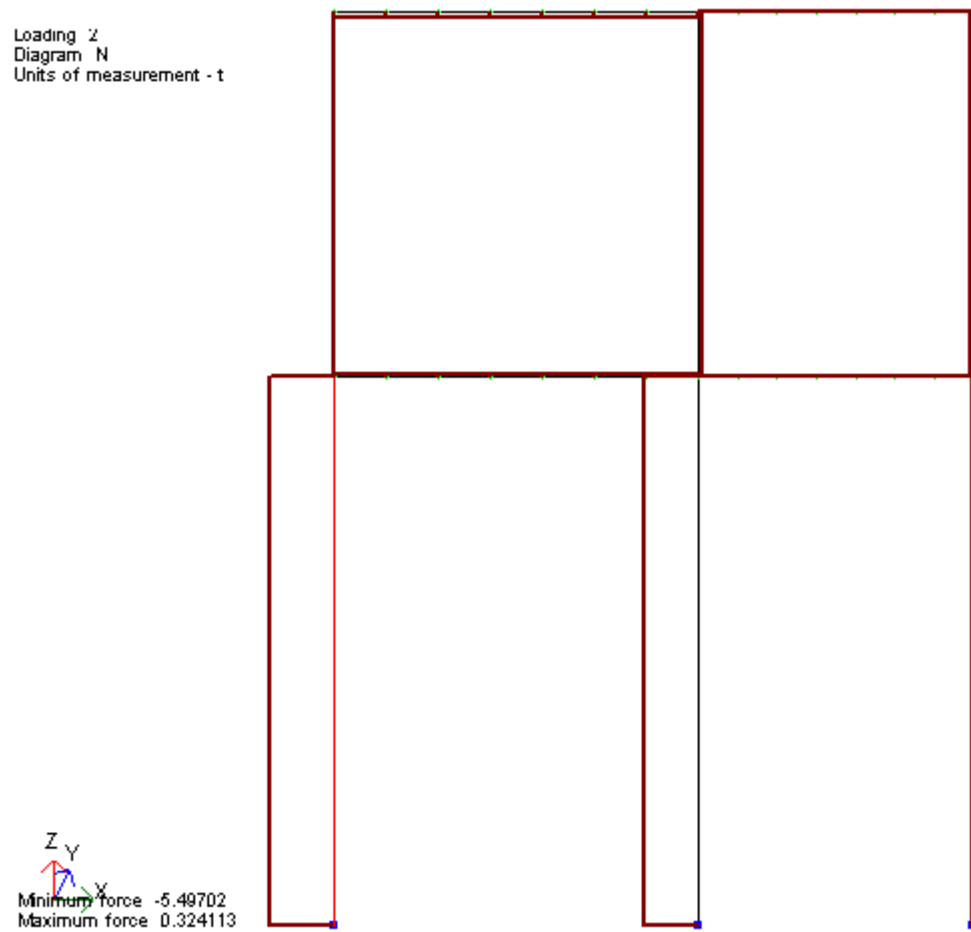


Fig. 3.22 Diagrama de fuerza axial o normal N según el 2do estado de cargas

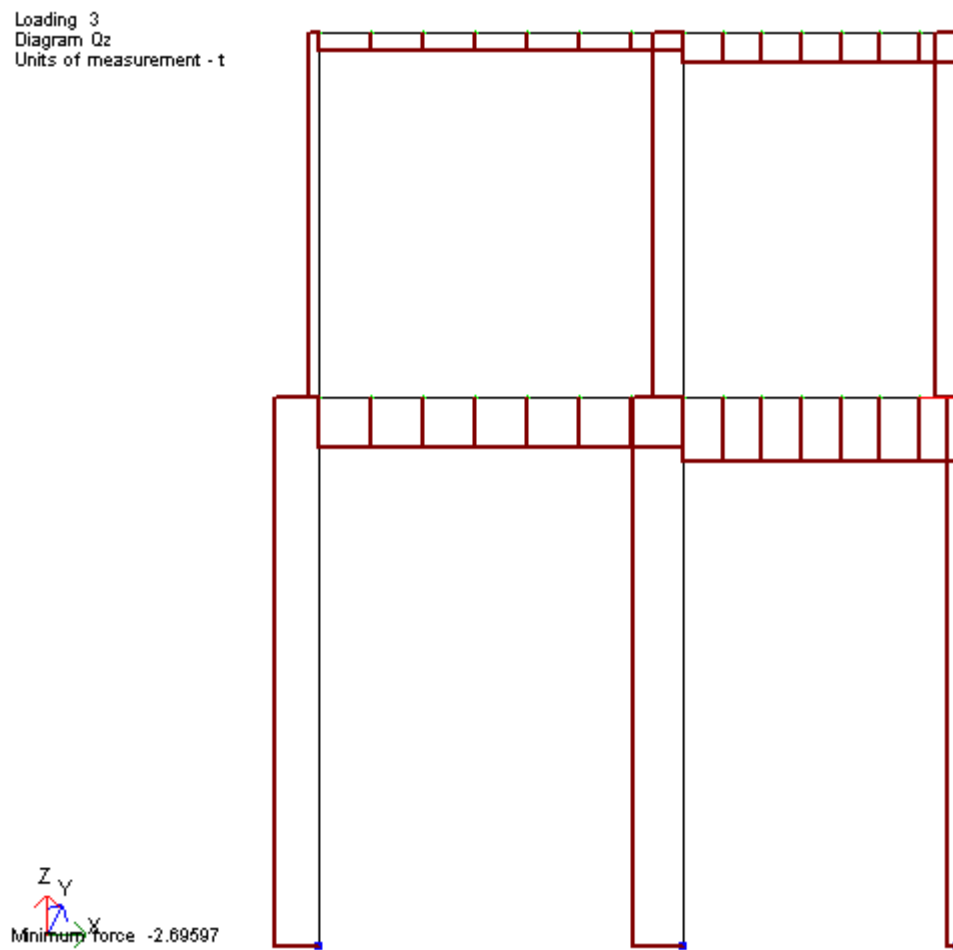


Fig. 3.23 Diagrama de fuerza cortante V según el 3er estado de cargas

Loading 4
Diagram My
Units of measurement - t*m

Minimum force -6.98484
Maximum force 5.89412

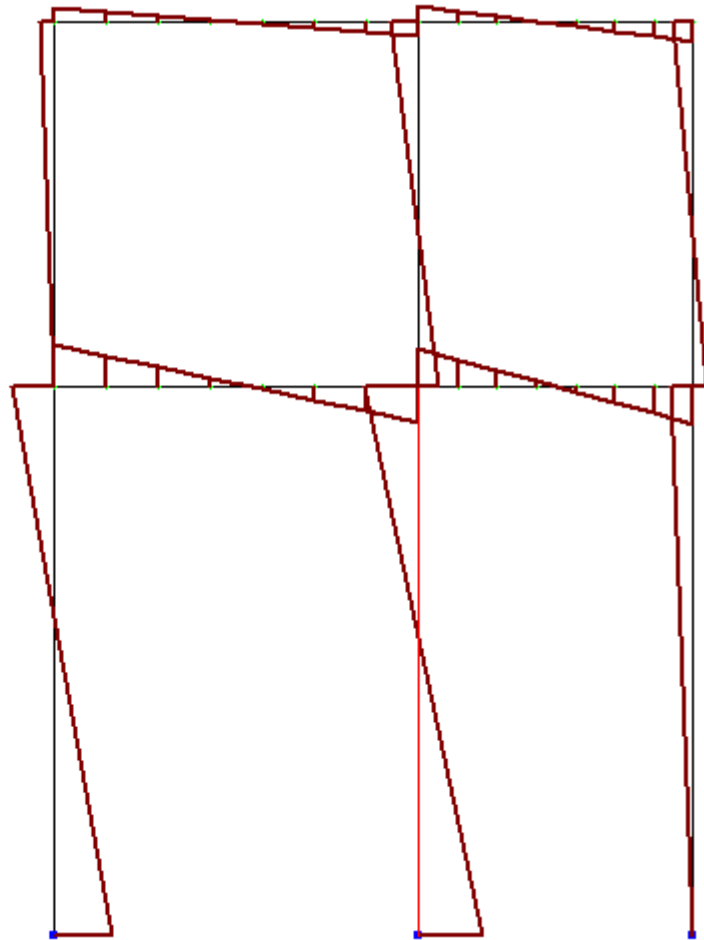


Fig. 3.24 Diagrama de momento flector M según el 4to estado de cargas



Loading 1
Mosaic plot Qz
Units of measurement - t

Minimum force -6.98484
Maximum force 5.89412

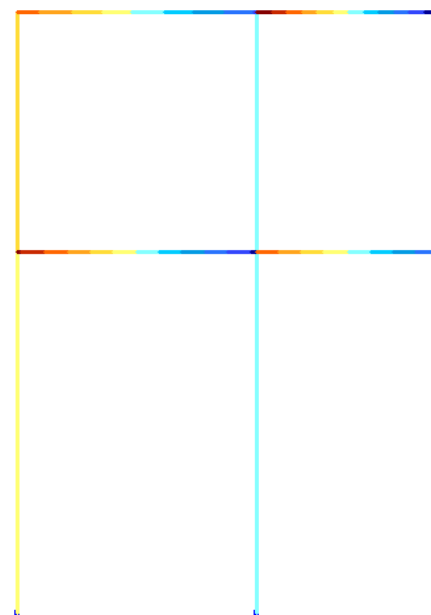


Fig. 3.25 Diagrama de aislneas tipo mosaico de la fuerza cortante V según el 2do estado de cargas

CAPITULO 4

CALCULO DINAMICO DE PORTICOS PLANOS

PROBLEMA 4. Calcular el pórtico plano del problema 3, pero sin división de las vigas en 7 partes, ni el 4to estado de cargas; si está sometido a la acción sísmica y pulsación del viento.

SOLUCION:

Iniciamos el problema, efectuando en forma análoga al anterior, pero sin el 4to estado de cargas.

CARACTERISTICAS PARA EL CALCULO ANTE LA PULSACION DEL VIENTO

1. FORMACION DE LA TABLA DE CONSIDERACION DE LOS ESTADOS DE CARGA ESTATICA

Hacemos clic en LOADS → DYNAMICS → ACCOUNT OF STATIC LOADINGS e ingresamos el número de la carga dinámica, número de la carga estática correspondiente y el factor de conversión, presionando OK para ambos casos (1er y 2do estados de cargas), mostrándose la ventana de la figura 4.1.

Create dynamic loadings from the static ones

Dynamic loading # OK

of corresponding static loading Delete

Conversion factor

Summary table:

Dyn.I.#	St.I.#	Fact.
4	1	1
4	2	1

Close
Cancel
Help

Fig. 4.1

2. FORMACION DE LA TABLA DE LAS CARGAS DINAMICAS

Hacemos clic en LOADS → DYNAMICS → TABLE OF DYNAMIC LOADINGS e ingresamos el efecto de pulsación de viento, es decir, el número de estado de carga (4), característica número 1, tipo de carga dinámica (pulsación) (21), número de modos libres de vibración (3), número de carga estática correspondiente (3) y hacemos clic en PARAMETERS, llenando la información de la figura 4.2, como la zona 2, ancho de la estructura donde está golpeando el viento (0,5m), longitud de la edificación a lo largo de la dirección del viento (7m), tipo de sitio (B) y el resto se asume por defecto.

Posteriormente, aparecerá una ventana como la de la figura 4.3 y hacemos clic en OK para aceptar.

Wind analysis parameters with pulsation

Correction factor: 1

Model height orientation: ☐ along X ☐ along Y ☒ along Z

Distance between the ground level and the zero level of the model: 0 , m

Coordinate of the zero level of the model: 0 , m

Wind region of the site (Table. 5 SNIP 2.01.07 - 85): Zone 2

Width of structure across the surface of wind action: 0.5 , m

Length of structure along wind action: 7 , m

Site type (according to SNIP 2.01.07 - 85): Type B

Type of structure: TZ = 0

Logarithmic decrement of vibration: DCR = 0.3 (R/C structures)

Orientation of the surface exposed to the wind in the design model: COR = 1 (Wind along the X-axis)

OK Cancel Help

Fig. 4.2

Table of dynamic loadings

Loading #: 4 OK Close

Parameters row #: 1 Delete Cancel

Dynamic loading type: Pulsation (21) Help

Number of analysed mode shapes: 3

of corresponding static loading: 3

Solve eigenvalue problem: ☐ Parameters

Print results:

- ☐ Forms of natural vibrations
- ☐ Inertial forces
- ☒ Forms of natural vibrations and inertial forces

Summary table of dynamic analysis:

1	< 21	3	3	0.3	>	1.00	3	0.00	0.00	2	0.50	7.00	2	0	0.30	1	>
2																	

Fig. 4.3

CARACTERISTICAS PARA EL CALCULO SISMICO

1. FORMACION DE LA TABLA DE CONSIDERACION DE LOS ESTADOS DE CARGA ESTATICA
Efectuamos en forma análoga a la parte anterior, tal como se muestra en la figura 4.4.

Create dynamic loadings from the static ones

Dynamic loading # OK

of corresponding static loading Delete

Conversion factor

Summary table:

Dyn.I.#	St.I.#	Fact.
4	1	1
4	2	1
5	1	1
5	2	1

Close

Cancel

Help

Fig. 4.4

2. FORMACION DE LA TABLA DE LAS CARGAS DINAMICAS

Efectuamos en forma análoga al caso de pulsación del viento, pero ahora ingresamos como estado de carga (5), parámetro 2, tipo de carga dinámica – Norma Sísmica Rusa del 01.01.2000 (35), número de modos libres de vibración (5).

Earthquake analysis parameters

Correction factor for earthquake loads

Model height orientation ☐ along X ☐ along Y ☒ along Z

Distance between the ground level and the zero level of the model , m

Type of structure

Soil category (according to SNIP II-7-81)

Seismicity of the site

Coefficients from tables SNIP II-7-81 (with amendments of 01.01.2000)

Table 3:

Table 6:

Direction cosines of earthquake load resultant in global system

CX CY CZ $CX^2 + CY^2 + CZ^2 = 1$

OK Cancel Help

Fig. 4.5

Table of dynamic loadings

Loading # OK Close

Parameters row # Delete Cancel

Dynamic loading type Help

Number of analysed mode shapes

of corresponding static loading

Solve eigenvalue problem ☐ Parameters

Print results

☐ Forms of natural vibrations
☐ Inertial forces
☒ Forms of natural vibrations and inertial forces

Summary table of dynamic analysis:

1	< 21	3	3	0	3	> < 1.00	3	0.00	0.00	2	0.50	7.00	2	0	0.30	1	>
2	< 35	5	0	0	3	> < 1.00	3	0.00	1	2	9	0.120	1.00	1.0000	0.0000	0.0000	>
3																	

Fig. 4.6

Design combinations of forces (DCF)

Loading # OK Close

Loading name Default... Cancel

Loading type Help

of the group of unified temporary loadings

Account of sign variability ☒

of the group of mutually exclusive loadings

of the accompanying loadings

Safety factor

Duration coefficient

Restrictions for cranes and brakes

Crane ☐ Brake ☐

Coefficients for DCF

1	2	3	Column ## of DCF coef.
# of loading	1-st main combination	2-nd main combination	Special combination
1	1.00	1.00	0.90
2	1.00	0.95	0.80
3	1.00	0.90	0.50
4	0.00	0.00	0.00
5 ->	0.00	0.00	1.00

Summary table for DCF calculation:

Name	#	DCF parameters	DCF coefficients
1 Loading	1	< 0 0 0 0 0 0 0 1.10 1.00	> < 1.00 > < 1.00 > < 0.90 >
2 Loading	2	< 1 0 0 0 0 0 0 1.20 1.00	> < 1.00 > < 0.95 > < 0.80 >
3 Loading	3	< 2 0 0 0 0 0 0 1.20 0.35	> < 1.00 > < 0.90 > < 0.50 >
4 Loading	4	< 9 0 0 0 0 0 0 0.00 0.00	> < 0.00 > < 0.00 > < 0.00 >
5 Loading	5	< 5 0 1 0 0 0 0 1.00 0.00	> < 0.00 > < 0.00 > < 1.00 >

Fig. 4.7

En seguida, hacemos clic en PARAMETERS para ingresar la información adicional requerida, como el tipo de estructura CIVIL, categoría de suelo S2 (tipo intermedio), sismicidad del lugar (grado 9) y la dirección del sismo en la dirección OX (figura 4.5).

Posteriormente, regresamos a la ventana de la figura 4.6 y aceptamos.

Finalmente, generamos la tabla de combinaciones de estados de carga, tal como se muestra en la figura 4.7, quedando de esta manera el problema listo para correrlo y visualizar los resultados.

En las figuras 4.8 y 4.9 se muestran el 2do y 3er modos de vibración libre, para lo cual será necesario hacer clic en , donde se elige el estado de carga y el modo de vibración, para luego hacer clic en  y se visualizará la estructura inicial y deformada para el 5to estado de carga sísmica.

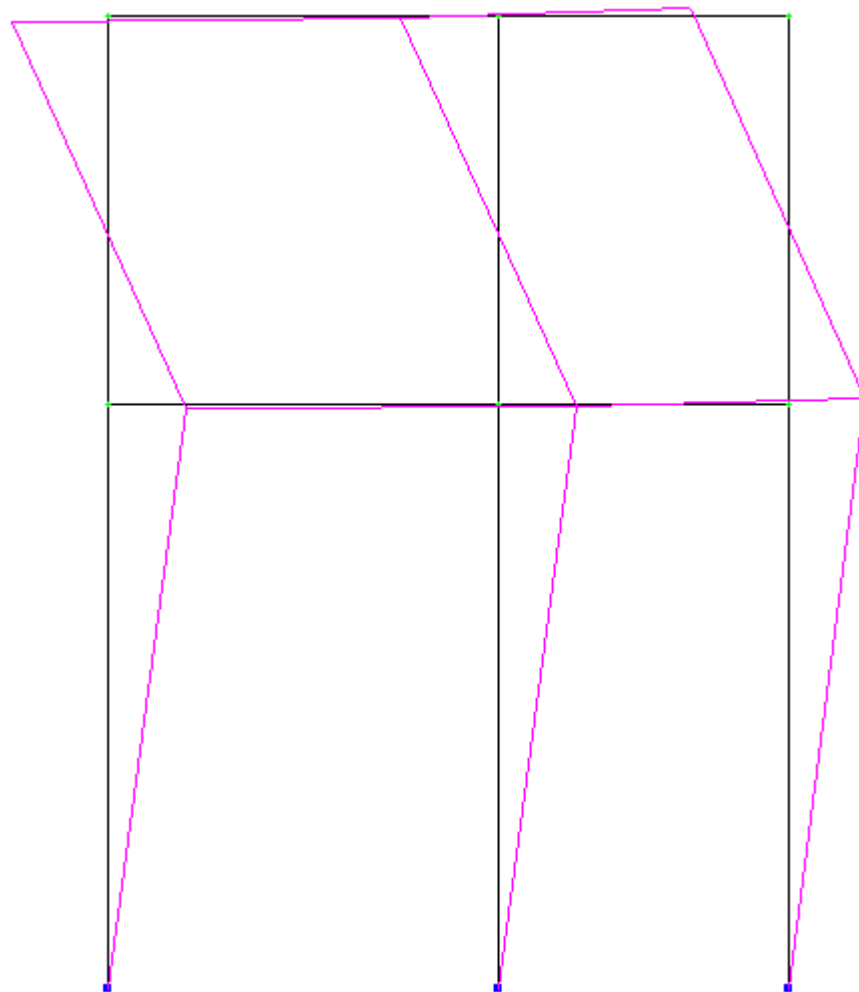


Fig. 4.8 2do modo de vibración para la carga sísmica

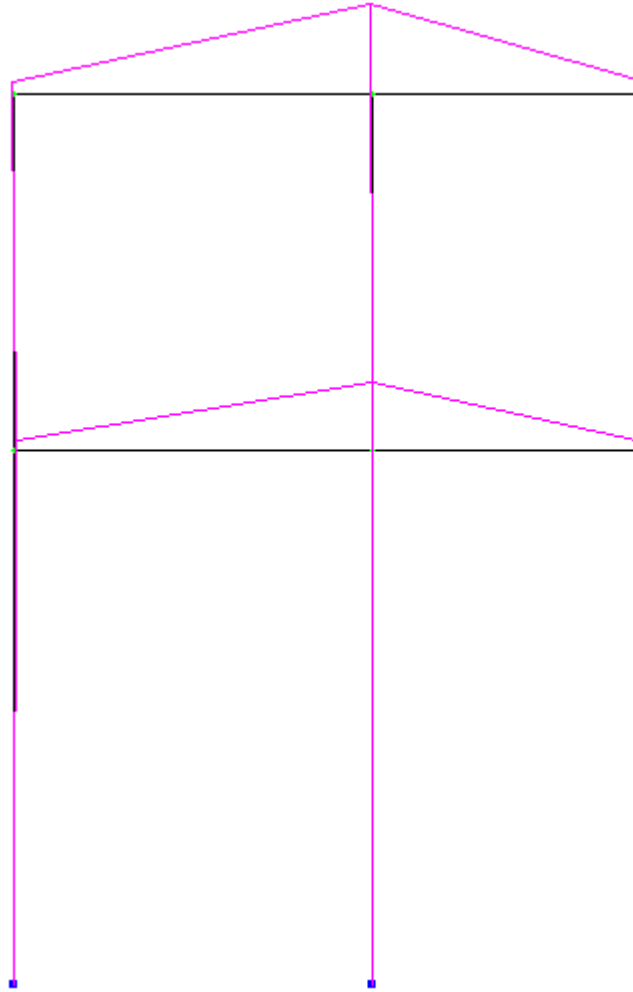


Fig. 4.9 3er modo de vibración para la carga sísmica

Si queremos ver la animación, hacemos clic en VIEW → 3D MODEL → .

Si deseamos ver los períodos y frecuencias, hacemos clic derecho, luego en INTERACTIVE TABLES, apareciendo la ventana de la figura 4.10, que en este caso seleccionamos FRECUENCIES, generándose la ventana de la figura 4.11.

En caso se requieran ver o importar a excel o documento otra información, como fuerzas inerciales, distribución de pesos o masas y otros, se hará el mismo proceso indicado anteriormente.

Para observar los resultados de fuerzas axiales o normales N, fuerza cortante V y momento flector M para cualquier estado de carga, se efectuará en forma análoga a los casos mostrados en los problemas 1, 2 y 3, que en el caso específico del efecto sísmico se elegirá el tipo o modo de vibración requerido.

Form editor ✕

- Nodes
- Elements
- Properties
- Nodal loads
- Local loads
- Displacements
- Forces (bars)
- Forces (plates)
- Forces (solids)
- Forces (spec. elem.)
- Frequencies**
- Mode shapes
- Inertia
- Weights of masses
- DCF (bars)
- DCF (plates)
- DCF (solids)
- Stability
- Stability factor
- Effective lengths factors
- LITERA
- Fragment

Table - on the screen

Create new form

Delete form

Save list of forms

Help

Cancel

Fig. 4.10

load.#	mode #	Eigenvalues	Frequencies		Period (s)	Distrib.coef.	Modal mass (%)	Modal mass sum (%)
			Circle freq. (1/s)	Frequency (Hz)				
4	1	0.047	21.246	3.381	0.296	0.000	0.000	0.000
4	2	0.011	88.392	14.068	0.071	0.000	0.000	0.000
4	3	0.004	248.936	39.619	0.025	0.000	0.000	0.000
5	1	0.047	21.246	3.381	0.296	1.141	98.443	98.443
5	2	0.011	88.392	14.068	0.071	0.141	1.556	99.999
5	3	0.004	248.936	39.619	0.025	0.000	0.000	99.999
5	4	0.003	304.262	48.425	0.021	-0.004	0.000	100.000
5	5	0.003	364.768	58.055	0.017	0.004	0.000	100.000

Fig. 4.11

CAPITULO 5

NO-LINEALIDAD ESTRUCTURAL

El procesador no-lineal del programa LIRA, está programado para resolver problemas no-lineales físicos y geométricos, así como problemas de contacto.

En los problemas lineales existe la proporcionalidad directa entre las cargas y desplazamientos, como consecuencia de la poca deformación; así como entre los esfuerzos (fuerzas internas) y las deformaciones, en concordancia con la Ley de Hooke. Por ello, para los problemas lineales, se puede aplicar el principio de superposición e independencia de la acción de cargas.

En los problemas físico no-lineales, no existe la dependencia lineal entre los esfuerzos y las deformaciones. El material estructural trabaja por medio de una ley de deformación no-lineal. La ley de deformación puede ser simétrica o antisimétrica con diferentes límites de resistencia a la tracción y compresión.

En los problemas geométricos no-lineales, no existe la dependencia lineal entre la deformación y los desplazamientos. En la práctica, tiene su aplicación en el caso de estructuras con grandes desplazamientos y pocas deformaciones.

En la no-linealidad constructiva, se analiza el caso del cambio del esquema de cálculo, conforme se va deformando la estructura. Esto quiere decir, que se puede ir simulando el proceso de montaje estructural o construcción por etapas, que se acerca más a la realidad.

Para resolver tales tipos de problemas, el procesador no-lineal del programa LIRA, organiza su proceso por la Metodología de los Pasos, lo cual garantiza la solución de un sistema linearizado de ecuaciones en cada paso, para la correspondiente variación del vector de cargas, programado para un estado de cargas específico.

Para resolver los problemas de no-linealidad constructiva, el programa LIRA utiliza el Método Iterativo de Pasos.

El procesador no-lineal permite obtener el estado esfuerzo-deformación para estructuras monomateriales o bimateriales, como es el caso específico del concreto armado.

Para resolver los problemas no-lineales, será necesario indicar la cantidad de pasos y coeficientes de cargas. El esquema puede contener varios estados de cargas, los cuales se pueden dar en forma historial indicando la secuencia de acción de las mismas.

5.1 NO-LINEALIDAD FISICA

La modelación física no-lineal de los materiales, se realiza con ayuda de los elementos finitos físico no-lineales, ingresando la información de una biblioteca avanzada de leyes de deformación de los materiales (dependencia $\sigma - \varepsilon$). La gran biblioteca de leyes de deformación, prácticamente permite considerar cualquier propiedad física no-lineal del material. Esta biblioteca es abierta y se puede ingresar otras propiedades no-lineales requeridas.

El Procesador de Pasos nos permite obtener el estado esfuerzo-deformación, considerando los efectos no-lineales, tanto para las estructuras monomateriales, como para las estructuras bimateriales. Para este último tipo de estructuras, se permite el ingreso de las características del segundo tipo de material (acero estructural), ofreciéndose una amplia biblioteca de propiedades.

Asimismo, la biblioteca de elementos finitos físico no-lineales, contiene elementos que nos permiten modelar de un solo lado, el trabajo del cuerpo sólido y el medio externo – suelo en compresión con desplazamiento por el esquema de deformación plana en concordancia con la Ley de Coulomb.

La matriz de rigidez linearizada física no-lineal del sistema, se forma en base a las integrales de rigidez variable, calculada en los puntos de integración del elemento finito, durante el cálculo elástico en el paso específico. El esquema de la integración numérica en la región del elemento finito y la elección de las rigideces utilizadas se determinan por el tipo de elemento finito. Para poder obtener la correspondiente elección de las integrales de rigidez, la sección del elemento finito en los puntos de integración se divide en una serie de subsectores elementales. En los centros de estos subsectores, se determinan los nuevos valores físico-mecánicos de las características del material, en concordancia con el diagrama de deformación dado. En cada paso se resuelve el problema linearizado conformando los vectores de desplazamiento, fuerzas internas y nuevas integrales de rigidez por el módulo tangencial para el paso siguiente. La cantidad de pasos y coeficientes de carga los da el usuario. La interpretación geométrica del método de los pasos para el caso de tracción (compresión) central se muestra en la figura 5.1.

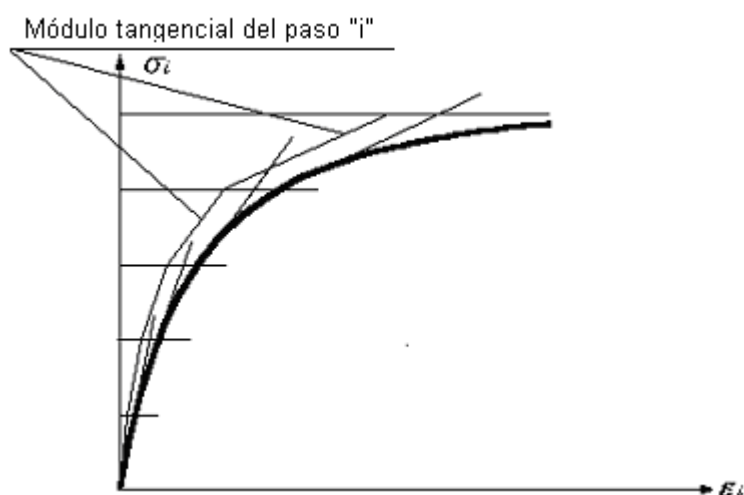


Fig. 5.1

El procesador de pasos permite combinar elementos lineales y no-lineales del sistema estructural. También se permite el cálculo por esquemas de superelementos, siempre y cuando los elementos no-lineales existan solamente en el esquema principal.

En cada paso se analiza el estado esfuerzo-deformación. En el punto de los resultados de cálculo “Estado de los materiales” se da la información acerca del avance u obtención de los estados límites, surgimiento de las rótulas plásticas o estado de destrucción.

Para los elementos finitos de barras, se analiza el estado esfuerzo-deformación de las secciones transversales de la barra en los puntos de su división. El estado esfuerzo-deformación en los elementos finitos planos y volumétricos (sólido), se analiza el punto central del elemento.

La biblioteca de elementos finitos físico no-lineales, permite efectuar el análisis de estructuras, conformado por diversos elementos finitos, considerando la no-linealidad física del material.

PROBLEMA 5. Para el problema del capítulo 3, eliminar su 4to estado de carga y realizar el cálculo de no-linealidad física, debiendo de:

- Mostrar el procedimiento de inclusión de los parámetros, que caracterizan el comportamiento no-lineal del concreto armado en el proceso de cargas.
- Demostrar la técnica del proceso de pasos de la solución del problema.

SOLUCION:

Eliminamos el 4to estado de carga y grabamos el problema con otro nombre, por ejemplo CAPITULO 5 (NL Física).

PARAMETROS DE CÁLCULO PARA LA NO-LINEALIDAD FISICA

Hacemos clic en  y analizamos el caso de las columnas, haciendo clic en el tipo de sección y luego en **Change>>**, para cambiar sus características a través de NONLINEAR PARAMETERS (figura 5.2) y luego en MATERIAL PARAMETERS (figura 5.3), debiendo de ingresar las propiedades no-lineales del material principal, en este caso el concreto, como es el caso de la ley de deformación no-lineal, clase y tipo de concreto, dibujándolo a través de DRAW.

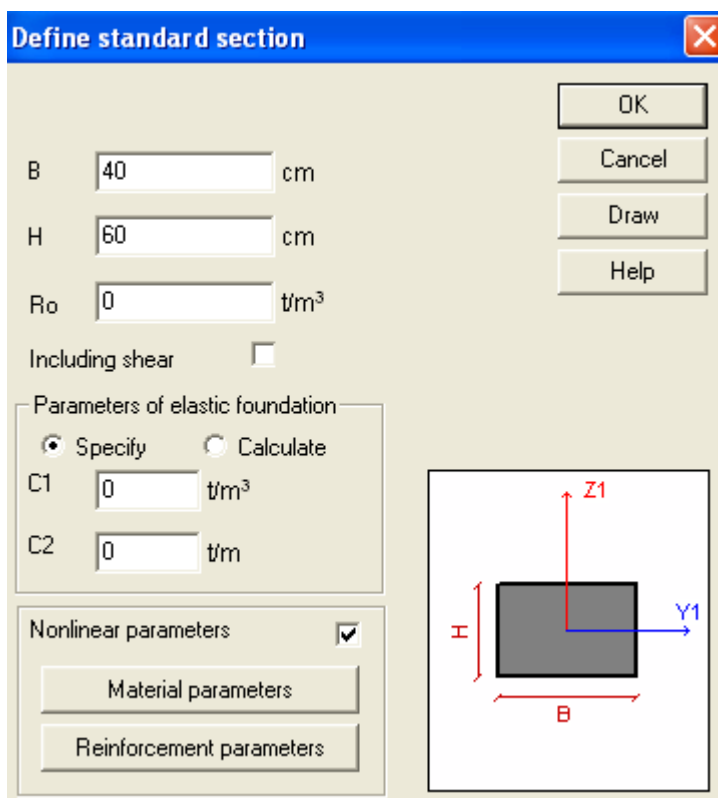


Fig. 5.2 Ingreso de parámetros no-lineales

Ahora, debemos de ingresar la información de las características físico no-lineales del acero estructural, haciendo clic en REINFORCEMENT e ingresando la ley de deformación no-lineal y luego las características del material, como son su módulo de elasticidad y esfuerzo en tracción y compresión (figura 5.4), haciendo clic en OK y retornando a la ventana anterior (figura 5.2).

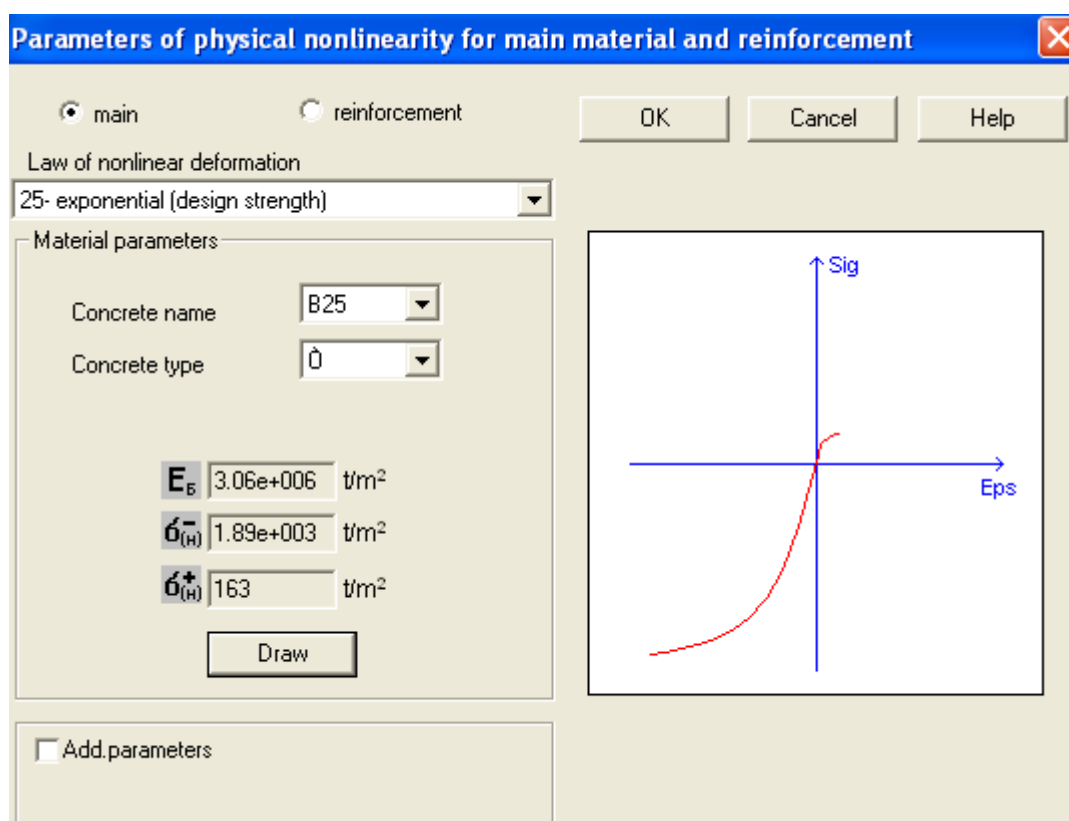


Fig. 5.3 Características del concreto

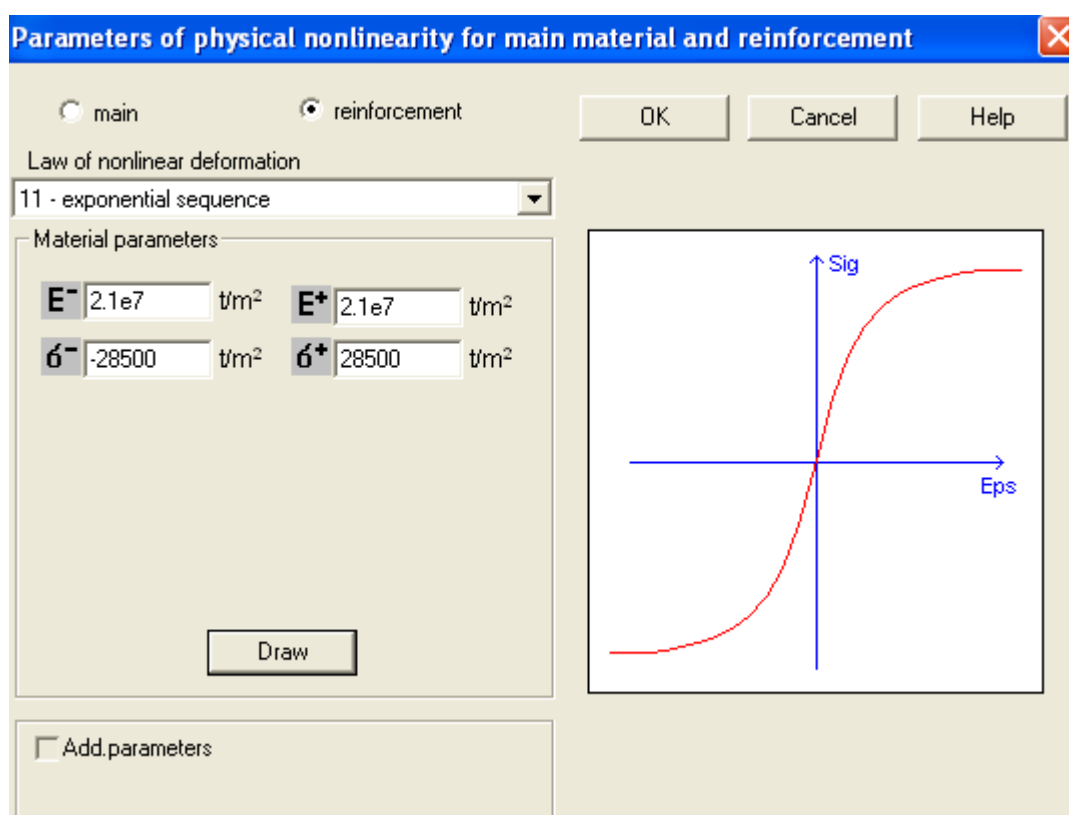


Fig. 5.4 Características del acero estructural

Posteriormente, ingresaremos los parámetros del acero, haciendo clic en **Reinforcement parameters**, apareciendo la ventana de las “Características físico no-lineales de las barras” (figura 5.5), eligiendo el reforzamiento por puntos (POINT REINFORCEMENT) y como tipo de división de la sección transversal (TYPE OF CROSS-SECTION DIVISION) e ingresando las siguientes características (áreas de sección transversal y coordenadas y, z):

Acero N° 1:	$F_a = 2,22\text{cm}^2$;	$y = 17\text{cm}$;	$z = 3\text{cm}$
Acero N° 2:	$F_a = 2,22\text{cm}^2$;	$y = 17\text{cm}$;	$z = 57\text{cm}$
Acero N° 3:	$F_a = 2,01\text{cm}^2$;	$y = -17\text{cm}$;	$z = 3\text{cm}$
Acero N° 4:	$F_a = 2,01\text{cm}^2$;	$y = -17\text{cm}$;	$z = 57\text{cm}$
Acero N° 5:	$F_a = 1,13\text{cm}^2$;	$y = 17\text{cm}$;	$z = 30\text{cm}$
Acero N° 6:	$F_a = 1,13\text{cm}^2$;	$y = -17\text{cm}$;	$z = 30\text{cm}$

En cada caso, se puede dibujar con DRAW y se pasa a la siguiente barra, quedando como se muestra en la figura 5.5, para luego hacer clic en OK y otra vez OK.

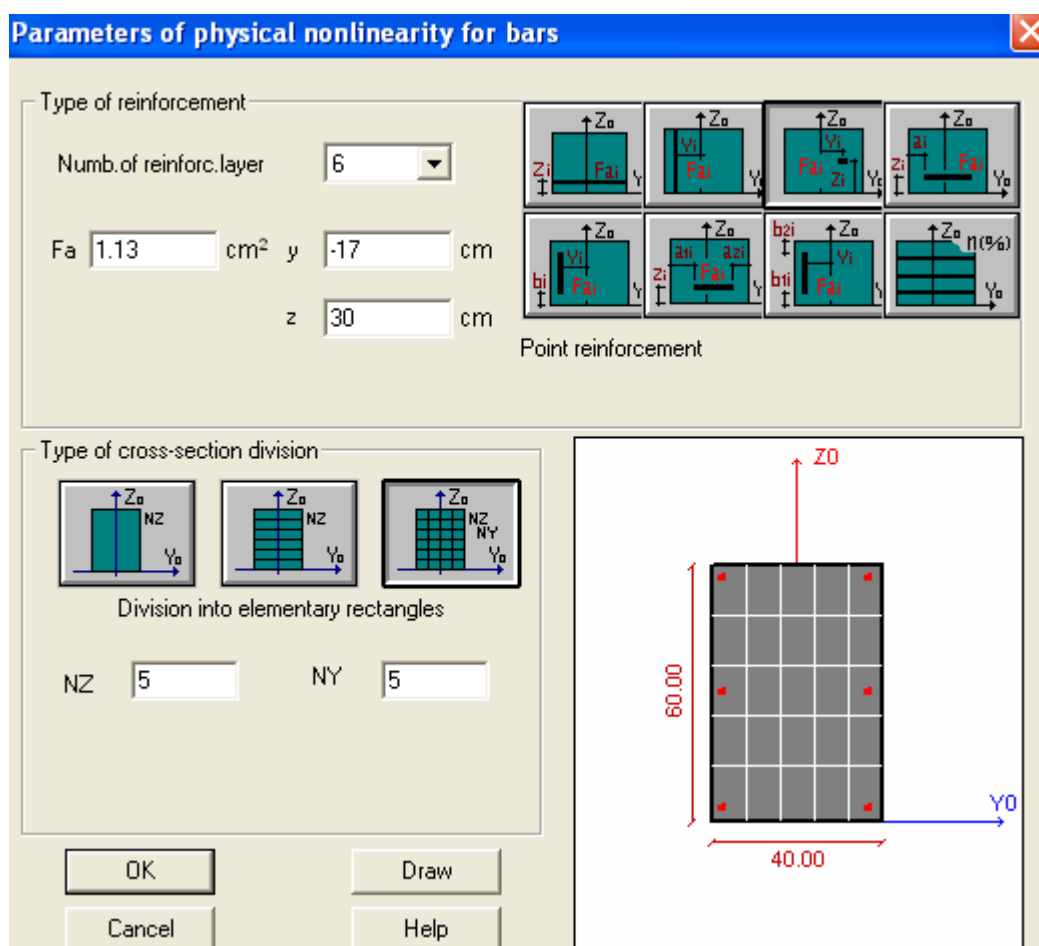


Fig. 5.5 Características de cada barra de acero en columnas

En forma análoga procedemos para analizar las vigas, efectuando lo mismo para el concreto y acero (figuras 5.3 y 5.4). Para el caso del refuerzo de las barras de acero ingresamos la siguiente información:

Acero N° 1:	$F_a = 1,36\text{cm}^2$;	$y = -7\text{cm}$;	$z = 3\text{cm}$
-------------	---------------------------	---------------------	------------------

Acero N° 2:	$F_a = 1,36\text{cm}^2$;	$y = 7\text{cm}$;	$z = 3\text{cm}$
Acero N° 3:	$F_a = 2,58\text{cm}^2$;	$y = -17\text{cm}$;	$z = 57\text{cm}$
Acero N° 4:	$F_a = 2,58\text{cm}^2$;	$y = 17\text{cm}$;	$z = 57\text{cm}$

Fig. 5.6 Características de cada barra de acero en vigas

Ahora, seleccionamos todos los elementos del pórtico a través del icono , en forma análoga a los problemas anteriores y cambiamos el tipo de elementos finitos haciendo clic en  y seleccionamos el elemento finito "FE TYPE 210 – PHYSICALLY NONLINEAR ARBITRARY 3D BAR", aceptándolo con .

MODELACION NO-LINEAL DE CARGAS

Para efectuar la modelación del 1er estado de cargas, hacemos clic en LOADS → MODEL NONLINEAR LOADINGS, ingresando la siguiente información:

Número del estado de carga – 1

Método de cálculo - Paso simple (STEP) 1

Impresión de resultados - Desplazamiento y fuerzas después de cada paso

Número de pasos – 7

Características de cargas por la metodología de los pasos – 0,3 0,2 0,1 0,1 0,1 0,1 0,1

Finalmente, aceptamos y pasamos al siguiente estado de cargas.

Para el 2do estado de cargas ingresamos la siguiente información:

Número del estado de carga – 2

Consideración de la historia previa (ACCOUNT OF PREVIOUS LOADINGS)

Método de cálculo - Paso simple (STEP) 1

Impresión de resultados - Desplazamiento y fuerzas después de cada paso

Número de pasos – 10

Características de cargas por la metodología de los pasos – 0,1 0,1 0,1 0,1 0,1 0,1 0,1 0,1 0,1 0,1

Otra vez aceptamos y pasamos al 3er estado de cargas, para el cual ingresamos la misma información que para el 2do estado de cargas.

Toda la información se muestra en la figura 5.7, quedando de esta manera el problema listo para poder correrlo por el programa.

Model nonlinear loadings of the structure

Loading # OK Close

Account of previous loadings ☒ Delete Cancel

Analysis method Help

Print results

Maximum number of iterations Number of steps

Values of load factors for steps

☐ Read from file

☒ Input and edit

Summary coefficient Precision Initial step

Summary table of nonlinear loadings:

1	1	7	3	300	0	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	1	10	3	300	1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3	1	10	3	300	1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Fig. 5.7 Modelación no-lineal de las cargas

Ahora, analizamos los resultados, los cuales se muestran en las figuras 5.8 al 5.10, siendo sus valores un poco altos, debido a que actúan los 3 estados de carga combinados y que tanto el concreto, como el acero trabajan hasta el proceso de rotura.

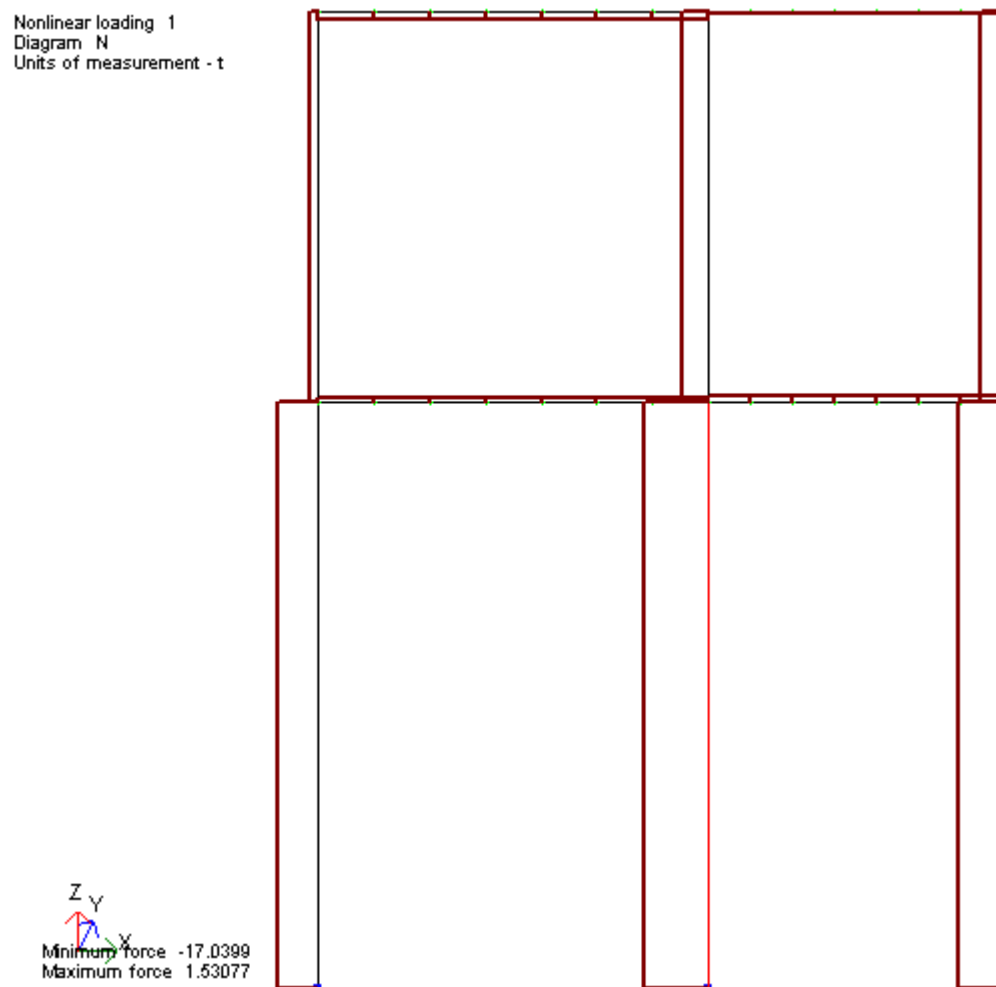


Fig. 5.8 Fuerza axial o normal N para el 1er estado de carga por el análisis físico no-lineal

Nonlinear loading 1
Diagram Qz
Units of measurement - t

Z Y
Minimum force -9.4992
Maximum force 8.50578

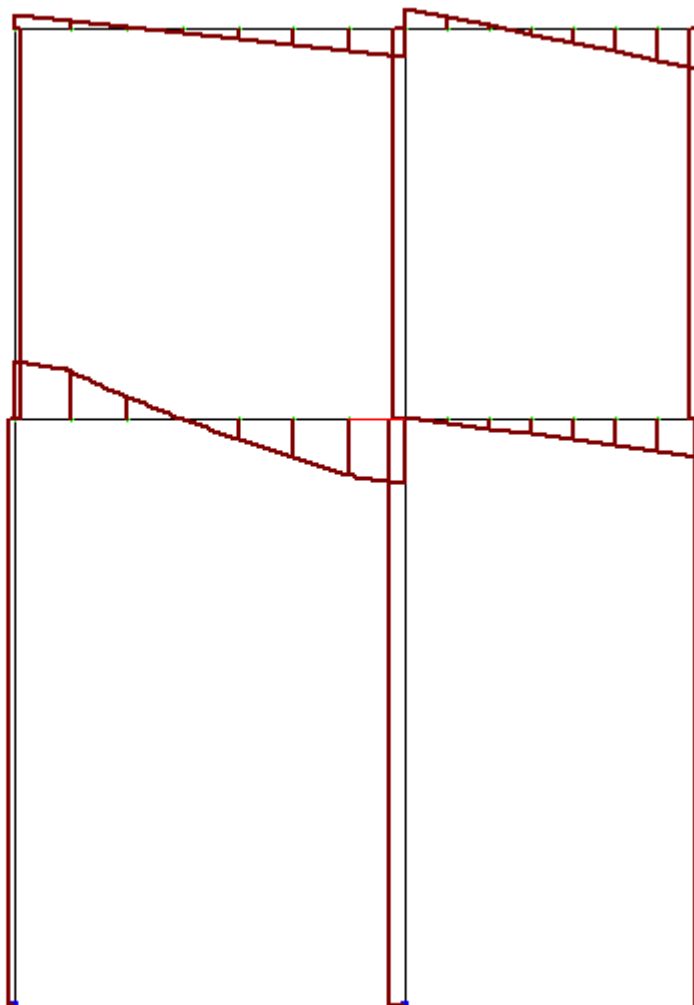


Fig. 5.9 Fuerza cortante V para el 1er estado de cargas por el análisis físico no-lineal

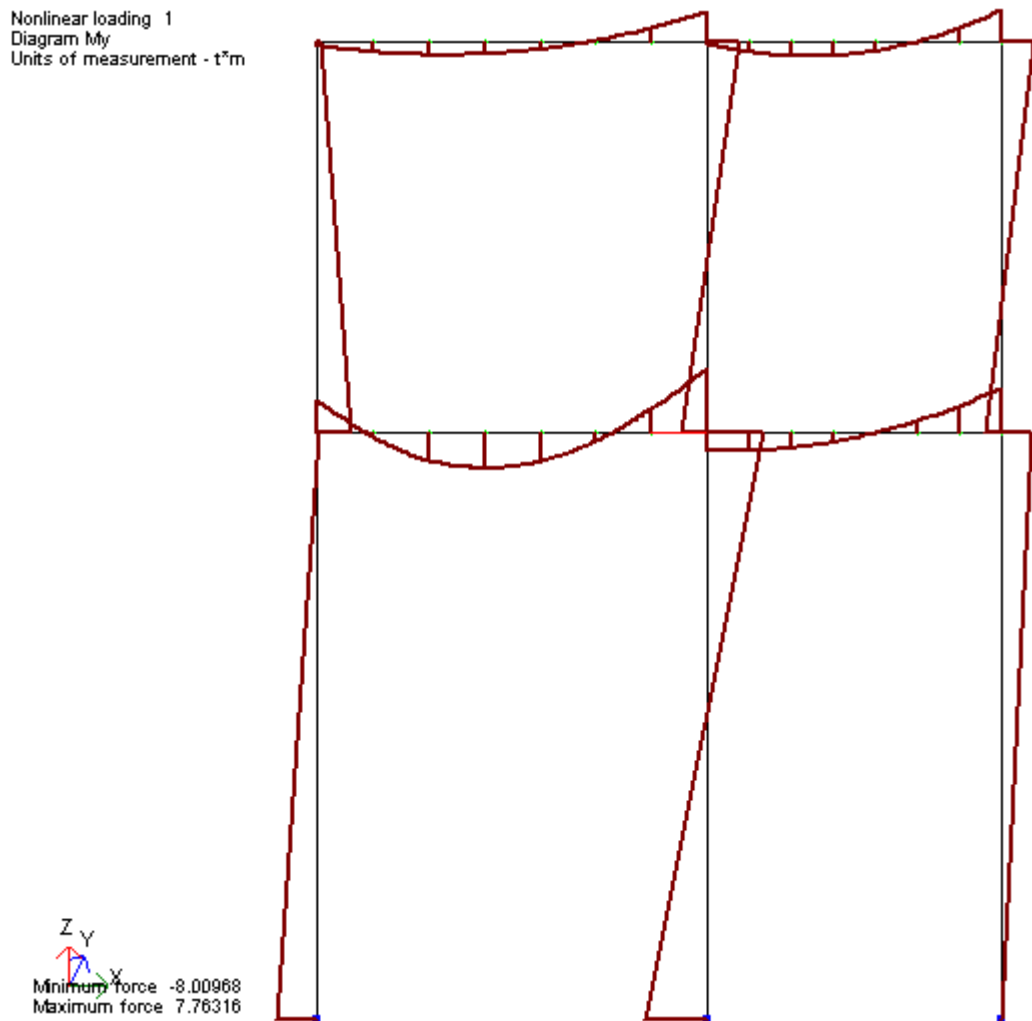


Fig. 5.10 Momento flector M para el 1er estado de cargas por el análisis físico no-lineal

Ahora, analizaremos la secuencia de fallas en la estructura, debido a la secuencia de cargas. Como se podrá apreciar en la figura 5.11, se muestra a la estructura sometida al 1er estado de carga, correspondiente al 5to paso, donde hay flexión, pero aún no hay fallas estructurales.

En la figura 5.12 se muestra el 7mo paso, correspondiente al 2do estado de cargas, donde se puede apreciar las fallas en una de las vigas del 1er piso, pero aún no llega al colapso.

La figura 5.13 corresponde al 9no paso del 3er estado de cargas, donde se puede apreciar que la viga que falló en la figura 5.12 ya colapsó y la columna central y las otras vigas empezaron a fallar.

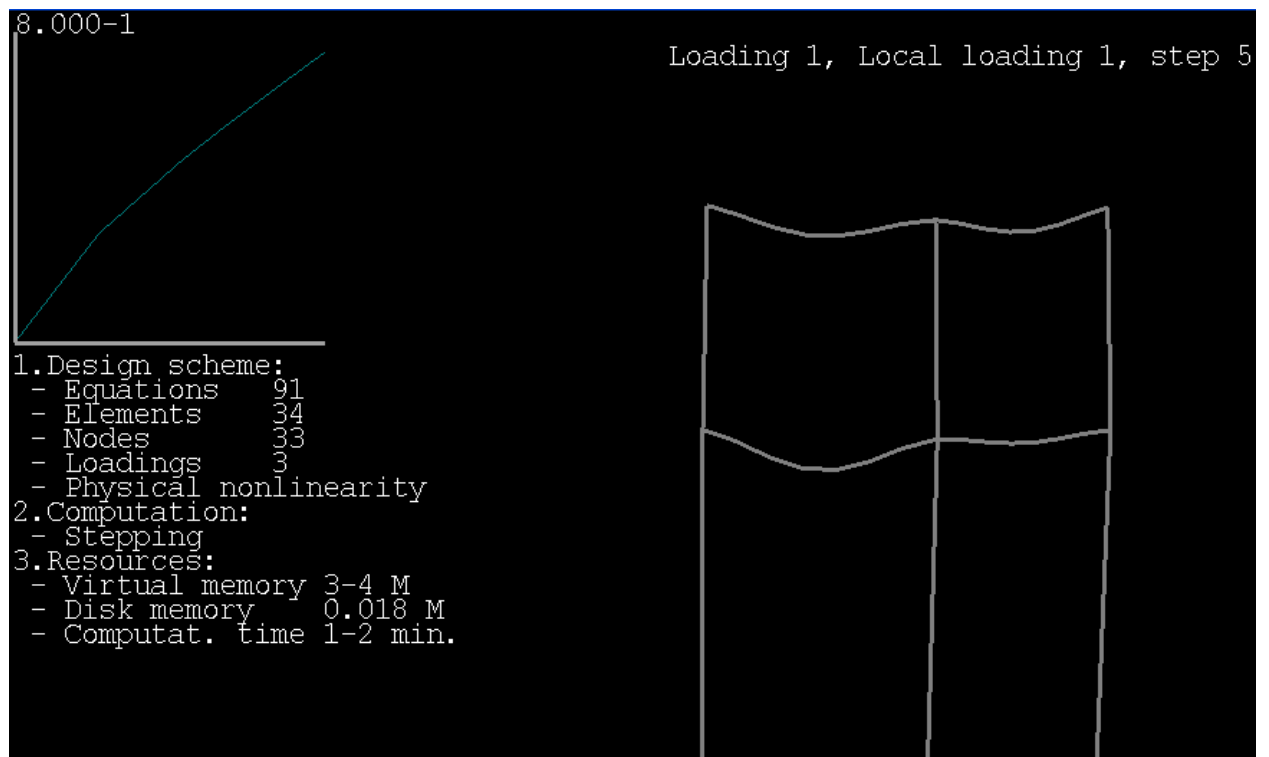


Fig. 5.11 5to paso del 1er estado de cargas

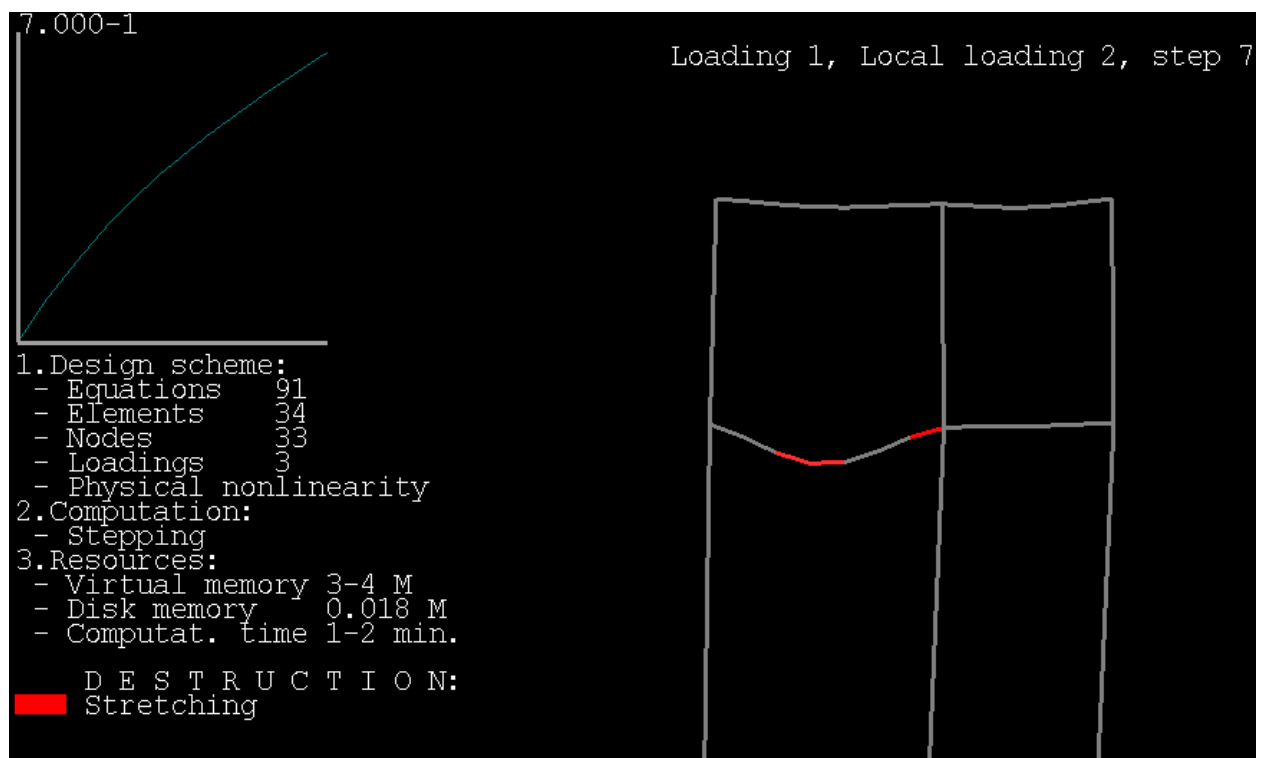


Fig. 5.12 7mo paso del 2do estado de cargas

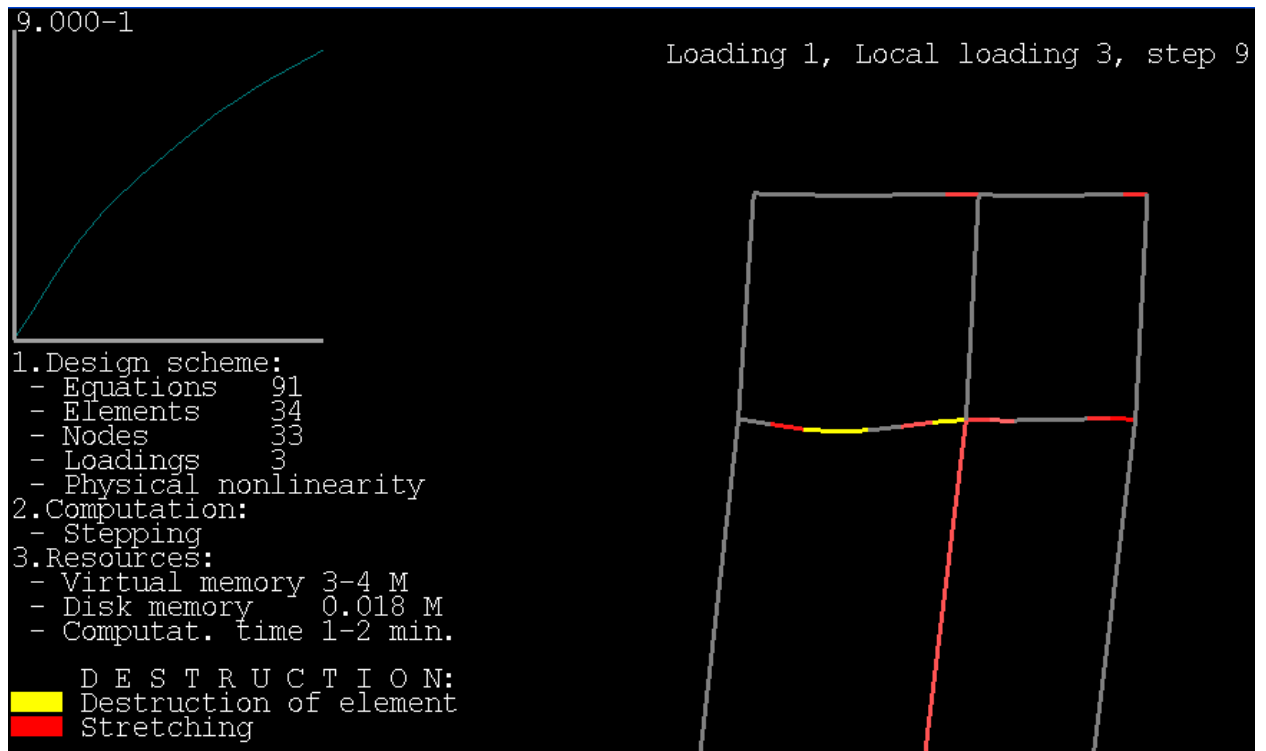


Fig. 5.13 9no paso del 3er estado de cargas

En caso se desee analizar el estado del material en porcentajes de destrucción por pasos, se debe de cerrar el problema y hacemos clic en , seleccionando el estado del material, eligiendo previamente el tipo de análisis, que en este caso es STEP-TYPE, el nombre del archivo y **Results**, para luego seleccionar el tipo de archivo requerido del estado del material, que tiene la extensión (*.13.*) y aparecerá automáticamente los porcentajes de destrucción en cada paso y en cada elemento que está fallando.

5.2 NO-LINEALIDAD GEOMETRICA

La modelación geométrica no-lineal se realiza con ayuda de los elementos finitos, que consideran la variación de la geometría de la estructura y el trabajo membranal del grupo de esfuerzos (fuerzas internas) en los nuevos desplazamientos, lo cual permite calcular estructuras tipo membrana y tirantes.

Para el cálculo de estructuras geométrica no-lineales, se considera que se cumple la Ley de Hooke. En cada paso, sucede la consideración membranal del grupo de fuerzas (para barras – la fuerza axial o normal) durante la construcción de la matriz de rigidez.

Para resolver problemas geométrico no-lineales se puede elegir automáticamente el número de pasos de las cargas. Esto se hace con la intención que el 1er paso sea bastante pequeño, lo cual es necesario para estructuras tipo cables parabólicos.

PROBLEMA 6. Efectuar el análisis geométrico no-lineal de un pilar de concreto para un puente atirantado. El pilar está empotrado en su base, de una altura de 60m y de sección transversal constante de 1,5m x 1,5m. En el extremo superior del pilar actúan 2 fuerzas, una vertical $P = 500T$ y otra horizontal $H = 5T$ (hacia la derecha).

Iniciamos el problema, así como en los casos anteriores, escribiendo su nombre e indicando los grados de libertad del mismo (figura 5.14).

Fig. 5.14

Fig. 5.15

Luego, ingresamos la longitud de 60m, pero dividida en 1m cada tramo (figura 5.15), de tal manera que tengamos una máxima aproximación al cálculo real.

Posteriormente, seleccionamos el nudo 1 e ingresamos sus restricciones en X, Z y UY (figura 5.16). Inmediatamente, indicamos las características físicas del material usado y las dimensiones de las secciones transversales del pilar (figura 5.17), seleccionando previamente todos los elementos y aceptando las características indicadas.



Fig. 5.16

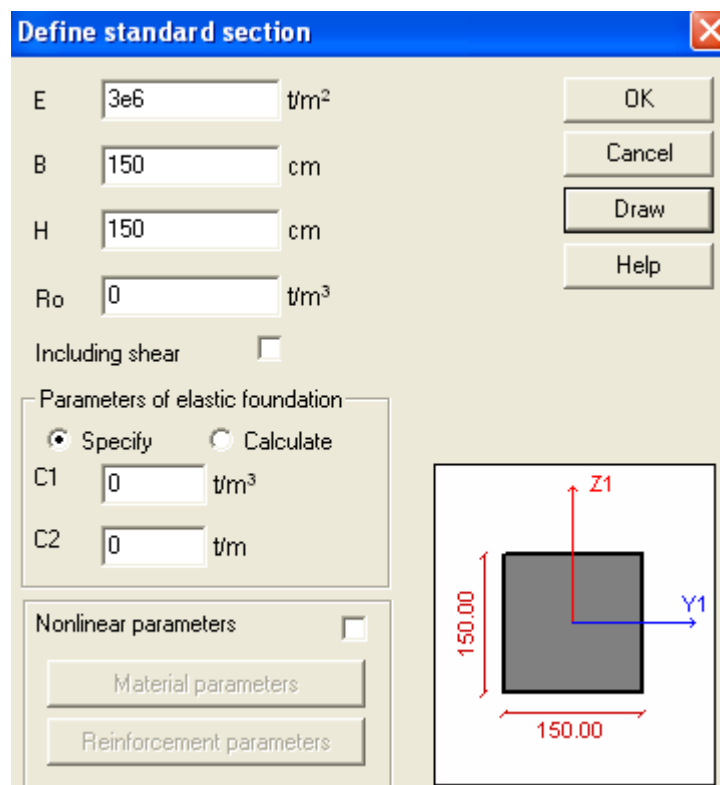


Fig. 5.17

Una vez más seleccionamos los elementos verticales, para elegir su esquema de tipo elemento finito para el análisis geométrico no-lineal, haciendo clic en  y seleccionando el elemento finito FE TYPE 310 – GEOMETRICALLY NONLINEAR ARBITRARY 3D BAR (ROPE) (figura 5.18).

En seguida, seleccionamos el nudo 61 (extremo superior) y lo cargamos con la fuerza vertical y horizontal, tal como se efectuó en los casos anteriores.

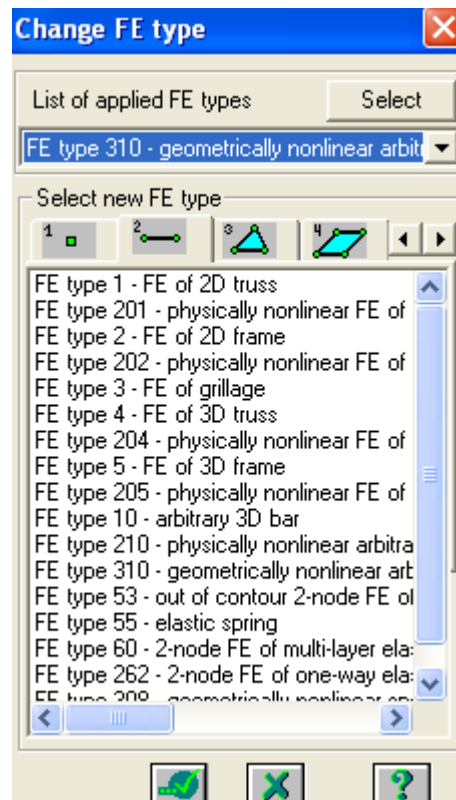


Fig. 5.18

Finalmente, modelamos la no-linealidad de las cargas, tal como se muestra en la figura 5.19, siendo el método de análisis elegido “ASSIGN STEP AUTOMATICALLY” (2), con la finalidad de aproximar más la solución del problema.

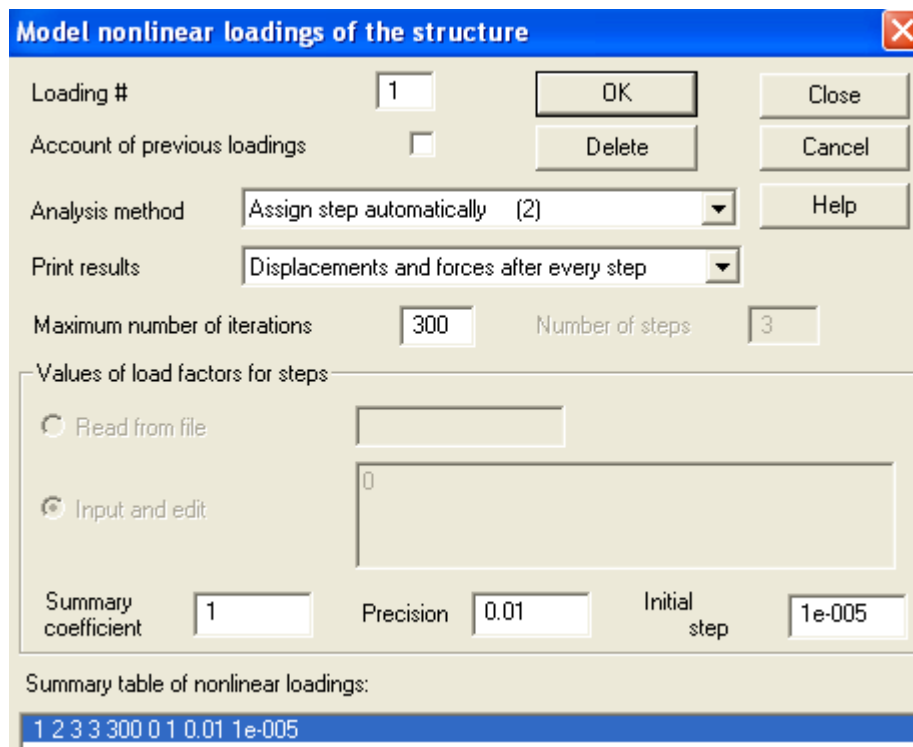


Fig. 5.19

Corremos el programa y analizamos los resultados obtenidos, mostrándose en la figura 5.20 la deformación del pilar de concreto, en las figuras 5.21 - 5.22 los desplazamientos y rotación del nudo 61 (extremo superior) y en la figura 5.23 el momento flector M.

Si efectuamos una comparación de resultados entre el análisis común y el de no-linealidad geométrica, observaremos que estos últimos son mayores, tanto en desplazamientos, como en giro y momento, debido a que se considera la deformación no-lineal por la metodología de los pasos.



Fig. 5.20

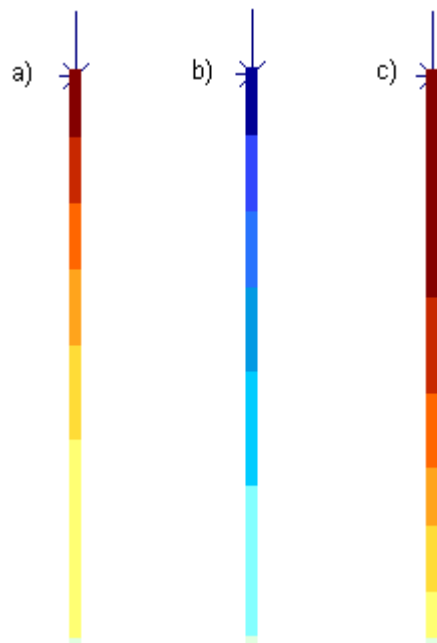


Fig. 5.21 a) Desplazamiento en X; b) Desplazamiento en Z; c) Rotación UY

Node 61

Coordinates			Restrains		
X	0	m	☐ X	☐ UX	
Y	0	m	☐ Y	☐ UY	
Z	60	m	☐ Z	☐ UZ	

node #	Block #	Select
61	1	☐

Loads

☒ Loading Load. # 1

☐ DCL

↓ z P=500 t - Load along global Z axis

↓ x P=5 t - Load along global X axis

New Delete

Displacements in local system

X	641.018	mm	UX	0
Y	0	mm	UY	16.4229
Z	-8.4543	mm	UZ	0

Displacements in global system

X	0	UX	0
Y	0	UY	0
Z	0	UZ	0

Fig. 5.22 Desplazamientos X, Z y rotación UY del nudo 61

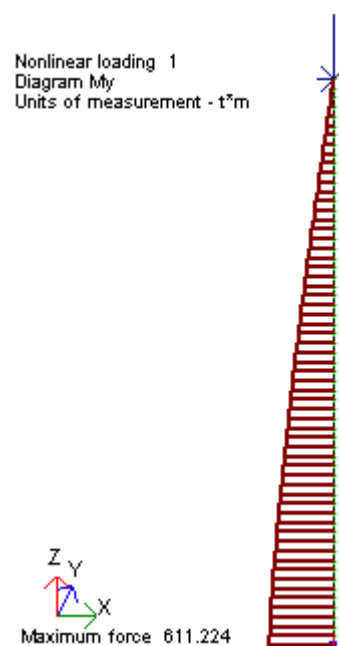


Fig. 5.23 Momento flector M del pilar, considerando su no-linealidad geométrica

CAPITULO 6

CALCULO DE LOSAS

PROBLEMA 7. Calcular una losa aligerada de 3m x 6m, de espesor 150mm, sometida a los siguientes estados de carga:

- 1) Peso propio;
- 2) Cargas puntuales $P = 1T$, aplicadas de acuerdo al esquema de la figura 6.1,a.
- 3) Cargas puntuales $P = 1T$, aplicadas de acuerdo al esquema de la figura 6.1,b.

Uno de los lados menores de la losa, está simplemente apoyada en toda su longitud y el otro lado menor de la losa está apoyado solo en sus extremos. Los lados mayores están libres.

Considere $E_c = 3.10^6 T / m^2$; $\nu = 0,2$ y $R_0 = \gamma_c = 2,75T / m^3$.

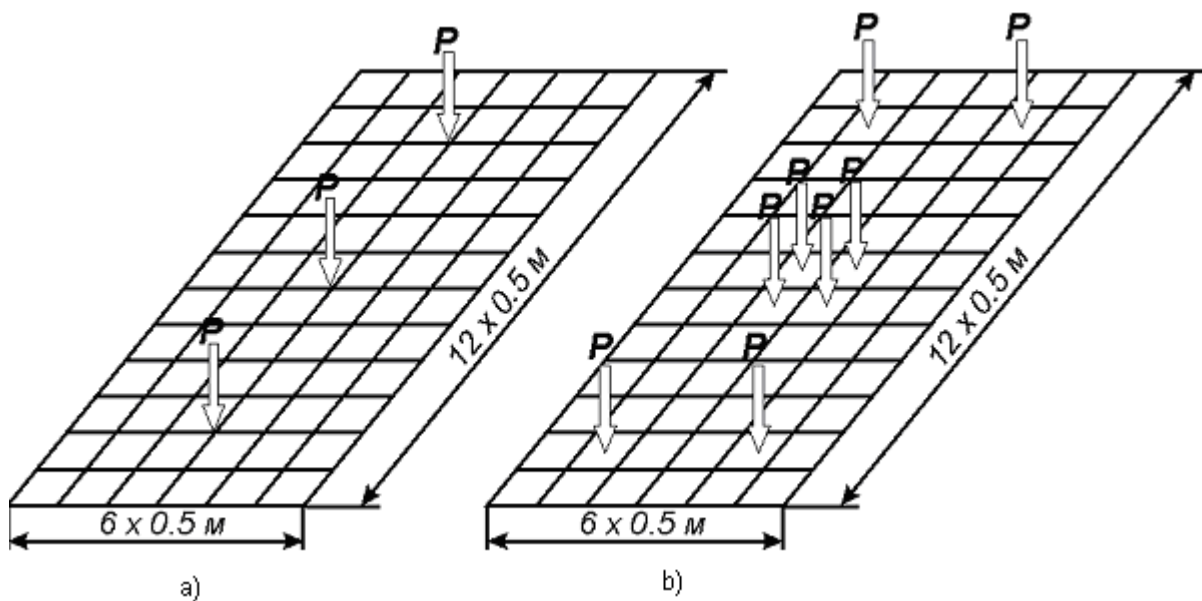


Fig. 6.1

SOLUCION:

Iniciamos el problema, indicando los grados de libertad de la losa, los cuales son 3 (un desplazamiento y dos rotaciones), tal como se muestra en la figura 6.2.

Posteriormente, hacemos clic en  y elegimos CREATE SLAB, generando la losa, tal como se muestra en la figura 6.3.

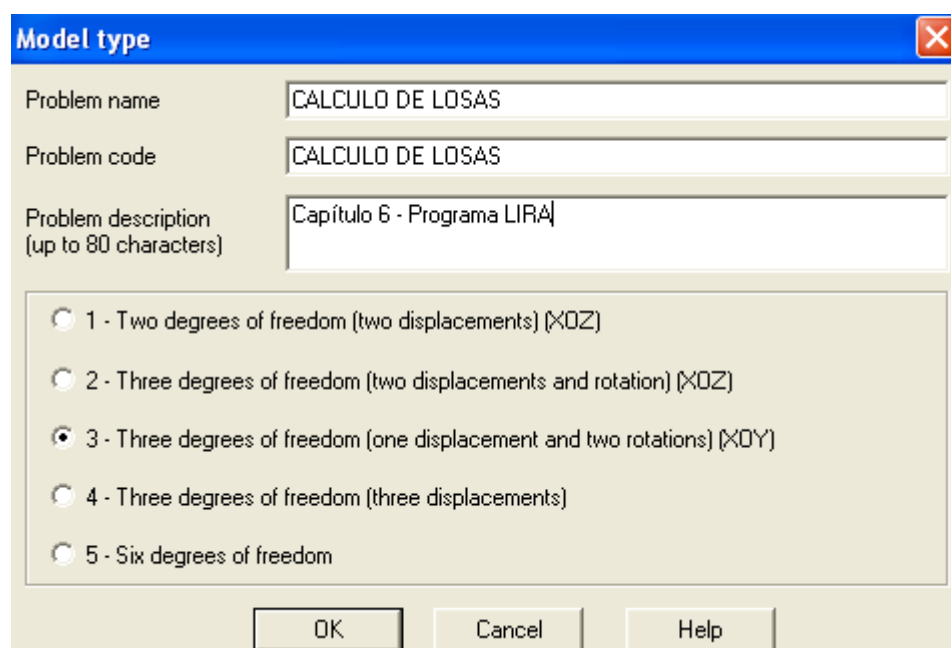
Luego, elegimos los nudos 1, 7, 85 – 91 y lo restringimos del desplazamiento en Z (figura 6.4), aceptando y luego aparecerá con color azul.

Después, elegimos todos los elementos de la losa (figura 6.5) y le asignamos sus propiedades físico-geométricas de la figura 6.6.

Ahora, indicamos el 1er estado de carga, que es precisamente del peso propio, haciendo clic en LOADS → ADD DEAD WEIGHT, apareciendo la ventana de la figura 6.7.

Luego, haremos un cambio del estado de carga, haciendo clic en  e indicando el 2do estado de cargas, en el cual elegimos los nudos de la figura 6.1,a y asignamos la carga $P = 1T$, quedando la losa, como se muestra en la figura 6.8.

Análogamente, se procederá con el 3er estado de cargas, indicando el ingreso de la carga de 1T en el centro de cada paño seleccionado de 0,5m x 0,5m de lado (figura 6.9), quedando la losa como se muestra en la figura 6.10.



Model type

Problem name: CALCULO DE LOSAS

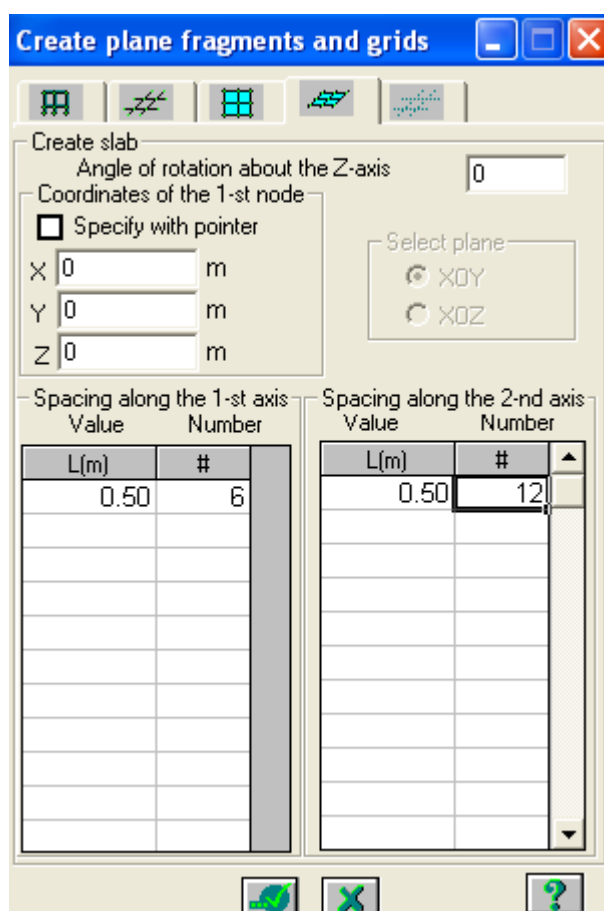
Problem code: CALCULO DE LOSAS

Problem description (up to 80 characters): Capítulo 6 - Programa LIRA

☐ 1 - Two degrees of freedom (two displacements) (XOZ)
☐ 2 - Three degrees of freedom (two displacements and rotation) (XOZ)
☒ 3 - Three degrees of freedom (one displacement and two rotations) (XOY)
☐ 4 - Three degrees of freedom (three displacements)
☐ 5 - Six degrees of freedom

OK Cancel Help

Fig. 6.2



Create plane fragments and grids

Create slab

Angle of rotation about the Z-axis: 0

Coordinates of the 1-st node

☐ Specify with pointer

X: 0 m
Y: 0 m
Z: 0 m

Select plane: ☒ XOY ☐ XOZ

Spacing along the 1-st axis

Value	Number
L(m)	#
0.50	6

Spacing along the 2-nd axis

Value	Number
L(m)	#
0.50	12

Fig. 6.3

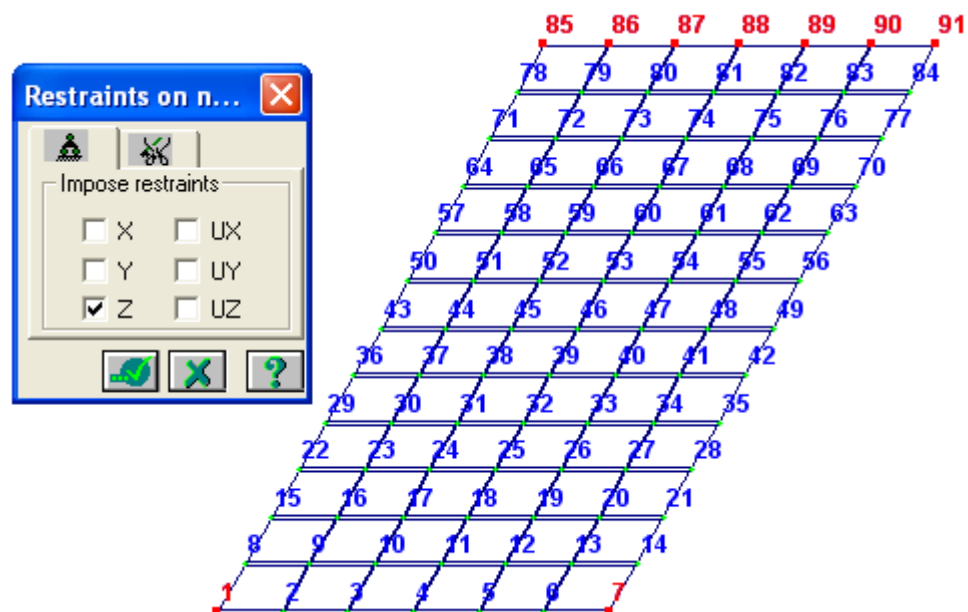


Fig. 6.4 Selección de los nudos restringidos de desplazamiento en Z

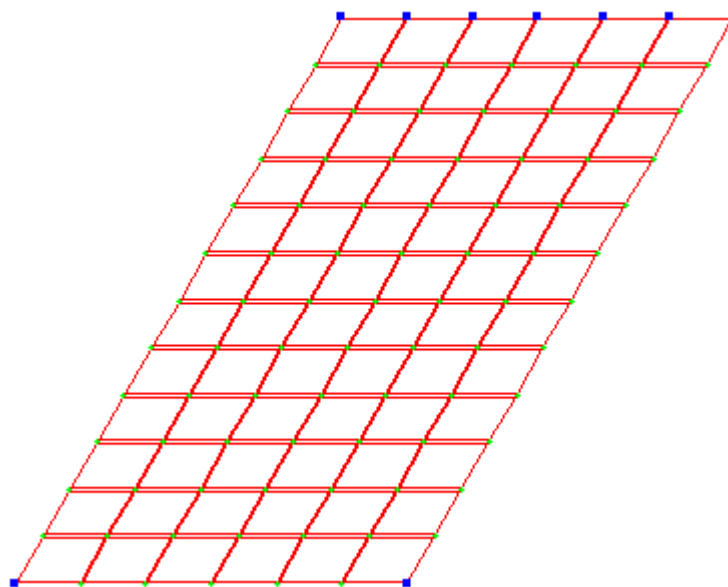


Fig. 6.5 Selección de los elementos de la losa aligerada

Specify stiffness for plates

E t/m²

V

H cm

Ro t/m³

Parameters of elastic foundation
☒ Specify ☐ Calculate

C1 t/m³

C2 t/m

Nonlinear parameters ☐

FE type
☒ Plate, shell
☐ Wall-beam

FE shape
☒ Rectangular
☐ Triangular

Material parameters

Reinforcement parameters

OK Cancel Help

Fig. 6.6

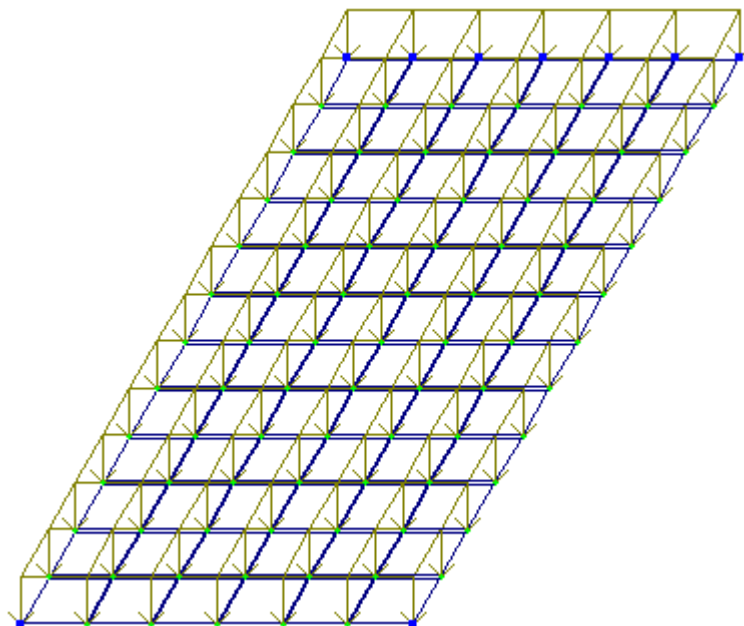


Fig. 6.7 Primer estado de cargas (peso propio)

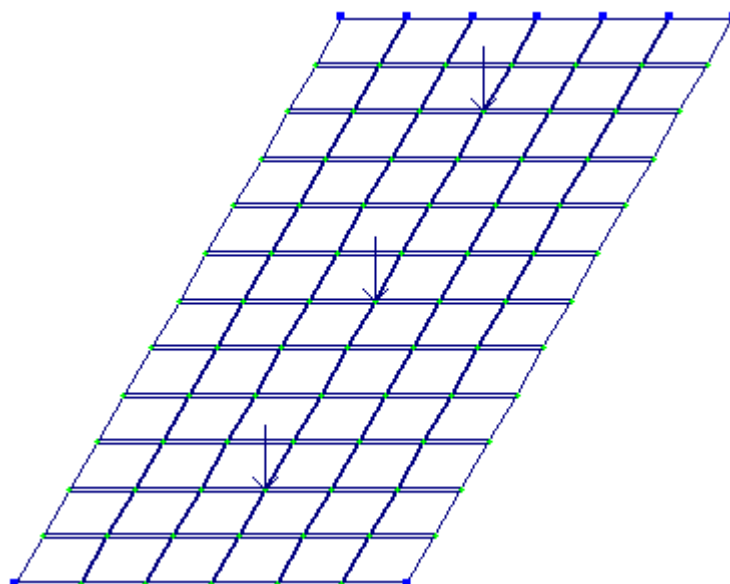


Fig. 6.8 Segundo estado de cargas

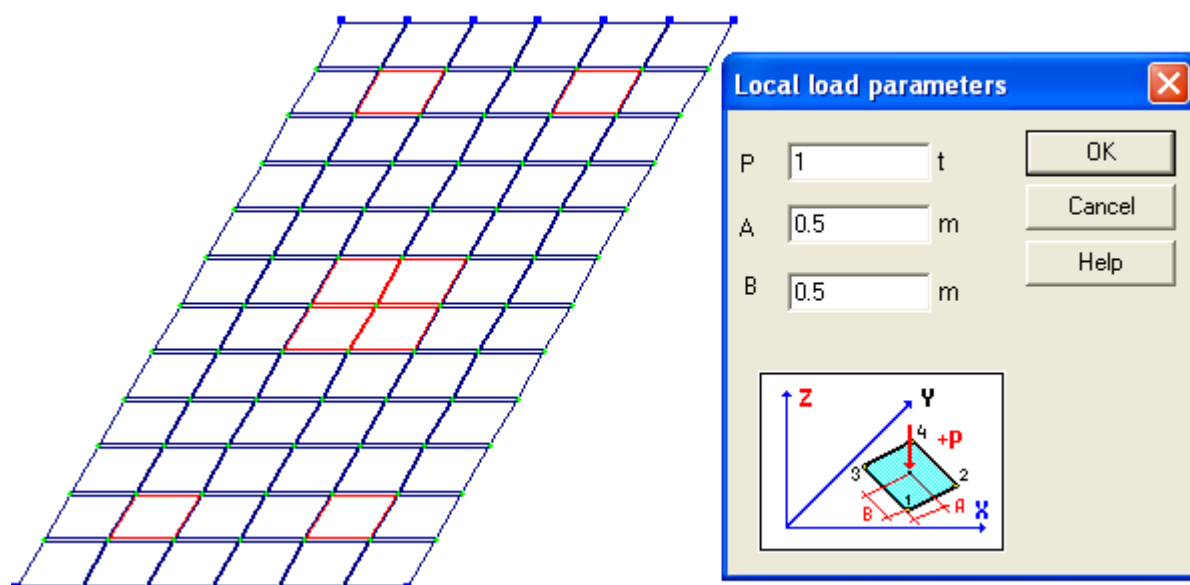


Fig. 6.9 Ingreso de la carga de 1T en el centro de los paños seleccionados

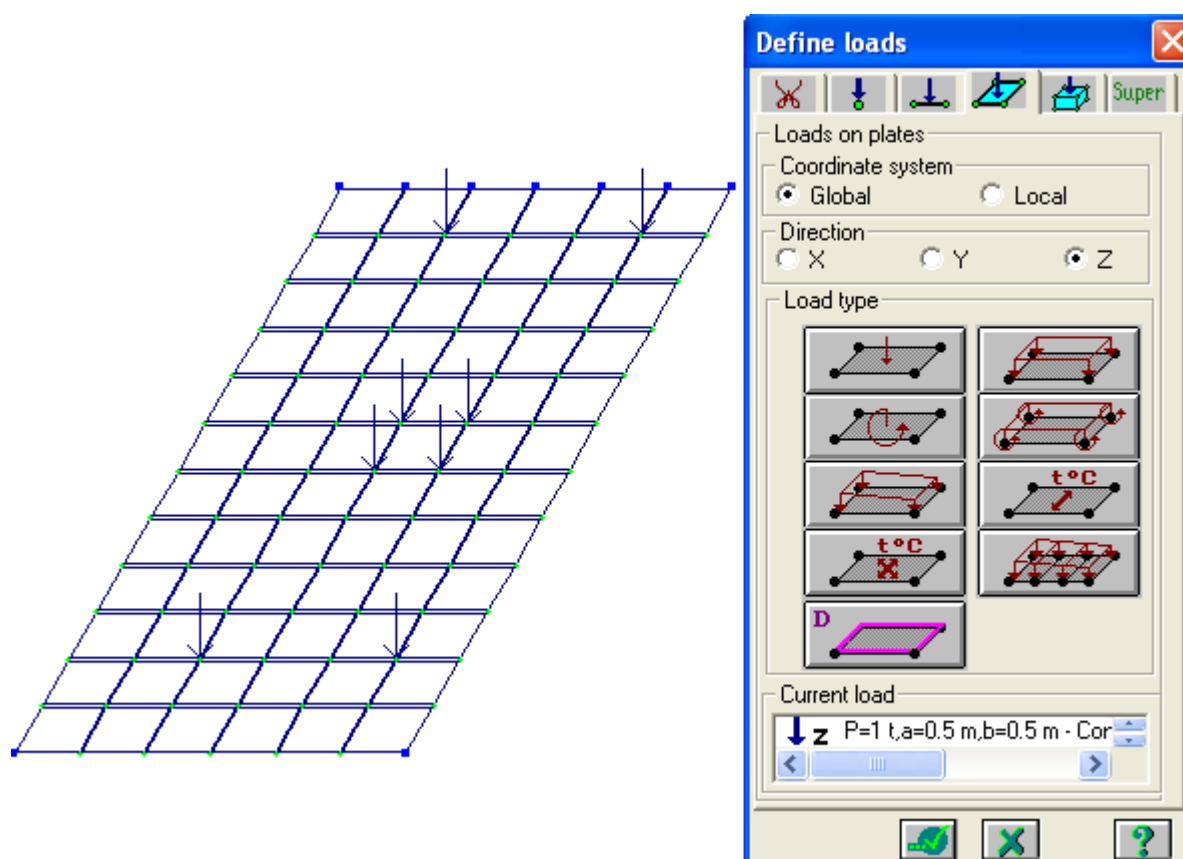


Fig. 6.10 Tercer estado de cargas

Finalmente, generamos la tabla de combinación de cargas (figura 6.11) y el problema está listo para correrlo y ver los resultados, los cuales se muestran en las figuras 6.12 – 6.14.

Design combinations of forces (DCF)

Loading #: 3

Loading name: Loading 3

Loading type: Live (1)

of the group of unified temporary loadings: 0

Account of sign variability: ☐

of the group of mutually exclusive loadings: 0

of the accompanying loadings: 0

Safety factor: 1.20

Duration coefficient: 1.00

Restrictions for cranes and brakes: Crane ☐ Brake ☐

Coefficients for DCF

# of loading	1-st main combination	2-nd main combination	Special combination
1	1.00	1.00	0.90
2	1.00	0.95	0.80
3 ->	1.00	0.95	0.80

Summary table for DCF calculation:

Name #	DCF parameters	DCF coefficients
1 Loading 1	< 0 0 0 0 0 0 0 1.10 1.00	> < 1.00 > < 1.00 > < 0.90 >
2 Loading 2	< 1 0 0 0 0 0 0 1.20 1.00	> < 1.00 > < 0.95 > < 0.80 >
3 Loading 3	< 1 0 0 0 0 0 0 1.20 1.00	> < 1.00 > < 0.95 > < 0.80 >

Fig. 6.11 Combinación de los estados de cargas

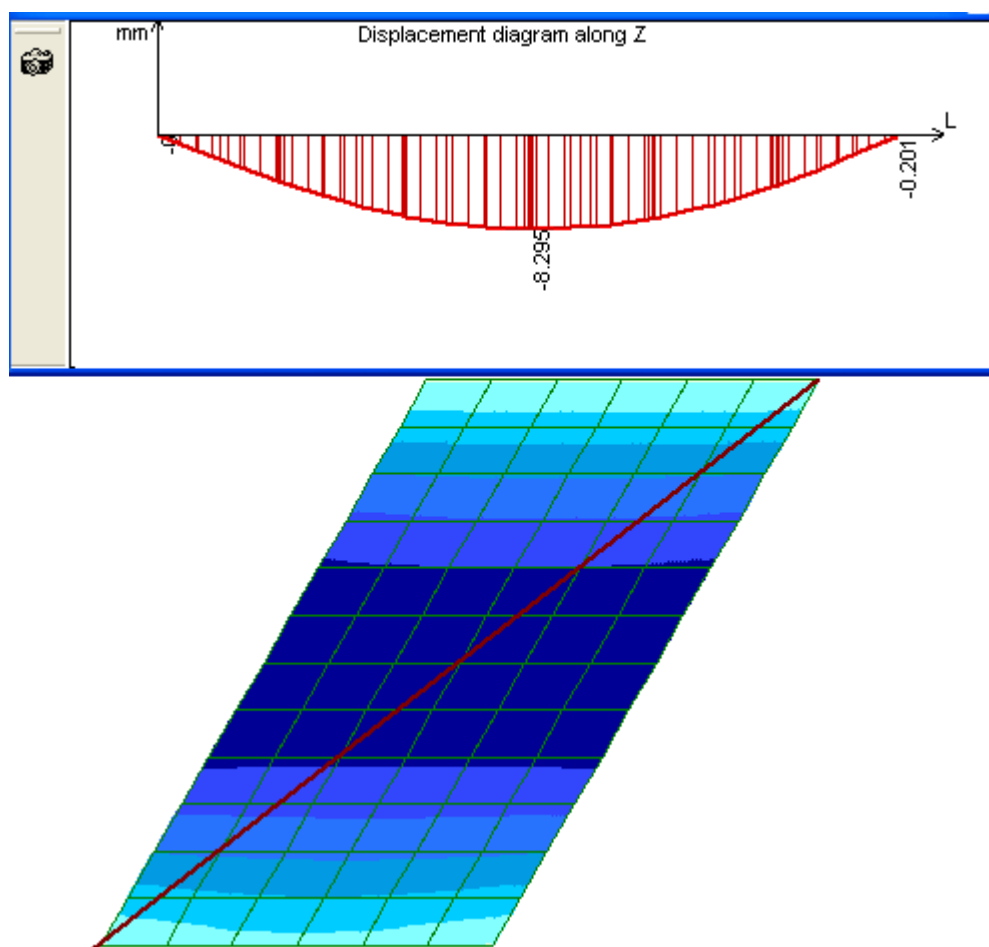


Fig. 6.12 Desplazamiento en Z del 1er estado de cargas

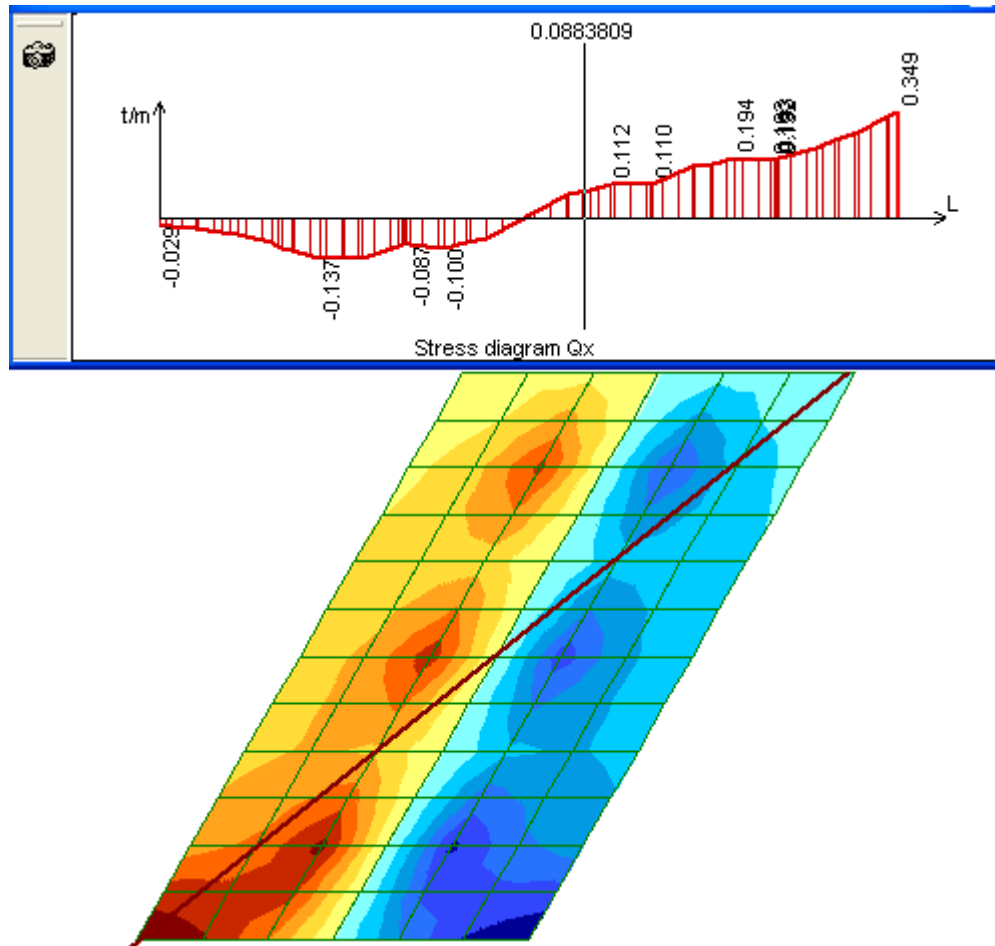


Fig. 6.13 Diagrama de esfuerzo Q_x (cortante en X) para el 2do estado de cargas

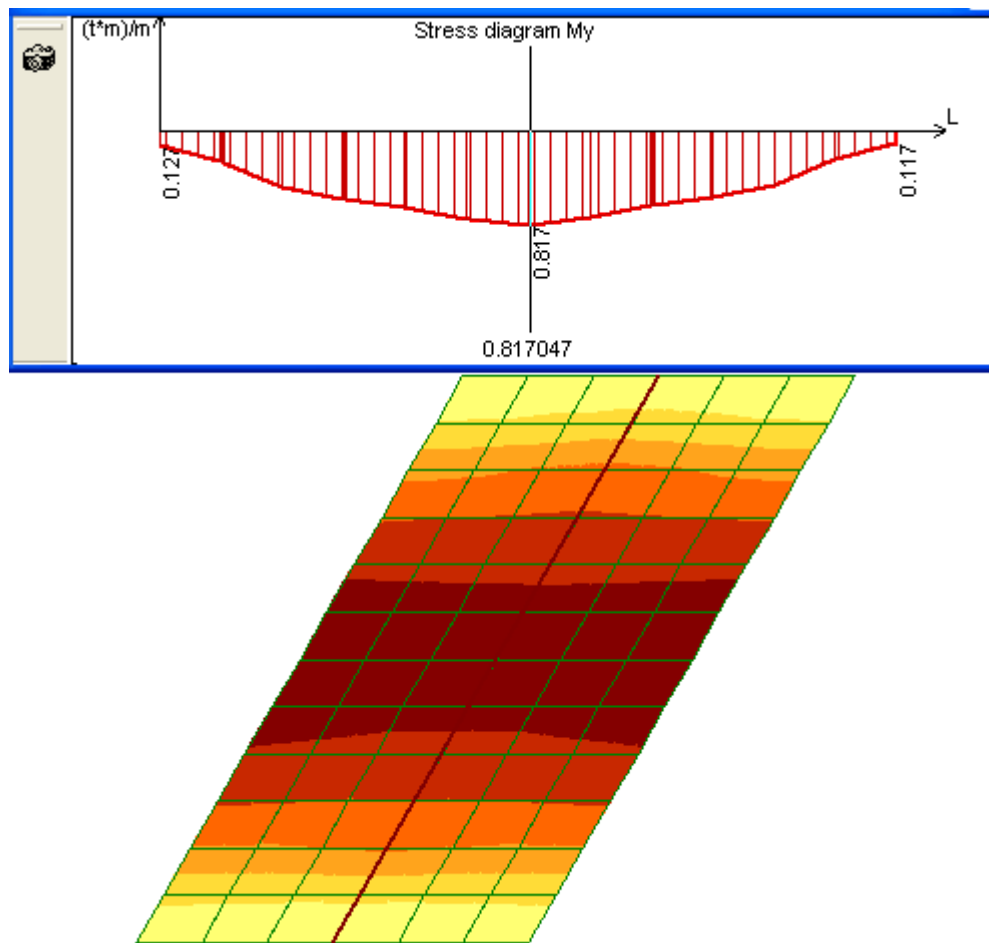


Fig. 6.14 Diagrama de esfuerzo M_Y (momento en Y) para el 2do estado de cargas

Ahora, calculamos los esfuerzos principales, haciendo clic en  y eligiendo el cálculo de los esfuerzos principales de acuerdo a las cargas (figura 6.15), para luego hacer clic en  y finalmente mostramos el esfuerzo principal σ_1 para el 3er estado de cargas (figura 6.16).

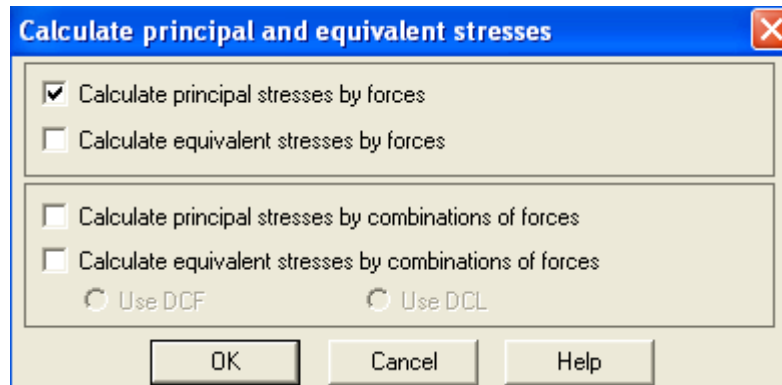


Fig. 6.15 Cálculo de esfuerzos principales

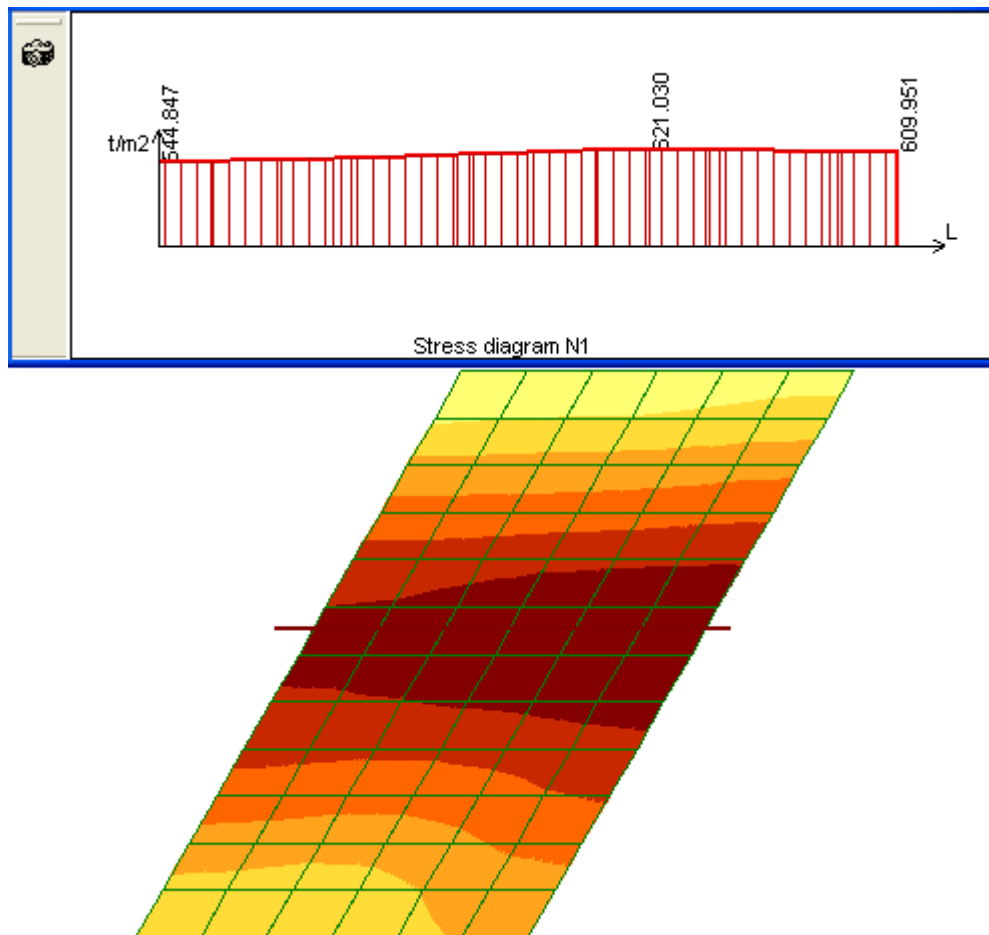


Fig. 6.16 Esfuerzo principal σ_1

CAPITULO 7

CIMENTACIONES SOBRE BASES ELASTICAS

En su quehacer profesional, el Ingeniero Civil calcula y construye plateas de cimentación, zapatas conectadas o cimientos corridos sobre bases elásticas, pudiéndolo hacer en forma independiente y sometida a las cargas de la superestructura (edificación). El programa LIRA permite calcular la edificación completa, es decir, incluyendo la cimentación y su interacción con el suelo de fundación.

En la actualidad, esta es una de las áreas de investigación, cuyos modelos matemáticos y físicos aún tienen un sinnúmero de espectros no determinados, ni modelados.

En la figura 7.1,a y 7.1,b se muestran los esquemas de las cargas y las deformaciones de una viga o platea, cuando han sido calculadas como estructuras independientes.

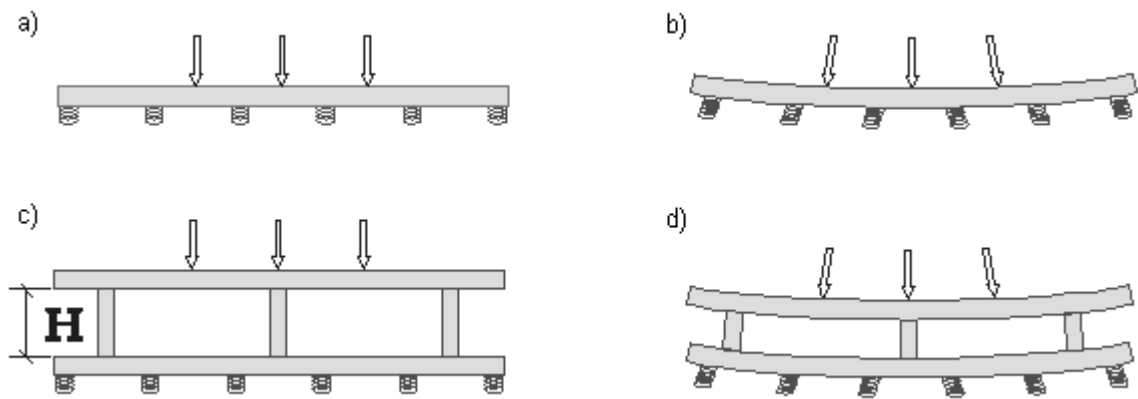


Fig. 7.1

En estos casos, en la viga o platea, se obtienen grandes valores del momento M , diseñando en este caso cimentaciones muy rígidas.

Si en el esquema de cálculo se analiza la inclusión de la edificación (figura 7.1,c), como norma, el efecto principal y notorio se dará en el primer piso de la edificación. Como se observa en la figura 7.1,d para estructuras sobre bases elásticas, en la cimentación surgen las fuerzas membranales de tracción y pequeños momentos, en cambio en la superestructura surgirán las fuerzas membranales de compresión.

Hace falta indicar, que en las columnas y muros surgirán fuerzas de corte y será necesario considerar dicho efecto.

Como consecuencia del trabajo conjunto de la edificación sobre bases elásticas, nos permitirá reducir los costos de material, dependiendo específicamente del tipo de rigidez de la superestructura y de la calidad del suelo de fundación.

El programa LIRA trabaja con tres modelos de interacción suelo-estructura, los cuales son:

1. MODELO DE WINKLER E. Sólo se considera un coeficiente de balasto C_1 (T/m^3), comúnmente conocido como coeficiente de subrasante o de compresión elástica uniforme.
2. MODELO DE PASTERNAK P.L. Se consideran dos coeficientes de balasto, C_1 y C_2 (T/m), que describen la deformación vertical (asentamiento), incluyendo el trabajo del suelo alrededor de la cimentación, que en este caso es característico del coeficiente C_2 .
3. MODELO DEL SEMIESPACIO ELASTICO LINEALMENTE DEFORMABLE. Considera que el suelo

se deforma linealmente por la profundidad de sus estratos, pudiéndose tomar valores medios de sus características físico-mecánicas para los subestratos requeridos.

Como se indicó anteriormente, es fundamental para este tipo de cálculo la obtención de los coeficientes C_1 y C_2 , los cuales se pueden calcular por medio de las fórmulas 7.1 - 7.14, dependiendo del tipo de cimentación, número de estratos y modelo. Para el caso específico del modelo de Winkler E., solo existirá el coeficiente C_1 ; en cambio para los modelos de Pasternak P.L. y del Semiespacio elástico linealmente deformable, existirán los coeficientes C_1 y C_2 .

1. ZAPATA CONECTADA O CIMIENTO CORRIDO SOBRE UN ESTRATO

$$C_1 = \frac{E_1}{h_1(1-\nu_1^2)} \quad (7.1)$$

$$C_2 = \frac{E_1 h_1}{6(1+\nu_1)} \quad (7.2)$$

2. ZAPATA CONECTADA O CIMIENTO CORRIDO SOBRE DOS ESTRATOS

$$C_1 = \frac{1}{\frac{h_1}{E_1}(1-\nu_1^2) + \frac{h_2}{E_2}(1-\nu_2^2)} \quad (7.3)$$

$$C_2 = \frac{1}{6(1+\varepsilon_1)^2} \left[\frac{E_1 h_1}{(1+\nu_1)} (3+3\varepsilon_1 + \varepsilon_1^2) + \frac{E_2 h_2}{(1+\nu_2)} \right] \quad (7.4)$$

3. PLATEA DE CIMENTACION SOBRE UN ESTRATO

$$C_1 = \frac{E_1}{h_1(1-2\nu_1^2)} \quad (7.5)$$

$$C_2 = \frac{E_1 h_1}{6(1+\nu_1)} \quad (7.6)$$

4. PLATEA DE CIMENTACION SOBRE DOS ESTRATOS

$$C_1 = \frac{1}{\frac{h_1}{E_1}(1-2\nu_1^2) + \frac{h_2}{E_2}(1-2\nu_2^2)} \quad (7.7)$$

$$C_2 = \frac{1}{6(1+\varepsilon_2)^2} \left[\frac{E_1 h_1}{(1+\nu_1)} (3+3\varepsilon_2 + \varepsilon_2^2) + \frac{E_2 h_2}{(1+\nu_2)} \right] \quad (7.8)$$

Donde $E_1, \nu_1, h_1, E_2, \nu_2, h_2$ son los módulos de elasticidad, coeficiente de Poisson y espesores del 1er y 2do estrato de la base comprimida de la cimentación, cuya profundidad H se determina por las normas de suelos y cimentaciones.

Asimismo:

$$\varepsilon_1 = \frac{E_2}{E_1} \cdot \frac{1-\nu_1^2}{1-\nu_2^2} \cdot \frac{h_1}{h_2} \quad (7.9)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{E_2}{E_1} \cdot \frac{1 - 2\nu_1^2}{1 - 2\nu_2^2} \cdot \frac{h_1}{h_2} \quad (7.10)$$

5. MODELO DE SEMIESPACIO PARA UNO, DOS O MAS ESTRATOS

En el programa LIRA, el cálculo de los coeficientes C_1 y C_2 se realiza por el esquema del semiespacio elástico linealmente deformable con características intermedias del suelo de fundación de varios estratos – módulo de deformación E_s y el coeficiente de Poisson ν_s :

$$E_s = \frac{\sum (\sigma_{z_{PK}} \cdot h_K)}{\sum \left(\frac{\sigma_{z_{PK}} \cdot h_K}{E_K} \right)} \quad (7.11)$$

$$\nu_s = \frac{\sum (\nu_K \cdot h_K)}{H_C} \quad (7.12)$$

Donde:

K - número de subestratos;

$\sigma_{z_{PK}}$ - esfuerzo medio vertical en el subestrato K ;

h_K - espesor del subestrato K ;

E_K - módulo de deformación del subestrato K ;

ν_K - coeficiente de Poisson del subestrato K ;

H_C - profundidad del suelo comprimido o espesor del estrato;

De esta manera, el programa LIRA calculará los coeficientes C_1 y C_2 , por medio de las siguientes fórmulas:

$$C_1 = \frac{E_s}{[H_C (1 - \nu_s^2)]} \quad (7.13)$$

$$C_2 = \frac{E_s \cdot H_C}{6(1 + \nu_s)} \quad (7.14)$$

PROBLEMA 8. Calcular y analizar el estado esfuerzo - deformación de la cimentación tipo zapatas conectadas sobre bases elásticas, espaciadas en el eje OX a 2m (1 vez), 4m (4 veces) y 2m (1 vez) y en el eje OY a 3m (1 vez), 4m (1 vez), 3m (1 vez), 4m (1 vez) y 3m (1 vez) en forma consecutiva.

Las secciones de las vigas de cimentación son:

1. Para todos los elementos en el eje OX, la sección es T invertida de concreto, con módulo de elasticidad $E_c = 3.10^6 T / m^2$, de dimensiones $B = 25cm$, $H = 80cm$, $B1 = 60cm$ y $H1 = 25cm$; con coeficientes de rigidez de la base elástica $C_1 = 500T / m$ y $C2 = 0$; peso específico del concreto $\gamma_c = Ro = 2,75T / m^3$.
2. Para todos los elementos en el eje OY, la sección es T invertida de concreto, con módulo de elasticidad $E_c = 3.10^6 T / m^2$, de dimensiones $B = 25cm$, $H = 70cm$, $B1 = 50cm$ y $H1 = 25cm$; con coeficientes de rigidez $C_1 = 500T / m$ y $C2 = 0$; $\gamma_c = Ro = 2,75T / m^3$.

Realizar el cálculo ante las siguientes cargas:

5. Peso propio (carga muerta).
6. Fuerzas y momentos aplicados en los nudos (figura 7.13).
7. Carga trapezoidal en la cimentación (figura 7.14).

SOLUCION:

Iniciamos el problema escribiendo su nombre y la característica, así como los grados de libertad, que en este caso son tres (un desplazamiento en el eje OZ y dos rotaciones alrededor de OX y OY). Para ello, elegimos el N° 3, tal como se muestra en la figura 7.2.

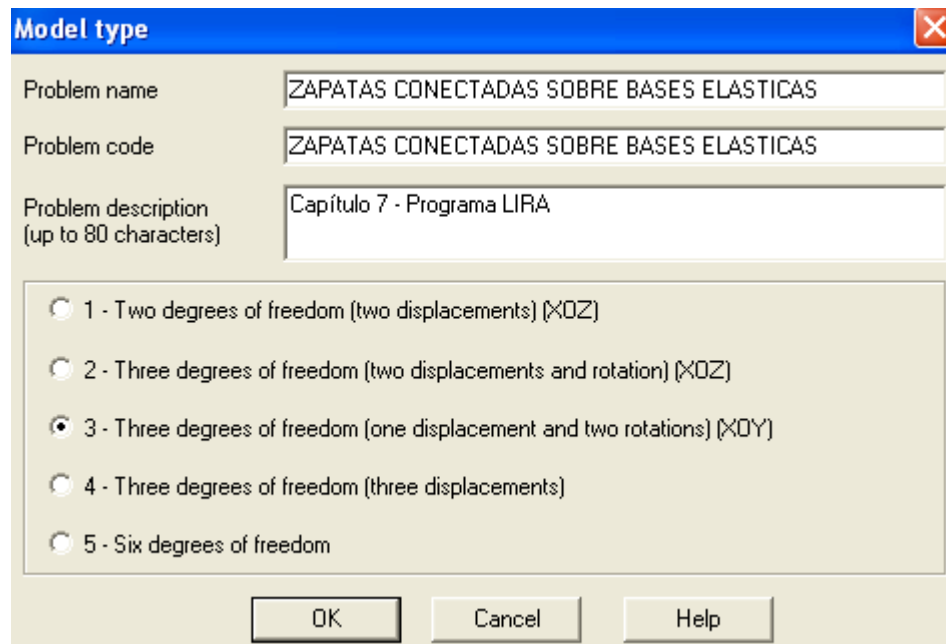


Fig. 7.2

Ahora creamos el esquema de las zapatas conectas, haciendo clic en , luego en  e indicando las dimensiones del problema, tal como se muestra en la figura 7.3.

Luego, hacemos clic en  y automáticamente aparecerán las zapatas conectadas en el plano XOY, tal como se muestra en la figura 7.4.

Posteriormente, indicamos las restricciones en los apoyos, marcando los apoyos extremos e impidiendo su desplazamiento en OZ (figura 7.5), quedando la estructura como se muestra en la figura 7.6.

Ahora, indicamos las dimensiones de los elementos del eje OX, para ello hacemos clic en  y luego de marcados aparecerán con color rojo, tal como se muestra en la figura 7.7. Seguidamente, elegimos las características de dichas secciones, a través del icono , luego por medio de  y hacemos doble clic en la sección T invertida (T – section), apareciendo la ventana de la figura 7.8, en la cual ingresamos los datos del problema y si hacemos clic en DRAW automáticamente se dibujará la sección con sus dimensiones.

Después asignaremos las secciones por medio de  **1. T-section 25 X 80**, luego  **Set as current type**, una vez más  **1. T-section 25 X 80** (pero en la parte superior) y  **Assign** (figura 7.9), apareciendo la estructura con su color normal, es decir, negro, lo que indica que se asignaron las propiedades en forma correcta.

En forma análoga ingresamos las propiedades inerciales de la sección de los elementos del eje OY, tal como se muestra en la figura 7.10.

Posteriormente asignamos las secciones por medio de  2. T-section 25 X 70, luego **Set as current type**, otra vez  2. T-section 25 X 70 (en la parte superior) y **Assign** (figura 7.11), apareciendo la estructura con su color normal, es decir, negro, lo cual ratifica que las propiedades fueron asignadas con éxito.

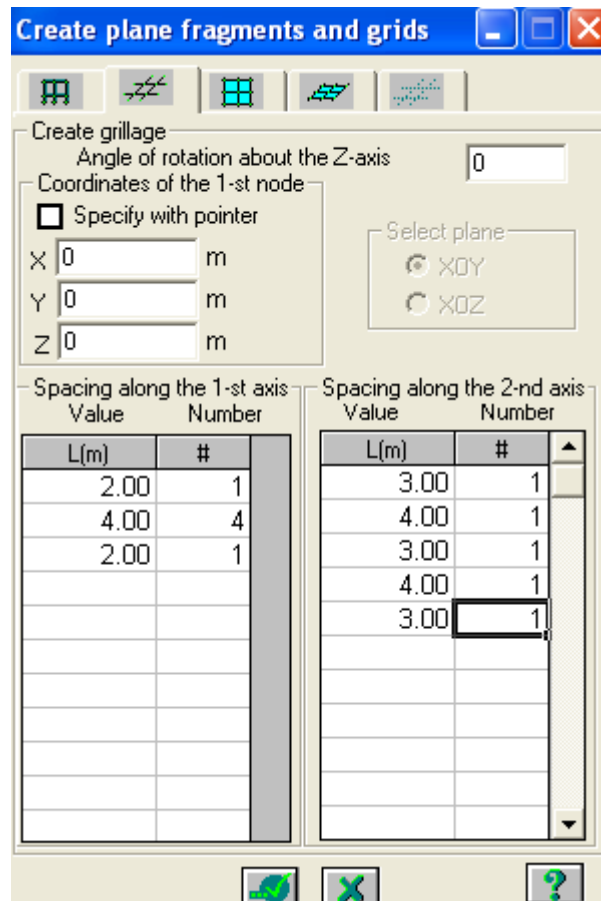


Fig. 7.3

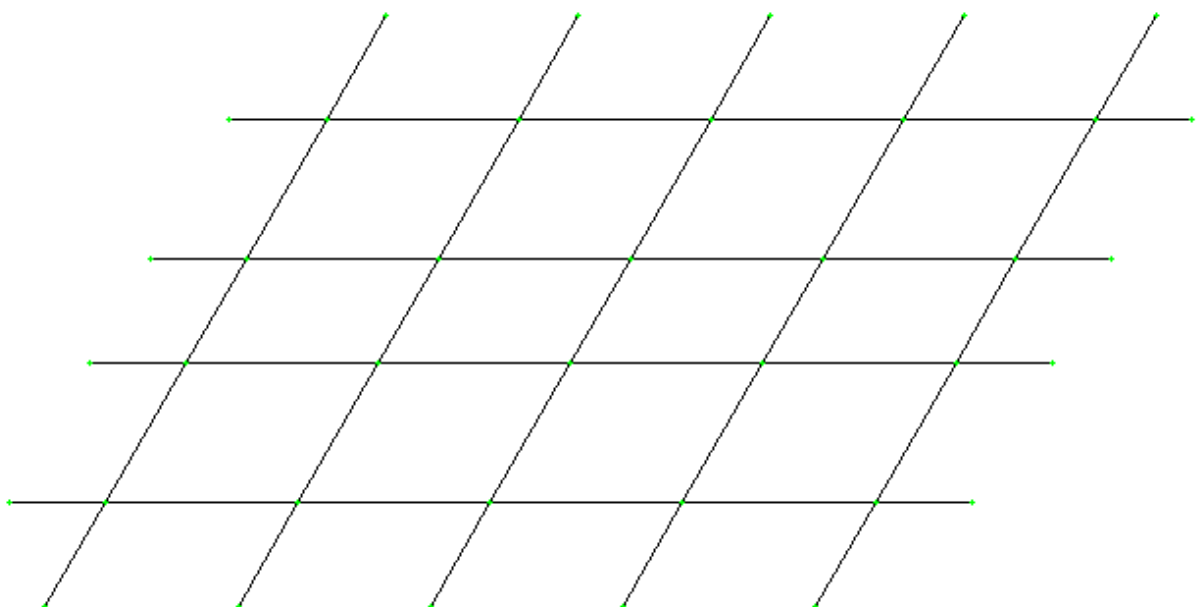


Fig. 7.4



Fig. 7.5

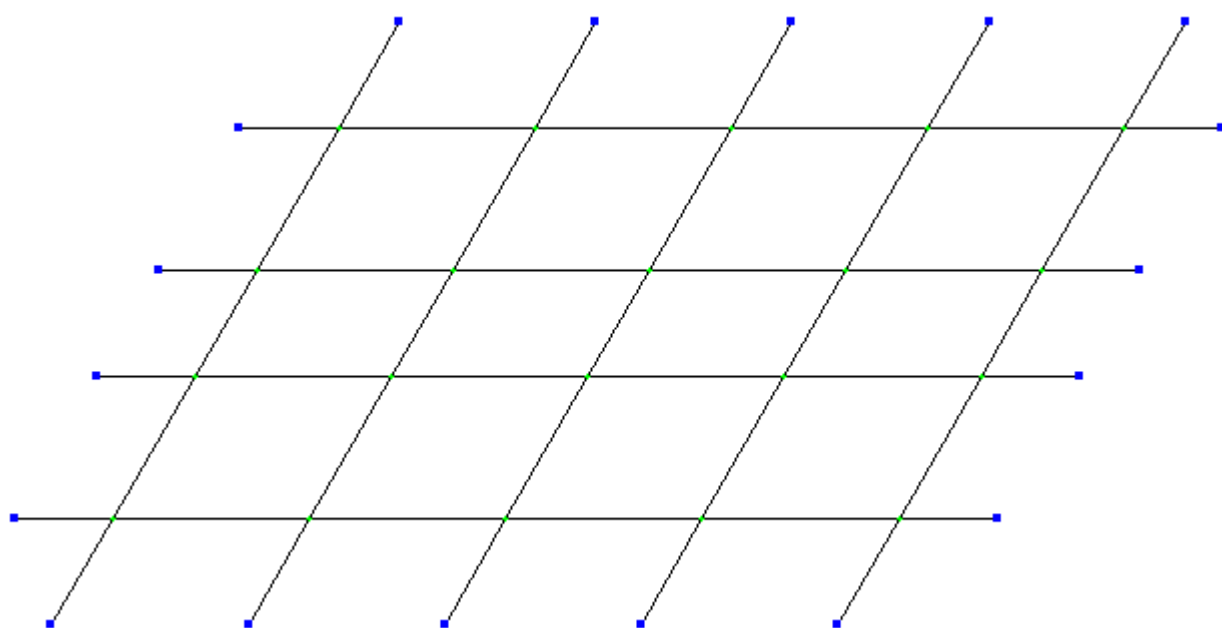


Fig. 7.6

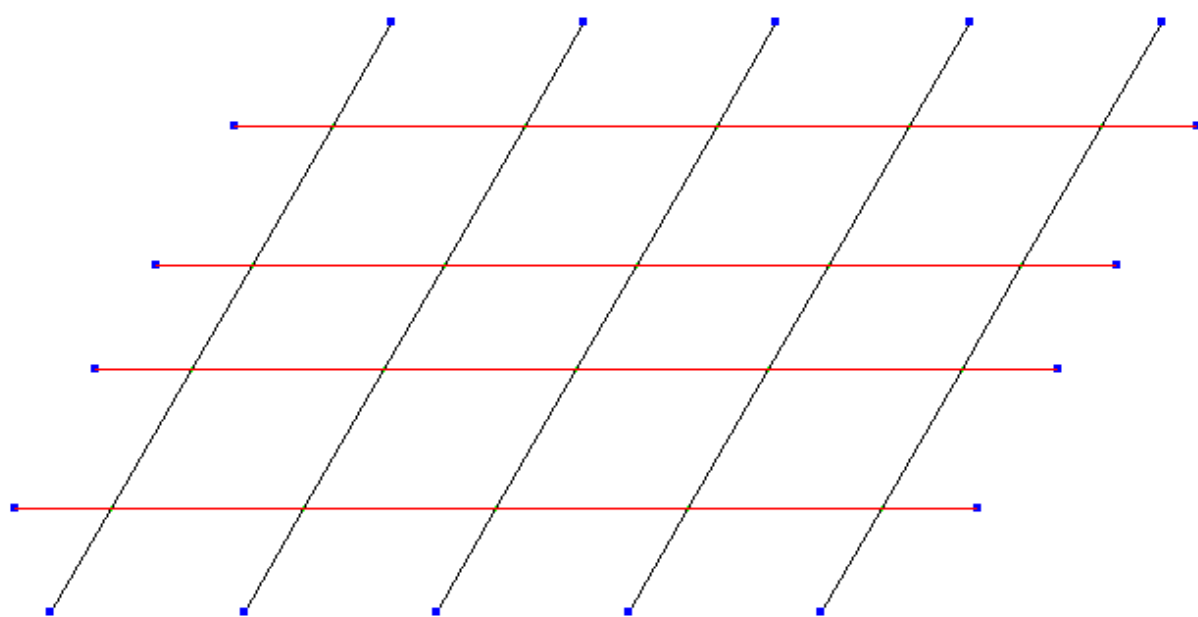


Fig. 7.7

Define standard section

E t/m²

B cm

H cm

B1 cm

H1 cm

Ro t/m³

Including shear ☐

Parameters of elastic foundation
☒ Specify ☐ Calculate
 C1 t/m³
 C2 t/m

Nonlinear parameters ☐
 Material parameters
 Reinforcement parameters

OK
Cancel
Draw
Help

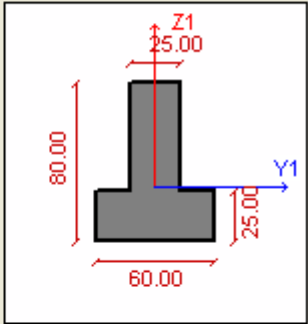


Fig. 7.8

Stiffness of elements

Assign to elements of the model
 Current stiffness type

 Select Assign Cancel

List of stiffness types

 Set as current type
 Display>> Change>>
 Copy Delete
 ? X Add<<

Standard types of sections

	
Rect. bar	T-section
	
T-section	I-Section
	
Channel	Box
	
Ring	Beam
	

Fig. 7.9

Define standard section

E t/m²

B cm

H cm

B1 cm

H1 cm

Ro t/m³

Including shear ☐

Parameters of elastic foundation
☒ Specify ☐ Calculate
 C1 t/m³
 C2 t/m

Nonlinear parameters ☐
 Material parameters
 Reinforcement parameters

OK
Cancel
Draw
Help

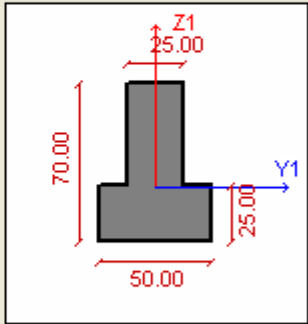


Fig. 7.10

Stiffness of elements

Assign to elements of the model
 Current stiffness type
☒ 2. T-section 25 × 70
 Select Assign Cancel

List of stiffness types
☒ 1. T-section 25 × 80
☒ 2. T-section 25 × 70
 Set as current type
 Display>> Change>>
 Copy Delete
☒ ☒ Add<<

Standard types of sections
☒ I EE
 Rect. bar T-section
 T-section I-Section
 Channel Box
 Ring Beam
☒ ☒

Fig. 7.11

Ahora, asignamos el 1er estado de cargas, que es el peso propio, haciendo clic en LOADS → ADD DEAD WEIGHT, apareciendo una ventana, como la mostrada en la figura 7.12.

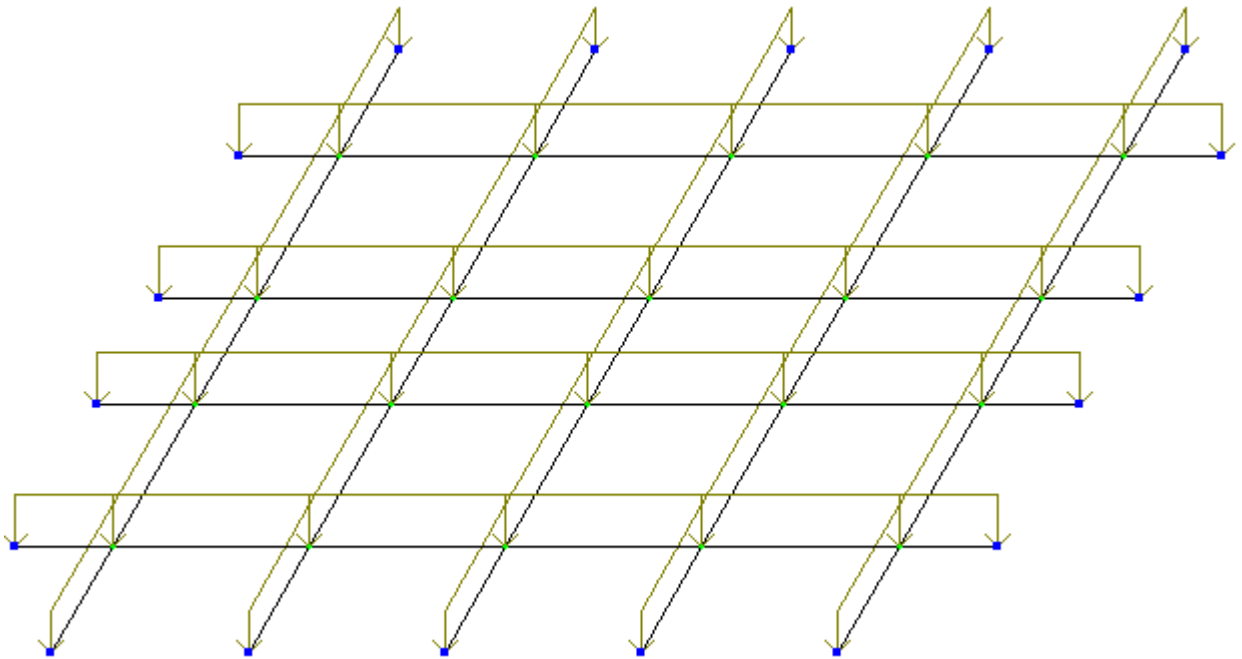


Fig. 7.12

Luego, pasamos al 2do estado de cargas, seleccionando los nudos donde estarán aplicadas las cargas puntuales 4,2T y los momentos 2,5T.m alrededor del eje local OX y en el otro lado los mismos momentos, pero en sentido opuesto, tal como se muestra en la figura 7.13.

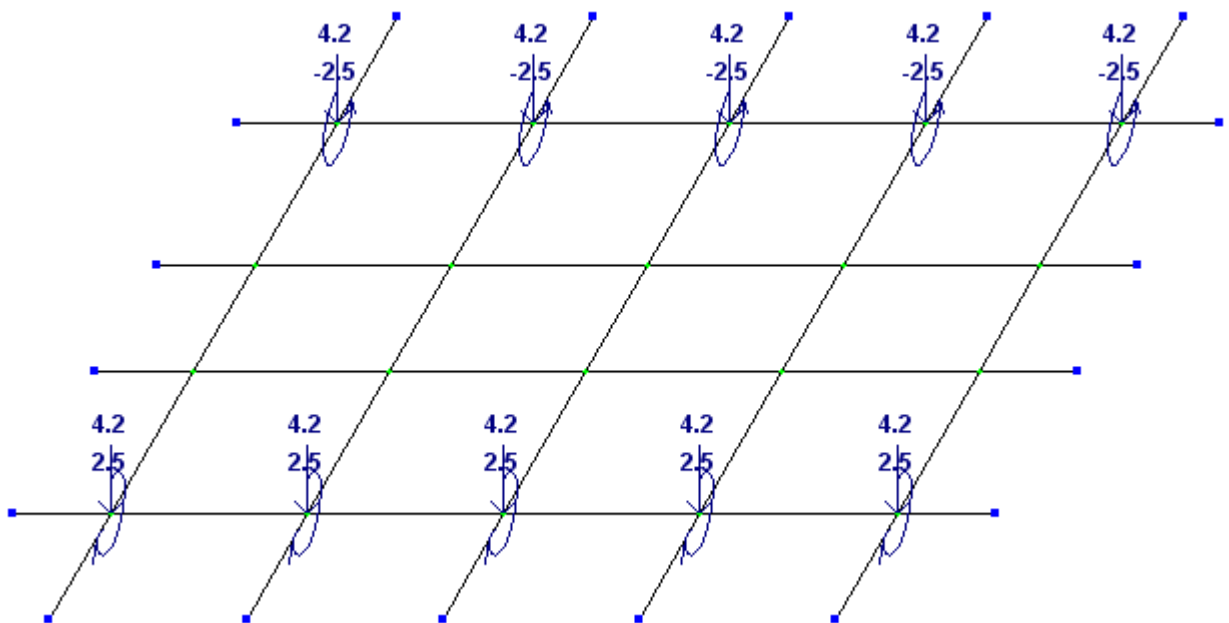


Fig. 7.13

Finalmente, se cargará la cimentación con el 3er estado de cargas, tal como se muestra en la figura 7.14.

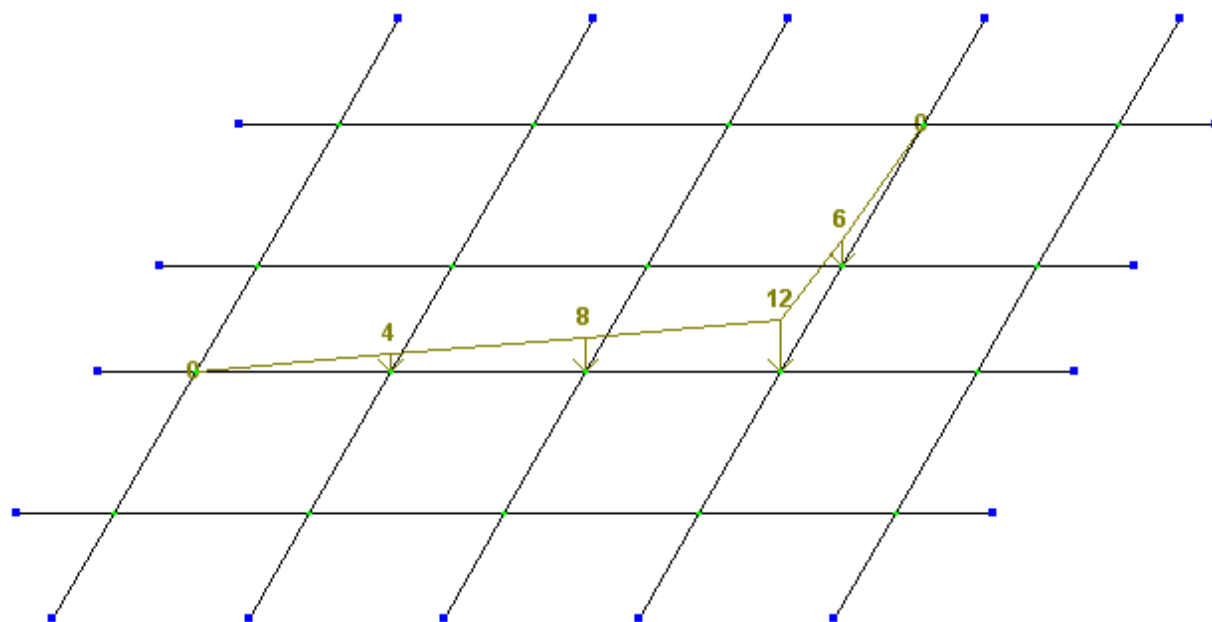


Fig. 7.14

De esta manera, el problema queda listo para correrlo y analizar los resultados, tal como se muestra en las figuras 7.15 – 7.18.

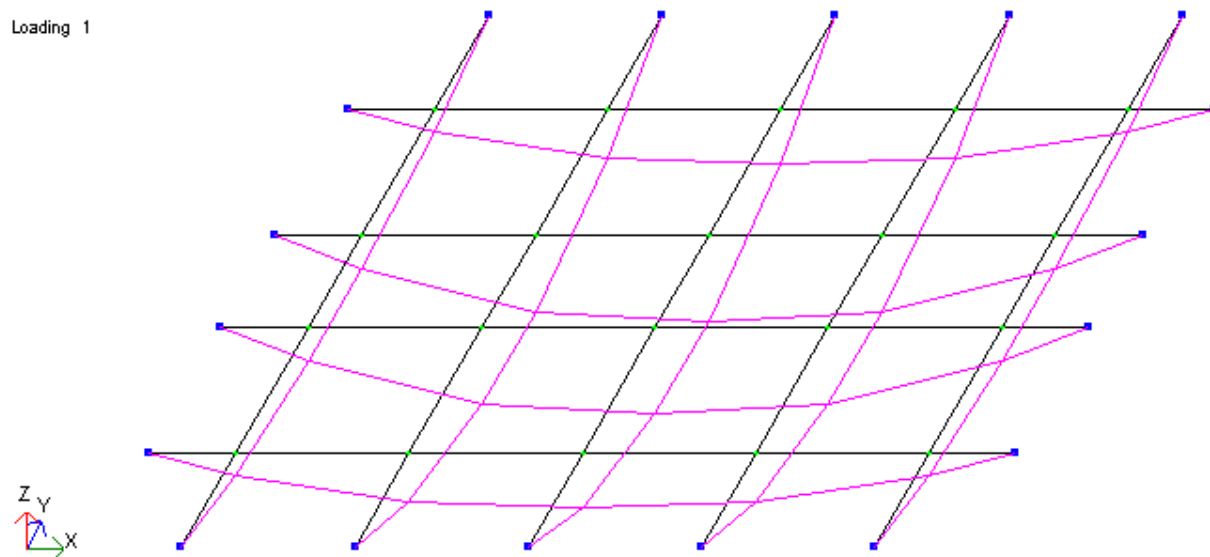


Fig. 7.15 Esquema deformado del 1er estado de cargas

Loading 2
Diagram Oz
Units of measurement - t

Z Y
Minimum force -2.16593
Maximum force 2.16593

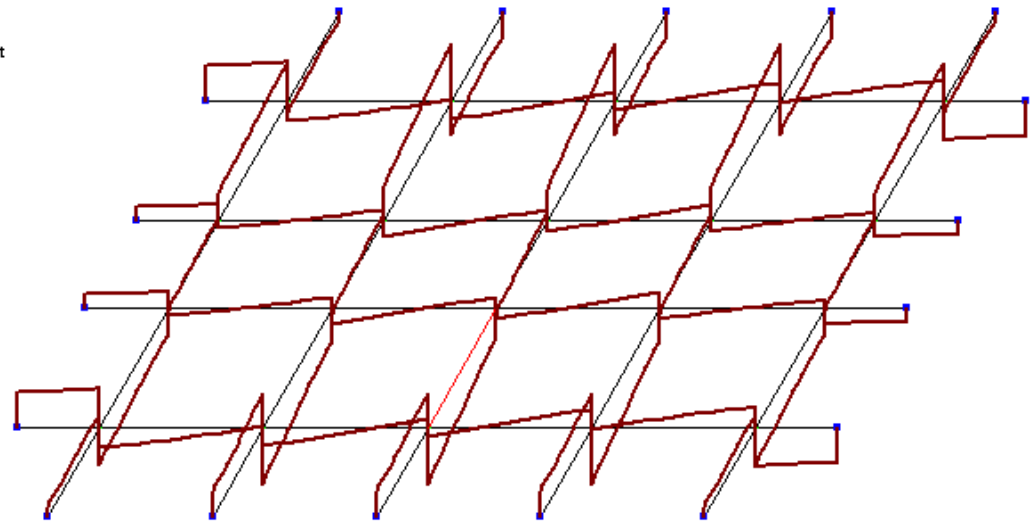


Fig. 7.16 Diagrama de fuerza cortante V_z para el 2do estado de cargas

Loading 3
Diagram My
Units of measurement - t·m

Z Y
Minimum force -7.07315
Maximum force 27.8675

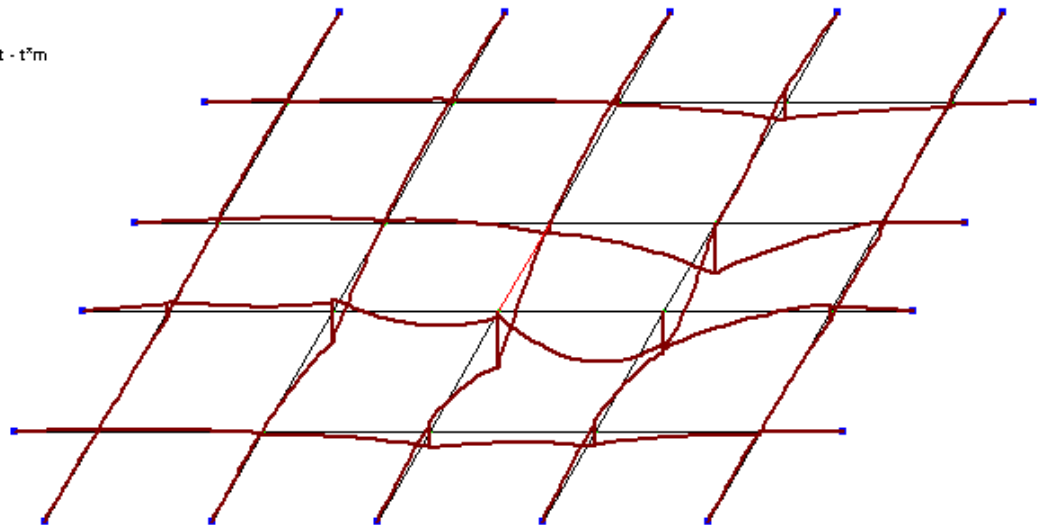


Fig. 7.17 Diagrama de momento flector M_y para el 3er estado de cargas

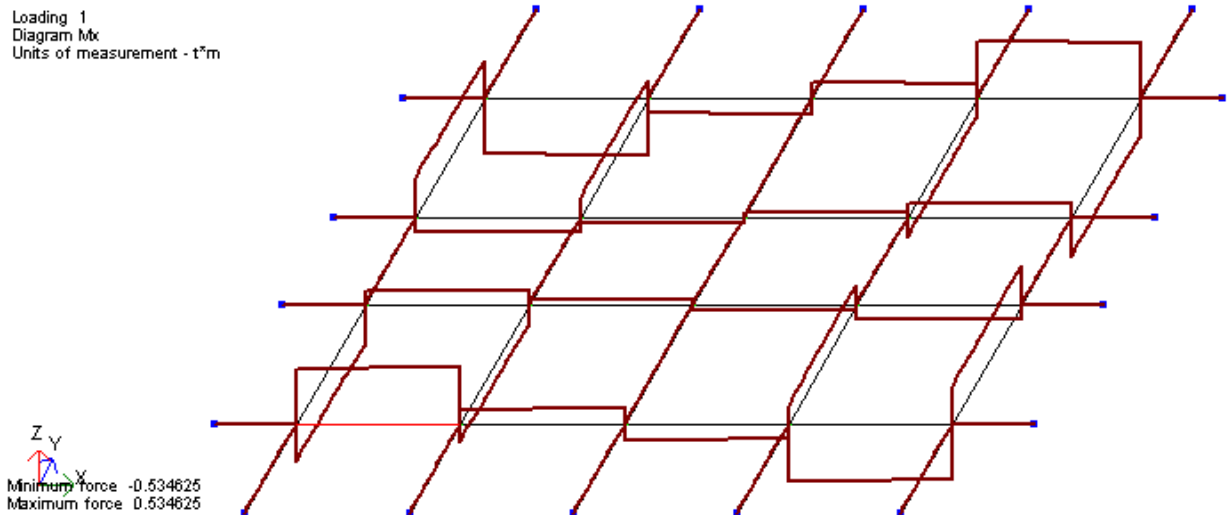


Fig. 7.18 Diagrama de momento torsor M_t para el 1er estado de cargas

PROBLEMA 9. Para el problema 7, calcule la misma estructura, pero considerando su interacción con el suelo de fundación (platea de cimentación sobre base elástica), siendo $C_1 = 1000T / m^3$.

SOLUCION:

Para ello, abrimos el archivo del problema 7 y eliminamos las restricciones en Z, seleccionando los nudos 1, 7, 85 – 91 y haciendo clic en , luego en  y en Z, tal como se muestra en la figura 7.19.

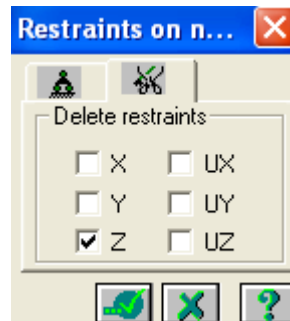


Fig. 7.19

Posteriormente, hacemos clic en , seleccionamos la sección de la platea e ingresamos el coeficiente C_1 (figura 7.20), haciendo clic en modificar la sección. Luego, grabamos el problema con otro nombre y, de esta manera, quedará listo para correrlo y analizar los resultados obtenidos (figuras 7.21 – 7.24).

Specify stiffness for plates

E t/m²

V

H cm

Ro t/m³

Parameters of elastic foundation

☒ Specify ☐ Calculate

C1 t/m³

C2 t/m

Nonlinear parameters ☐

FE type

☒ Plate, shell

☐ Wall-beam

FE shape

☒ Rectangular

☐ Triangular

Material parameters

Reinforcement parameters

OK Cancel Help

Fig. 7.20

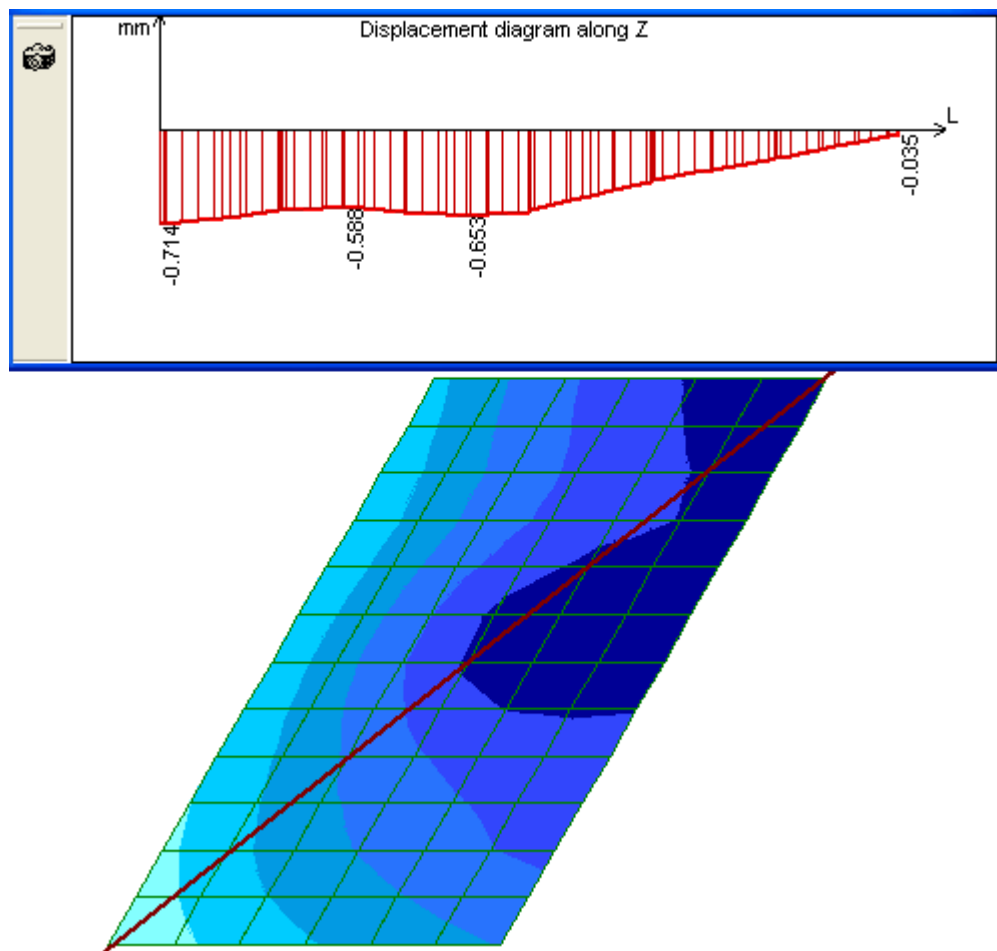


Fig. 7.21 Asentamiento en Z por el 3er estado de cargas

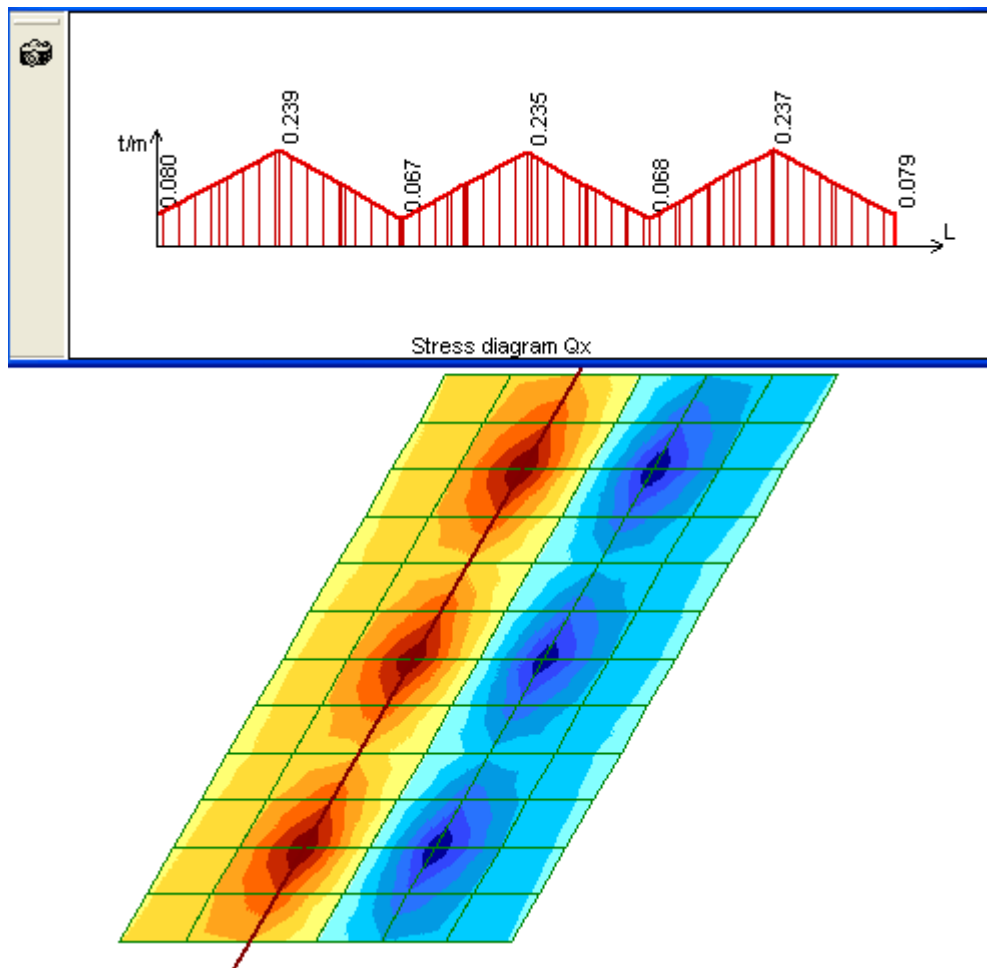


Fig. 7.22 Diagrama de esfuerzo Q_x (cortante en X) para el 2do estado de cargas

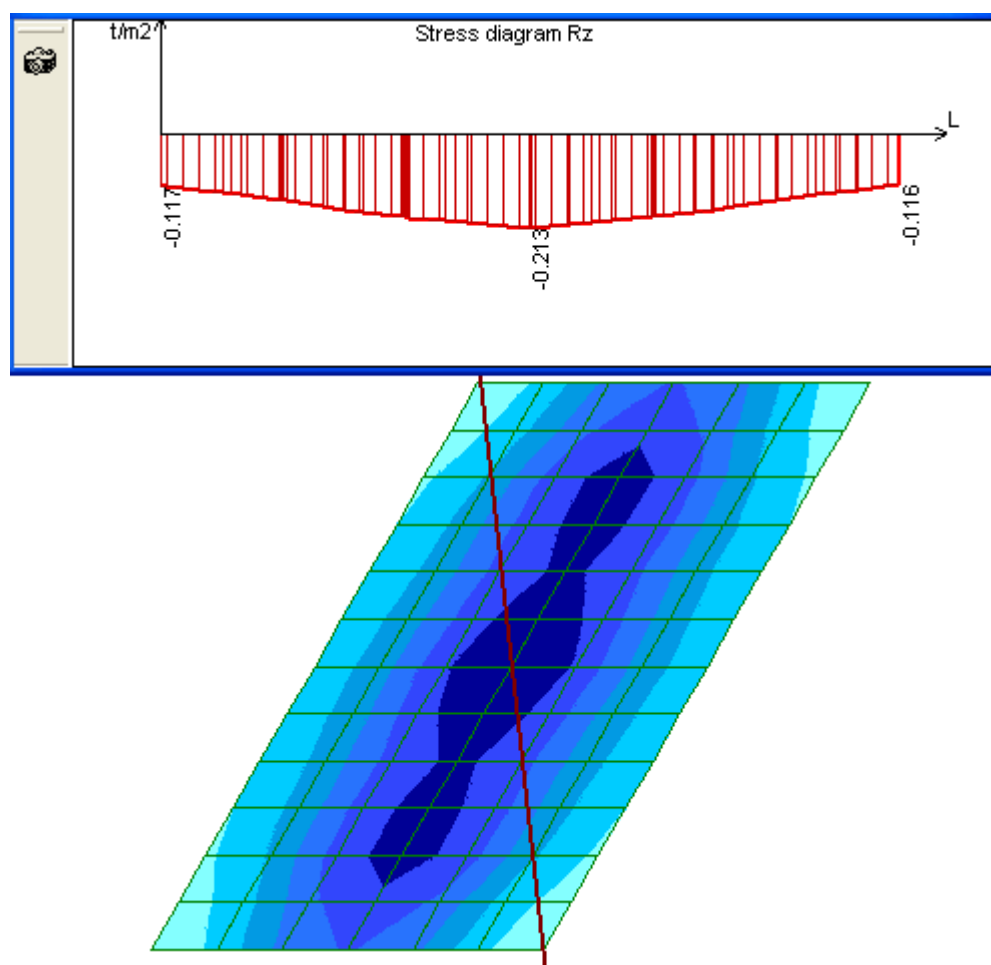


Fig. 7.23 Diagrama de presión del suelo R_z sobre la platea por el 2do estado de cargas

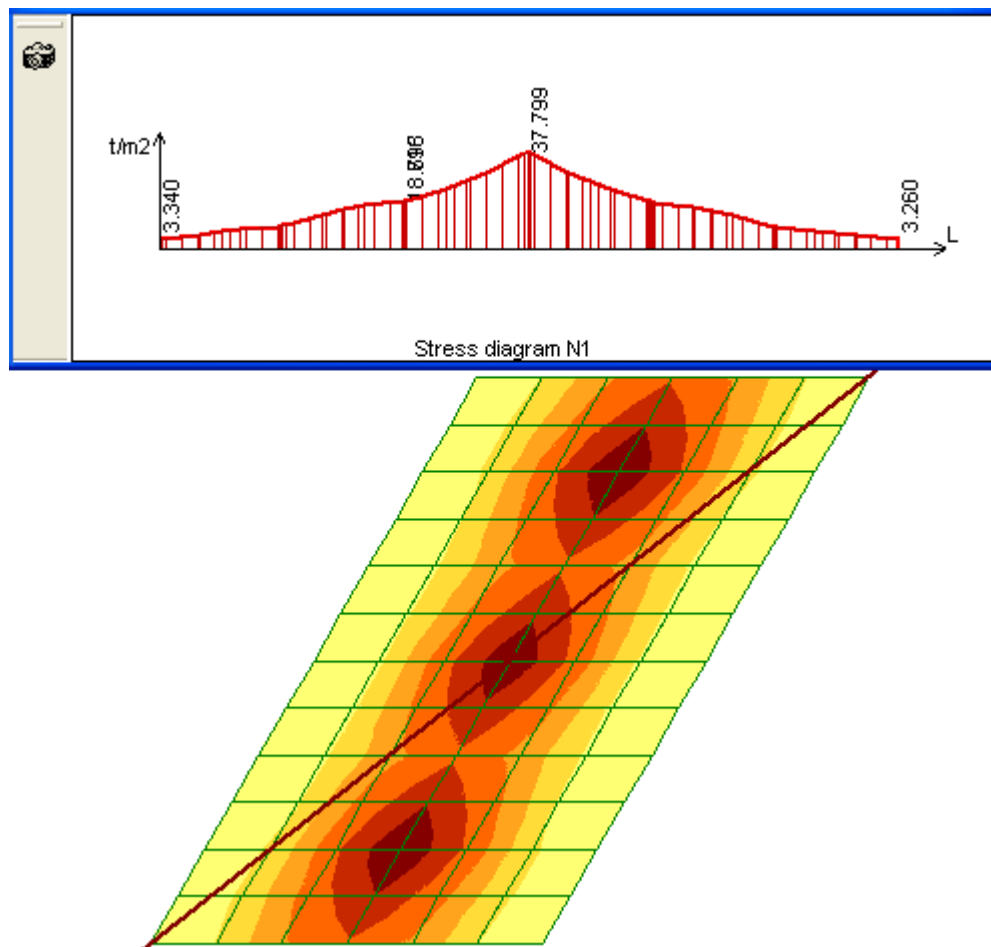


Fig. 7.24 Esfuerzo principal σ_1

CAPITULO 8

MUROS ESTRUCTURALES

PROBLEMA 10. Calcular el muro estructural de la figura 8.1, de espesor 15cm y empotrado en su base; determinando sus esfuerzos principales y equivalentes, si $P = 1T$, $P_1 = 0,5T$, $E_c = 3 \cdot 10^6 T/m^2$ y $\nu_c = 0,2$.

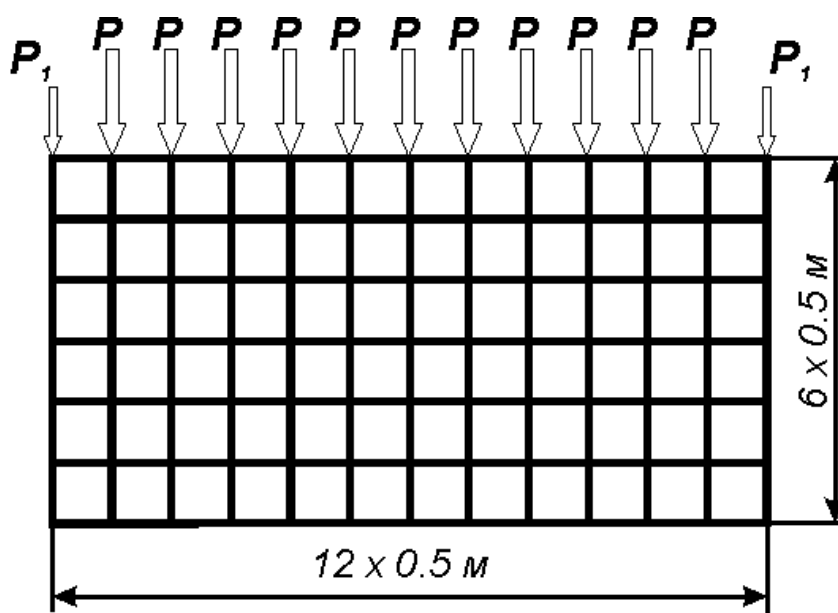


Fig. 8.1

SOLUCION:

Generamos el muro estructural, el cual tendrá dos grados de libertad (figura 8.2) y hacemos clic en , activando la generación del muro con CREATE WALL-BEAM e ingresamos la información (figura 8.3).

Fig. 8.2

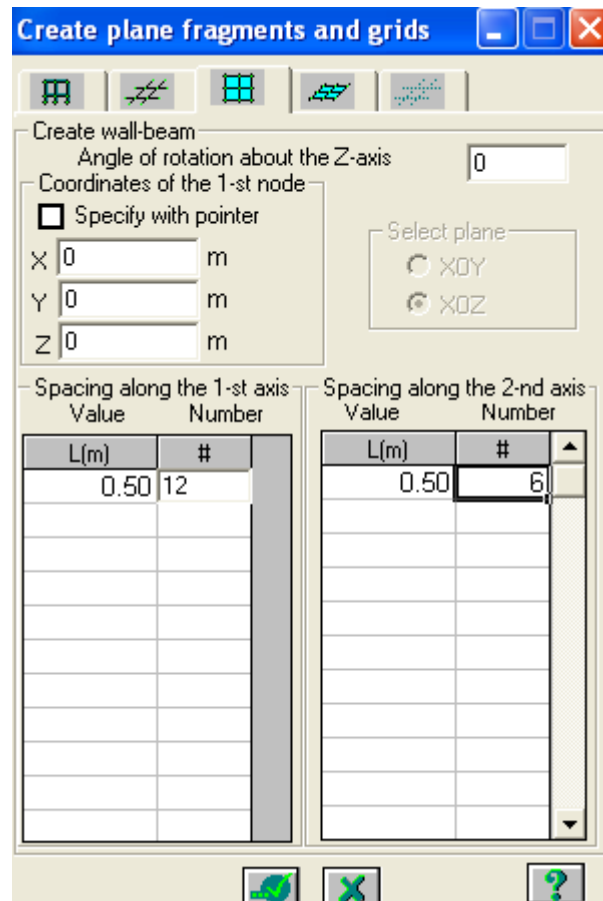


Fig. 8.3

Posteriormente, elegimos los nudos 1 al 13, correspondiente a la base (figura 8.4) y restringimos sus desplazamientos en X y Z (figura 8.5).

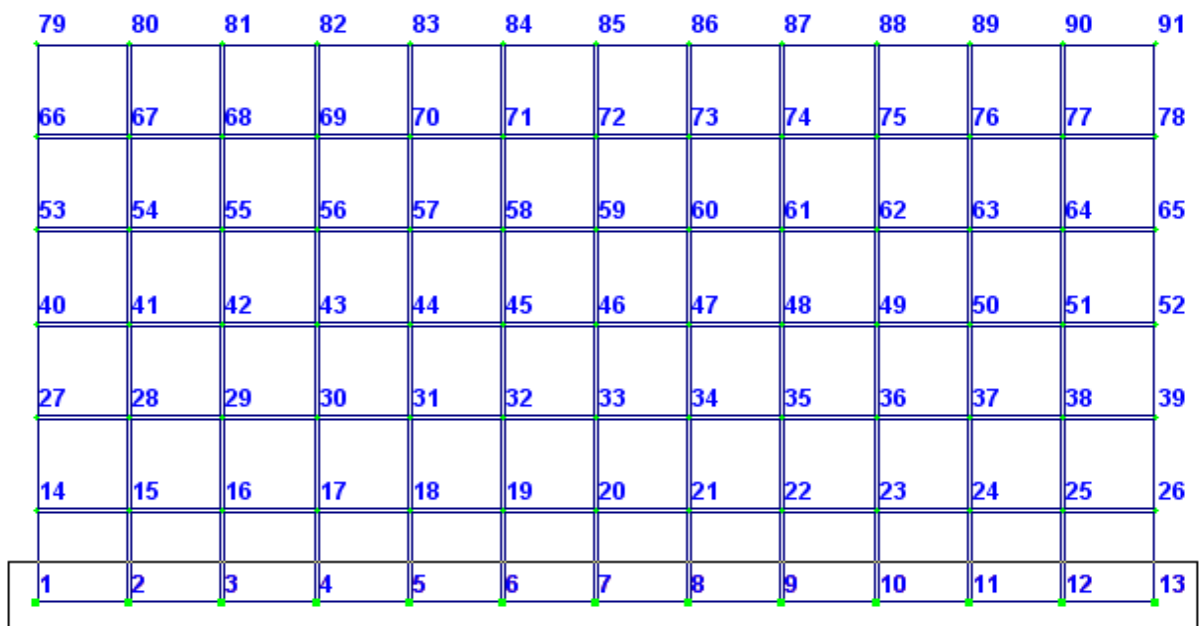


Fig. 8.4



Fig. 8.5

Una vez efectuado este proceso, en forma análoga al problema 7, ingresamos las características físico-mecánicas del concreto para todo el muro estructural.

Luego, seleccionamos los nudos donde actúan las cargas de 1T y los nudos extremos de 0,5T en el sentido vertical (figura 8.6).

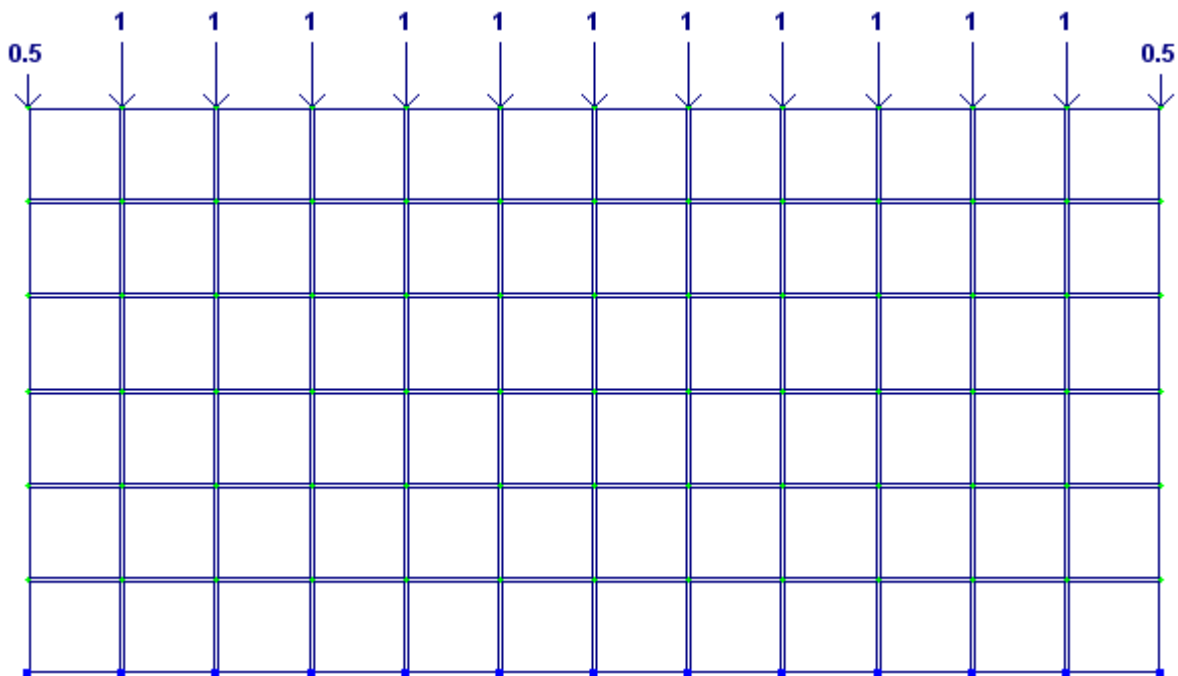


Fig. 8.6

En seguida, corremos el problema y calculamos los esfuerzos principales y equivalentes, haciendo clic en  y en CALCULATE PRINCIPAL STRESSES BY FORCES y CALCULATE EQUIVALENT STRESSES BY FORCES (figura 8.7).

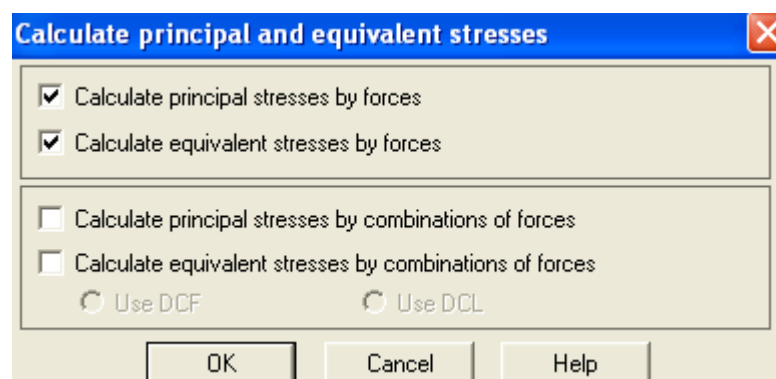


Fig. 8.7

Posteriormente, elegimos el criterio de rotura MAXIMUM PRINCIPAL STRESS CRITERION (figura 8.8).

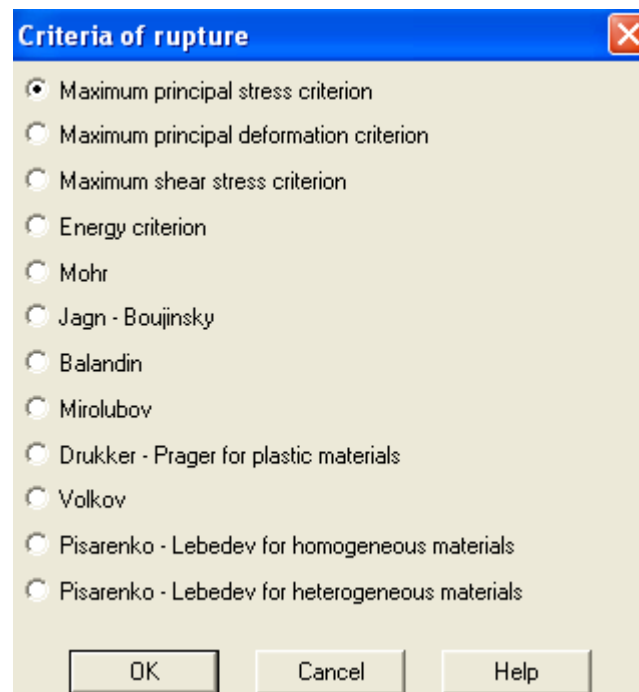


Fig. 8.8

Después, hacemos clic derecho y elegimos STANDARD TABLES y creamos PRINCIPAL AND EQUIVALENT STRESSES FOR EVERY LOADING (figura 8.9), para luego aceptarlo para todas las cargas, que en este caso solo existe un sistema de cargas.

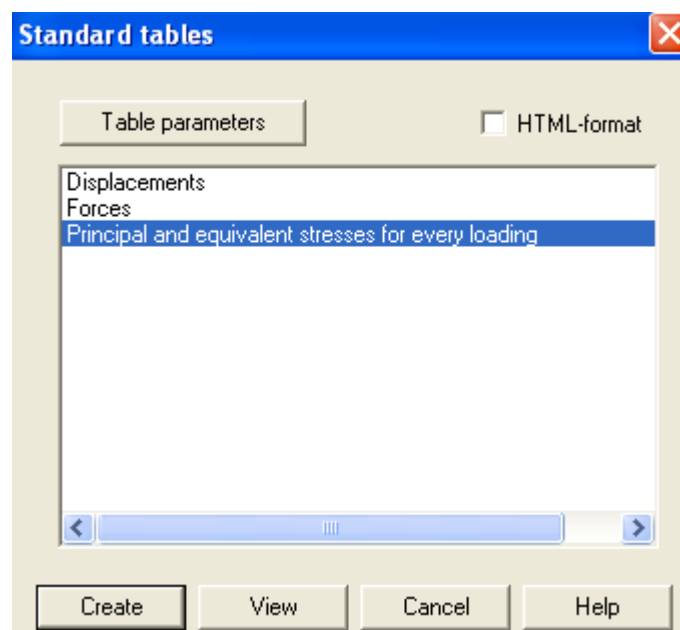


Fig. 8.9

Ahora, podemos ver los resultados del cálculo (figura 8.10 – 8.11), haciendo clic en  y  para el primer esfuerzo principal y  para el esfuerzo equivalente.

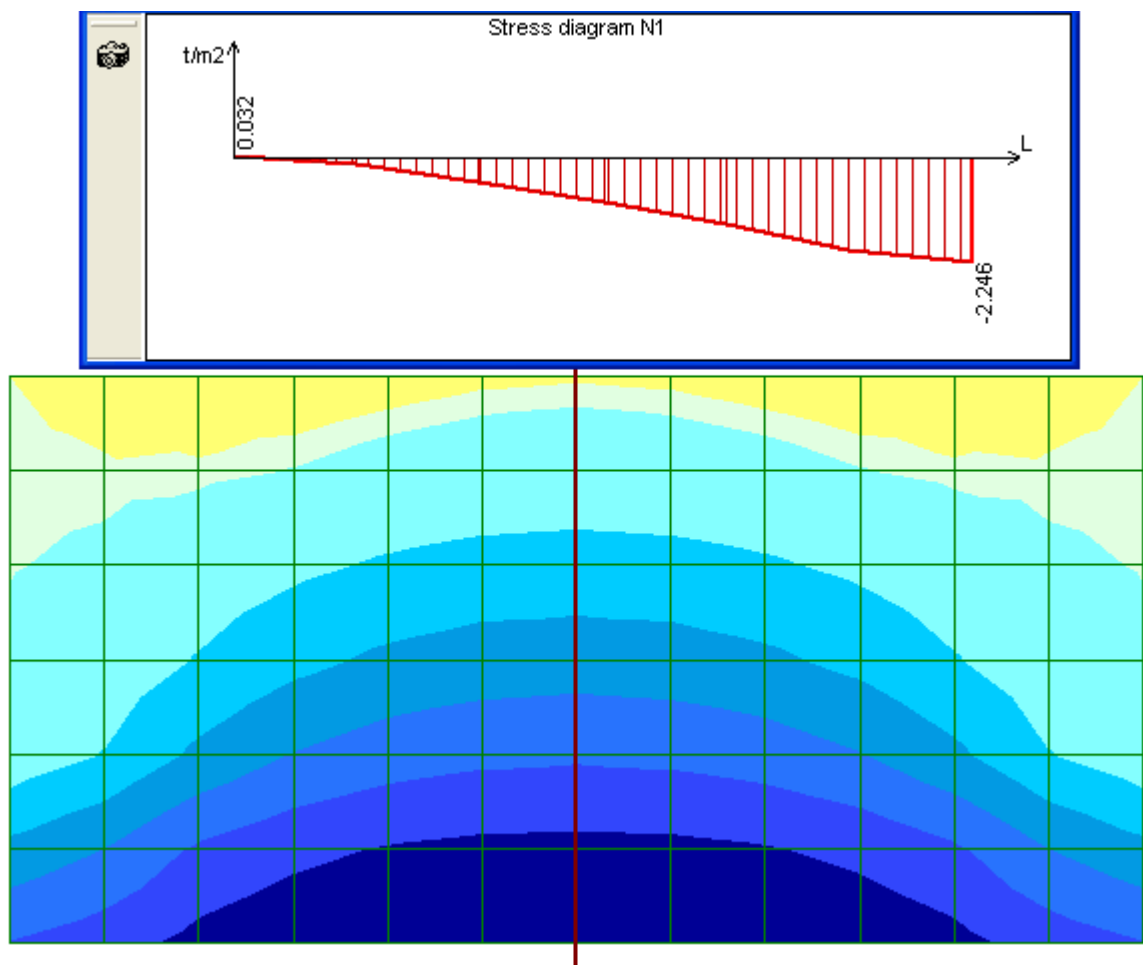


Fig. 8.10 Diagrama de esfuerzo principal $\sigma_1 = N_1$

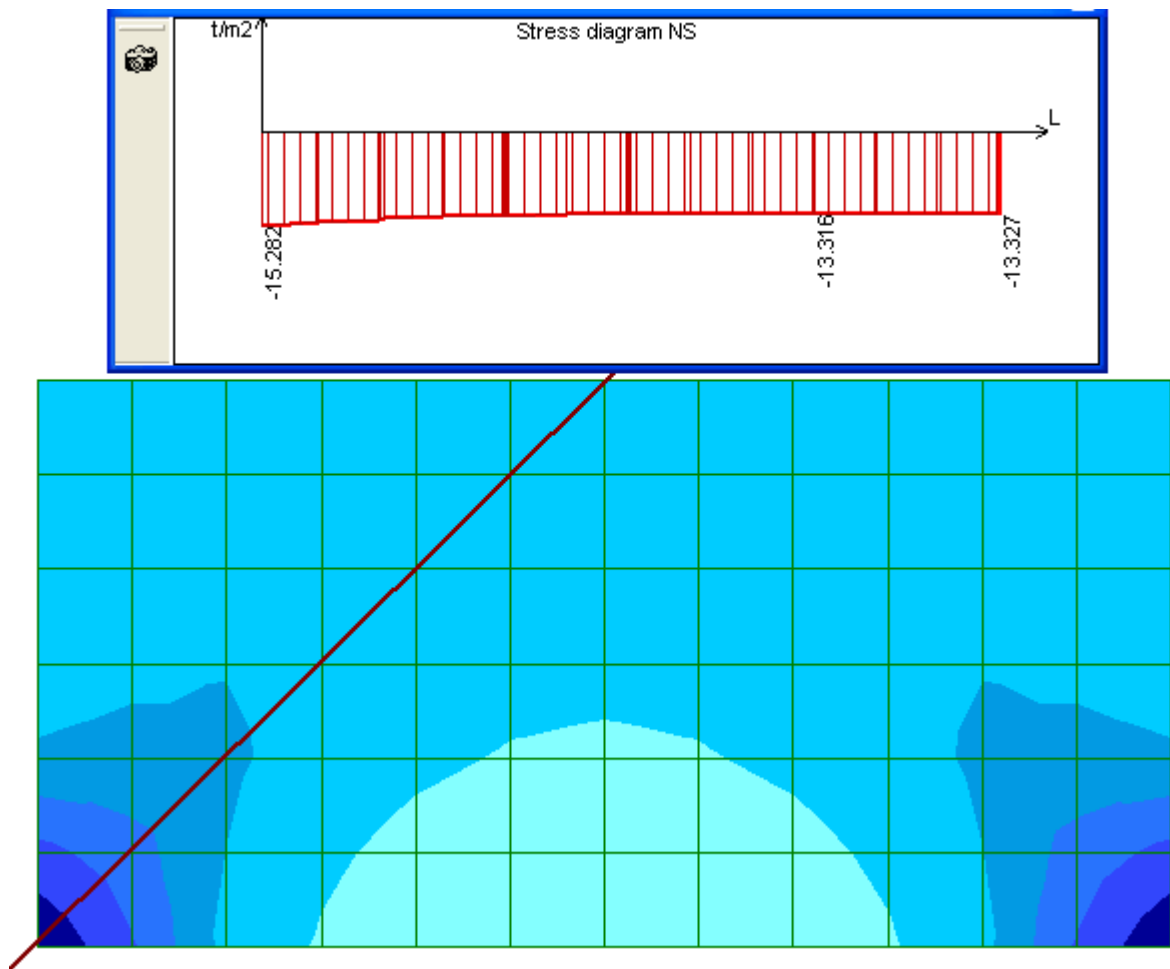


Fig. 8.11 Diagrama de esfuerzo equivalente N_s

CAPITULO 9

ARMADURAS ESPACIALES

PROBLEMA 11. Calcular una armadura espacial de 8 nudos, cuyas coordenadas son:

Nudo 1 (0, 0, 0) Nudo 2 (6, 0, 0) Nudo 3 (6, 6, 0) Nudo 4 (0, 6, 0)

Nudo 5 (1, 1, 4) Nudo 6 (5, 1, 4) Nudo 7 (5, 5, 4) Nudo 8 (1, 5, 4)

Considere que la armadura está sometida a la acción de cargas verticales de 4T en el nudo 5 y 8T en el nudo 8; asimismo los nudos de la base tienen las siguientes restricciones:

Nudo 1 (restricción en Z)

Nudo 2 (restricciones en X, Z)

Nudo 3 (restricciones en X, Y, Z)

Nudo 4 (restricciones en Y, Z)

El material de la armadura es acero con módulo $E_a = 2,1 \cdot 10^7 \text{ T/m}^2$, su sección tubular de diámetro exterior $D = 15\text{cm}$ y diámetro interior $d = 12\text{cm}$. Su geometría es la que se muestra en la figura 9.1.

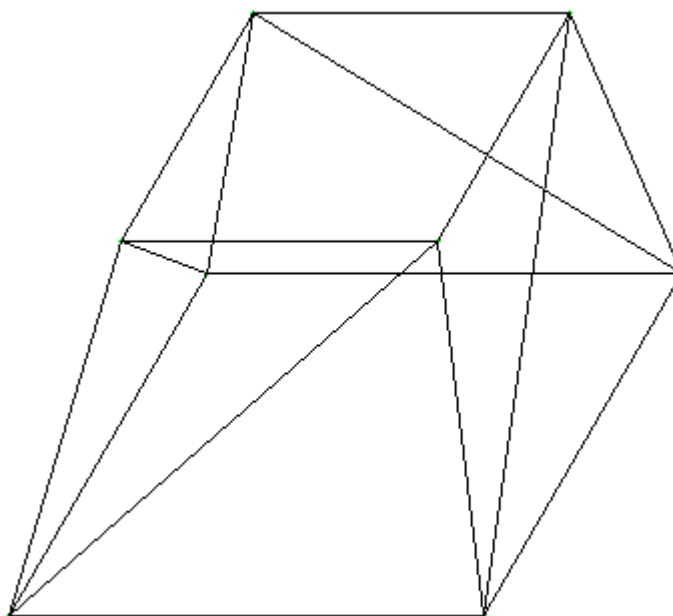


Fig. 9.1

SOLUCION:

Iniciamos el problema indicando el nombre y número de grados de libertad, que para el caso específico de una armadura espacial será de tres grados de libertad, es decir, el N° 4 de la figura 9.2.

Posteriormente, ingresamos las coordenadas de cada nudo de la armadura, a través del icono , tal como se muestra en la figura 9.3 para el nudo 1, apareciendo en forma consecutiva los nudos de toda la armadura.

Luego, unimos los nudos por medio de barras, a través del icono , y de acuerdo a la geometría mostrada en la figura 9.1.

Ahora, indicamos las restricciones en los nudos 1, 2, 3 y 4, de acuerdo a lo indicado anteriormente. Después, seleccionamos todas las barras de la armadura e ingresamos sus características geométricas de la sección transversal y finalmente seleccionamos los nudos cargados y aplicamos las cargas

específicas en el eje Z, quedando la armadura lista para correrlo por el programa y efectuamos dicha acción, obteniéndose los resultados mostrados en las figuras 9.4 – 9.6.

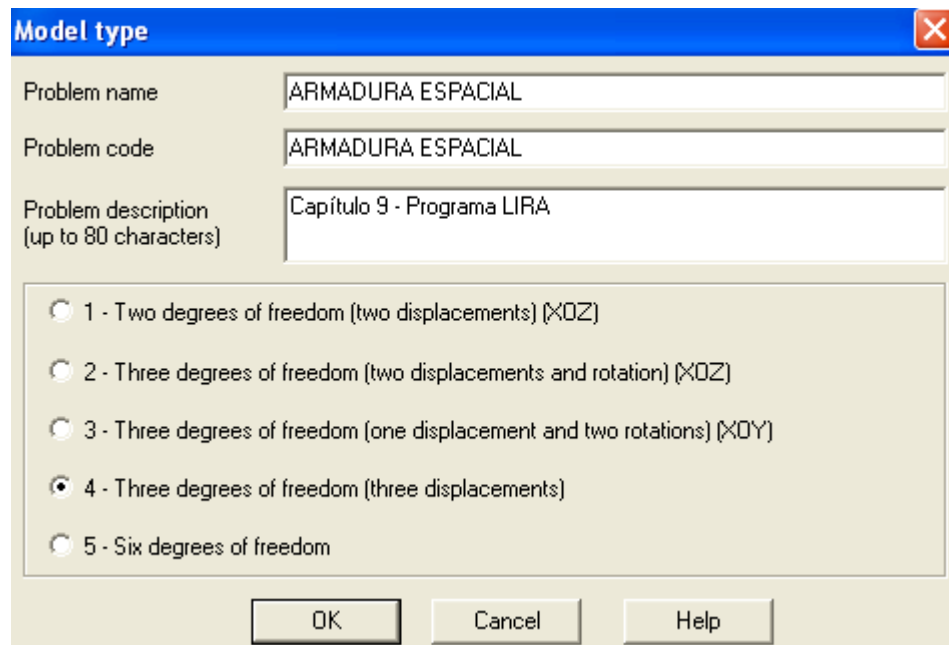


Fig. 9.2

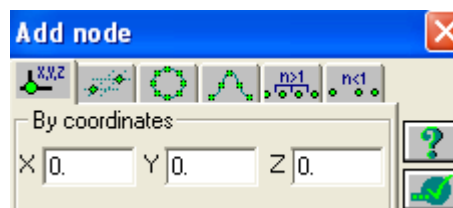


Fig. 9.3

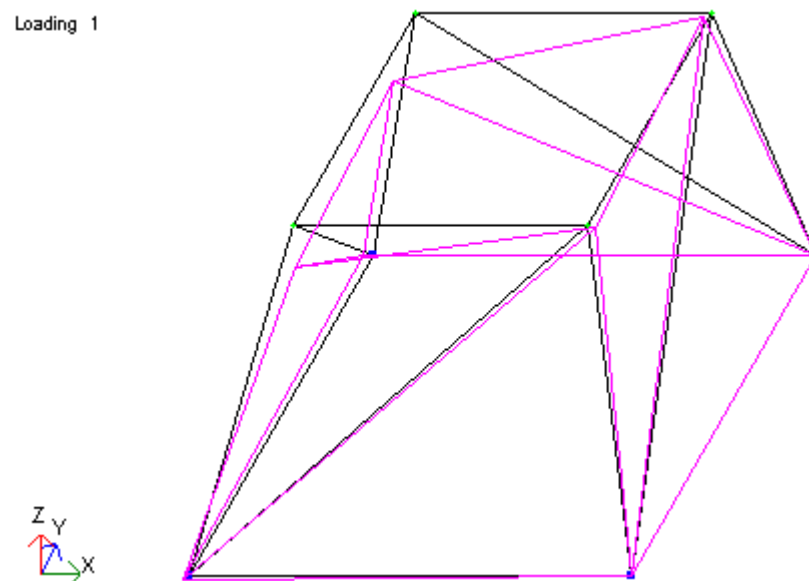


Fig. 9.4 Esquema inicial y deformado de la armadura

Loading 1
Diagram N
Units of measurement - t

Z Y
X
Minimum force -7.07107
Maximum force 1.5

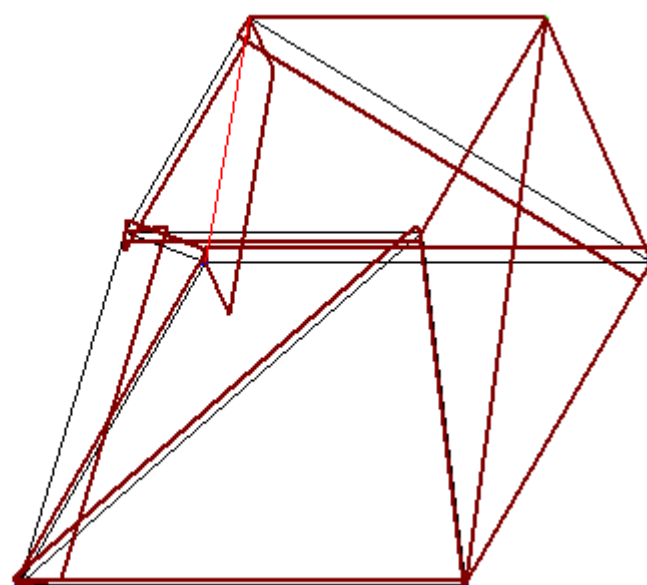


Fig. 9.5 Fuerza axial o normal



Z Y
X

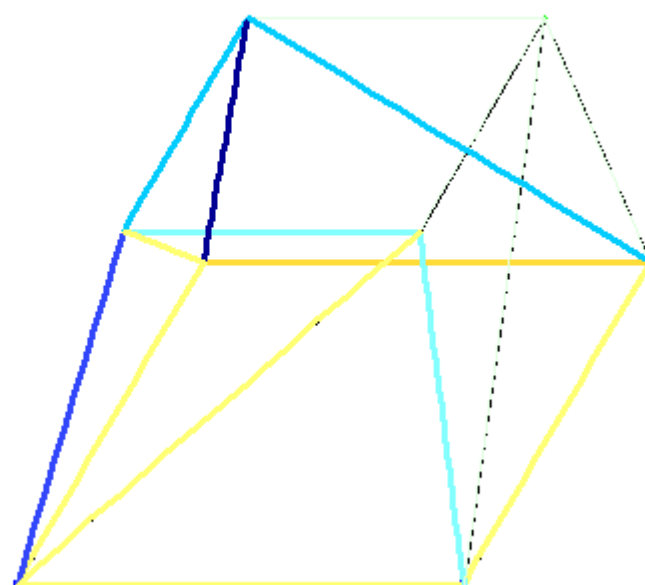


Fig. 9.6 Diagrama de isóneas de fuerza axial o normal

En la figura 9.6 se muestra el diagrama de isóneas, donde se puede apreciar que las barras 2-7, 6-7, 3-7 y 7-8 son nulas y el máximo valor se encuentra en la barra 4-8.

CAPITULO 10

EDIFICIO MULTIFAMILIAR

PROBLEMA 12. Calcular una vivienda multifamiliar de 4 pisos, de sistema estructural aporticado, con dimensiones en planta de 10m x 20m, con una altura de entrepiso de 3,5m y sometido a la acción de su peso propio. Considere que la edificación es de concreto ($E_c = 3.10^6 T / m^2$, $\gamma_c = 2,4 T / m^3$, $\nu_c = 0,2$), tiene 2 luces en el eje OX, 4 luces en el eje OY, la profundidad de conexión columna-zapata es -1m, las secciones de las columnas es de 40cm x 40cm, vigas de 40cm x 50cm y losas de 18cm para el 1ro, 2do y 3er piso y 15cm para el 4to piso.

SOLUCION:

Iniciamos indicando el nombre del problema y los grados de libertad, que en este caso serán seis, tal como se muestra en la figura 10.1.

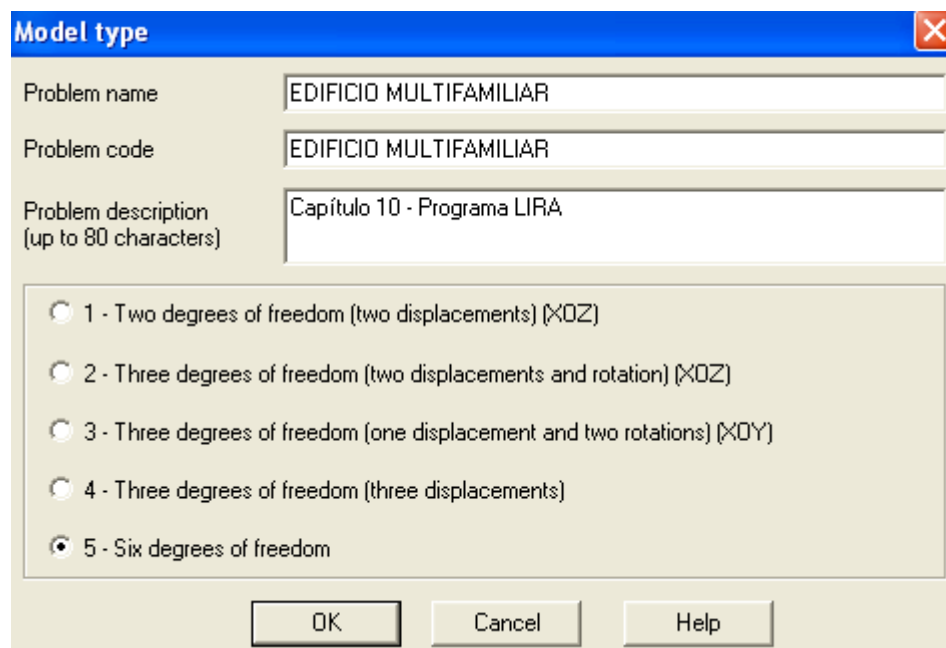


Fig. 10.1

Ahora generamos el 1er pórtico (figura 10.2) y lo repetimos los otros pórticos, ingresando 5m, 10m, 15m y 20m en el eje OY en la misma ventana de la figura 10.2.

Posteriormente, seleccionamos los nudos de los apoyos y lo corremos a una distancia -1m en el eje OZ (figura 10.3). Para que la selección sea más rápida, se puede hacer clic en , lo cual nos permitirá girar la edificación como deseemos.

Una vez corridos los nudos, indicamos sus restricciones en los 3 ejes y 3 rotaciones, por considerarlo empotrado (figura 10.4), cambiando de color al azul.

Luego, unimos los nudos para formar las vigas en cada uno de los pisos (figura 10.5).

Ahora seleccionamos los elementos verticales (figura 10.6) para ingresar las características de las secciones de las columnas (figura 10.7), haciendo clic en  y SELECT → SELECT VERTICAL ELEMENTS, seleccionando solo los verticales.

Análogamente hacemos con las vigas (figura 10.8) e indicamos sus características geométricas y físicas (figura 10.9).

Create plane fragments and grids

Create frame
 Angle of rotation about the Z-axis: 0

Coordinates of the 1-st node
☐ Specify with pointer
 X: 0 m
 Y: 0 m
 Z: 0 m

Select plane
☐ XOY
☒ XOZ

Spacing along the 1-st axis

Value	Number
L(m)	#
5.00	2

Spacing along the 2-nd axis

Value	Number
L(m)	#
3.50	4

Fig. 10.2

Move objects

☐ Into new block
☐ Pack coincident nodes

Move by parameters
 dX: 0 m
 dY: 0 m
 dZ: -1 m

Fig. 10.3

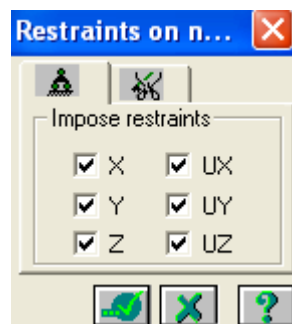


Fig. 10.4

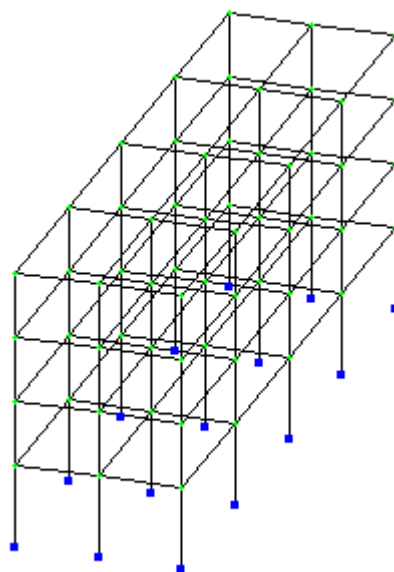


Fig. 10.5

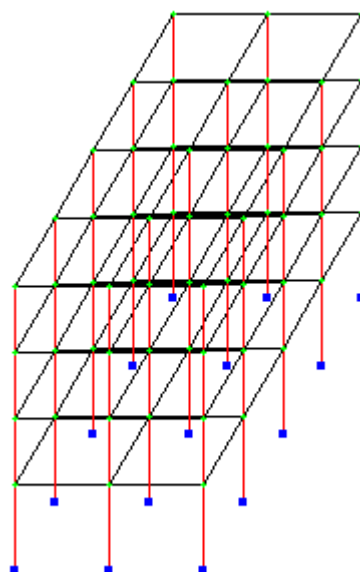


Fig. 10.6 Selección de columnas

Define standard section ✕

E t/m² OK

B cm Cancel

H cm Draw

Ro t/m³ Help

Including shear ☐

Parameters of elastic foundation

☒ Specify ☐ Calculate

C1 t/m³

C2 t/m

Nonlinear parameters ☐

Material parameters

Reinforcement parameters

Fig. 10.7 Características de las columnas

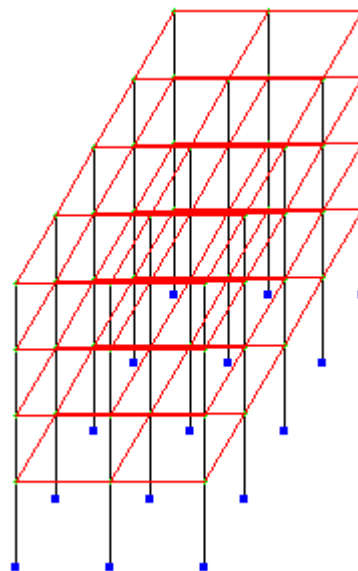
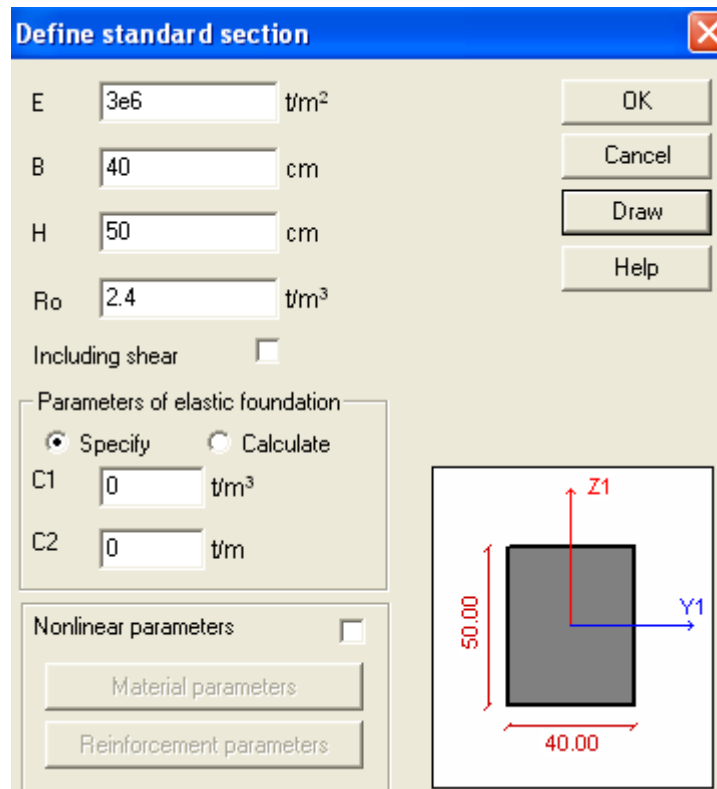


Fig. 10.8 Selección de vigas



Define standard section

E: t/m²

B: cm

H: cm

R_o: t/m³

Including shear: ☐

Parameters of elastic foundation

☒ Specify ☐ Calculate

C1: t/m³

C2: t/m

Nonlinear parameters: ☐

Material parameters

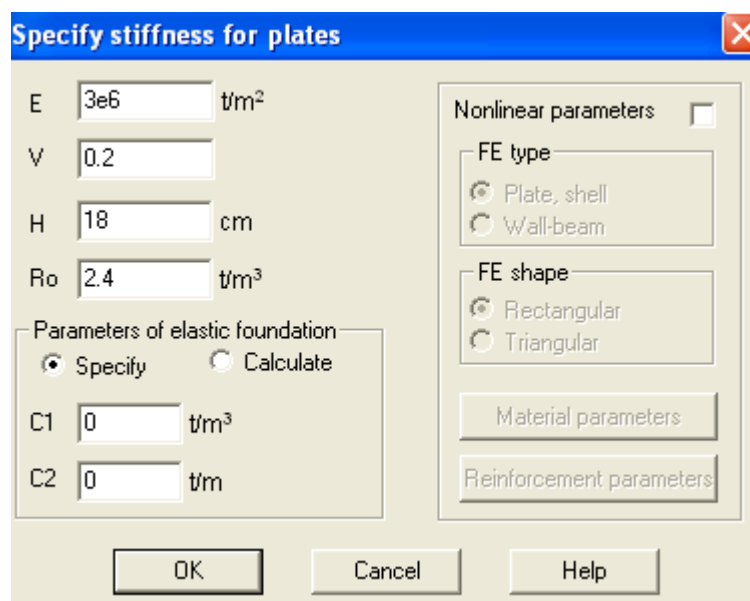
Reinforcement parameters

Diagram: A rectangular cross-section with width 40.00 and height 50.00. The Z1 axis is vertical and the Y1 axis is horizontal.

Buttons: OK, Cancel, Draw, Help

Fig. 10.9 Características de las vigas

Ahora, generamos las losas a través de los iconos  y , uniendo tres puntos de la losa, que automáticamente lo unirá el cuarto punto, apareciendo con color azul e ingresamos sus características geométricas y físicas para las losas del 1ro, 2do y 3er piso con espesor de 18cm (figura 10.10) y para las losas del 4to piso el espesor de 15cm, seleccionándolos previamente con el icono , quedando la ventana de secciones la mostrada en la figura 10.11.



Specify stiffness for plates

E: t/m²

V:

H: cm

R_o: t/m³

Parameters of elastic foundation

☒ Specify ☐ Calculate

C1: t/m³

C2: t/m

Nonlinear parameters: ☐

FE type

☒ Plate, shell

☐ Wall-beam

FE shape

☒ Rectangular

☐ Triangular

Material parameters

Reinforcement parameters

Buttons: OK, Cancel, Help

Fig. 10.10

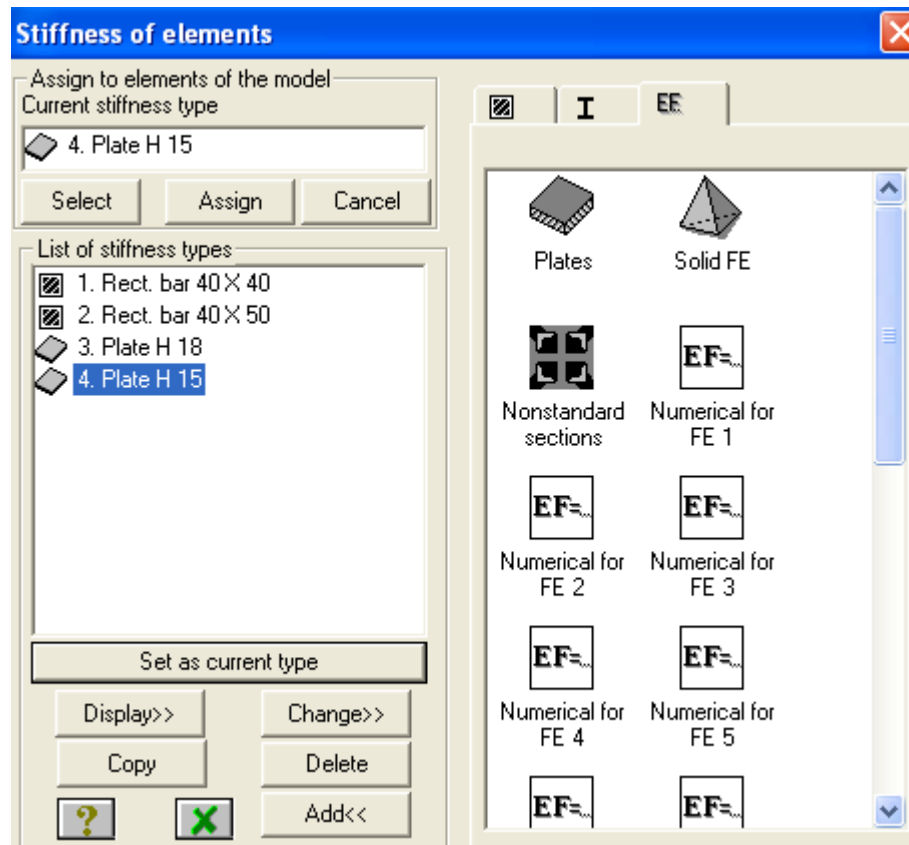


Fig. 10.11

Ahora, agregamos el peso propio a través de LOADS → ADD DEAD WEIGHT, para luego grabar el problema y correrlo, obteniendo los resultados mostrados en las figuras 10.12 – 10.15.

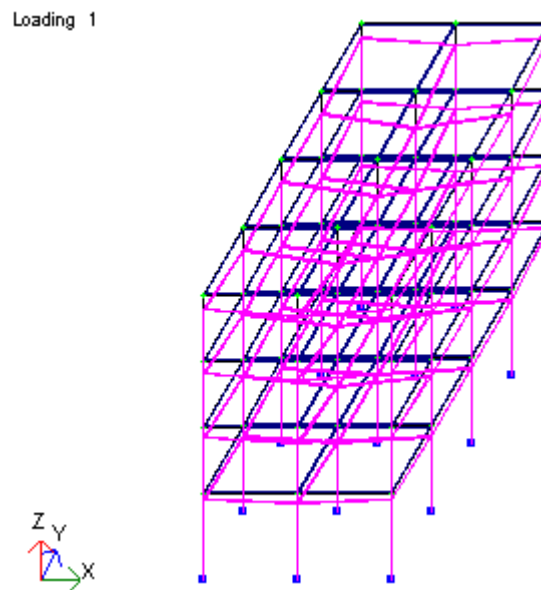


Fig. 10.12 Esquema inicial y deformado

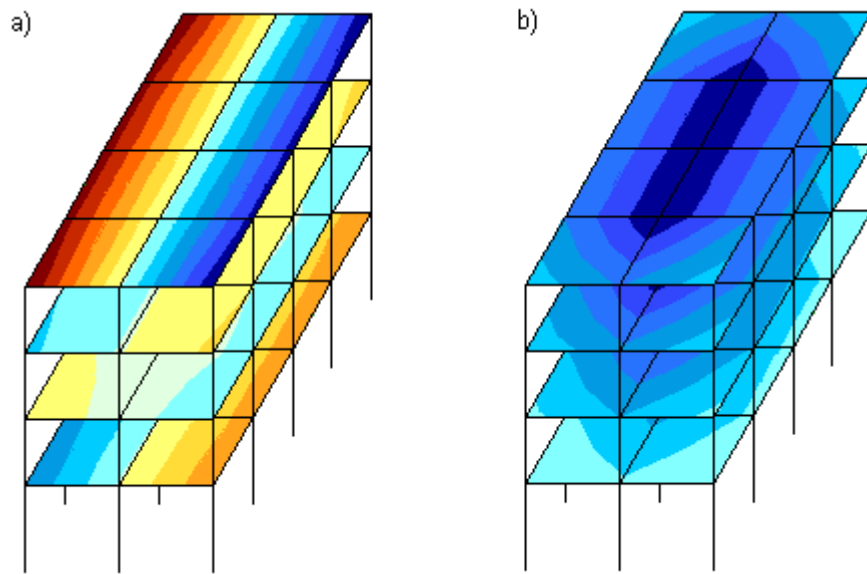


Fig. 10.13 Isolíneas de desplazamientos en los ejes OX y OZ

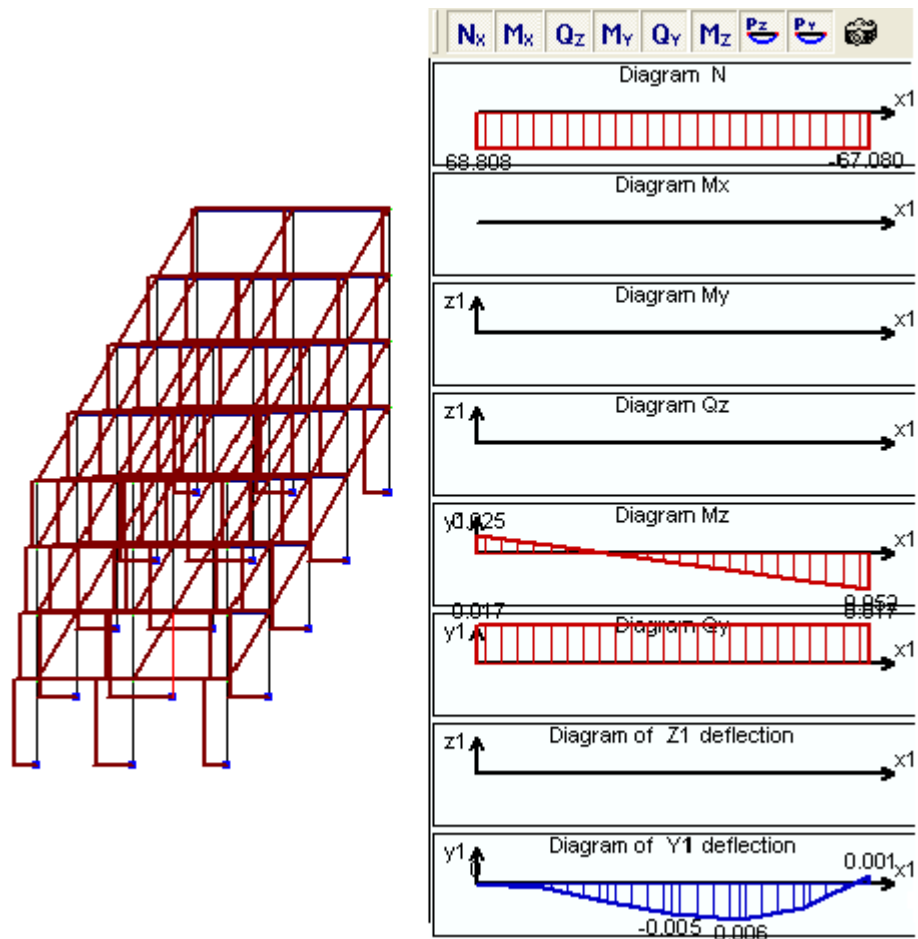


Fig. 10.14 Diagrama N y de fuerzas internas y deflexión en la columna más cargada

Loading 1
Stress contour plot for Txy
Units of measurement - t/m2

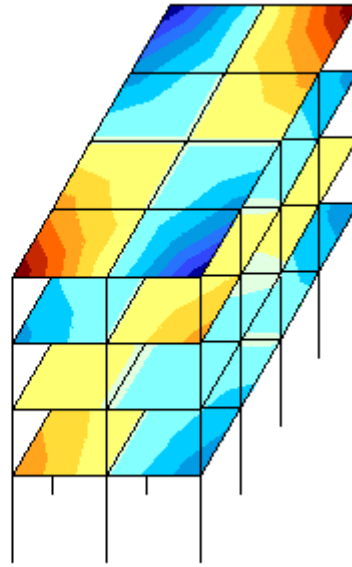


Fig. 10.15 Esfuerzo τ_{xy} en las losas

INDICE

PROLOGO	02
CAPITULO 1. ARMADURAS PLANAS	04
CAPITULO 2. VIGAS CONTINUAS	15
CAPITULO 3. CALCULO ESTATICO DE PORTICOS PLANOS	28
CAPITULO 4. CALCULO DINAMICO DE PORTICOS PLANOS	42
CAPITULO 5. NO-LINEALIDAD ESTRUCTURAL	49
5.1 NO-LINEALIDAD FISICA	49
5.2 NO-LINEALIDAD GEOMETRICA	60
CAPITULO 6. CALCULO DE LOSAS	66
CAPITULO 7. CIMENTACIONES SOBRE BASES ELASTICAS	76
CAPITULO 8. MUROS ESTRUCTURALES	92
CAPITULO 9. ARMADURAS ESPACIALES	98
CAPITULO 10. EDIFICIO MULTIFAMILIAR	101