

TABLA DE CONTENIDO

1. USO DEL PROGRAMA	3
1.1. MANIPULACIÓN DE LOS MENÚS	4
1.2. EL MENÚ INICIAL	5
1.2.1. Realizar Una Nueva Estructura	5
1.2.2. Abrir Una Estructura Guardada.....	5
1.2.3. Borrar Una Estructura.....	6
1.2.4. Créditos.....	6
1.3. EL MENÚ PRINCIPAL	7
1.3.1. Nodos	8
1.3.2. Elementos	8
1.3.3. Ejes Locales	9
1.3.4. Secciones.....	9
1.3.5. Materiales	10
1.3.6. Cargas.....	11
Cargas en los nodos.....	11
Cargas en los elementos	12
Peso propio.....	13
1.3.7. Articular	14
1.3.8. Apoyos.....	14
1.3.9. Deformaciones	15
1.3.10. Analizar!.....	16
Fuerzas	17
Momentos.....	18
Desplazamientos	18
Rotaciones	19
Diag. Axial	20
Diag. Cort.....	20
Diag. Mom.	20
Deformada.....	21
Tens-Comp.....	21
Archivo.....	22
1.3.11. Ver.....	22
1.3.12. Giro Positivo y Negativo.....	23
1.4. OPCIONES DE SALIDA	23
2. CASOS ESPECIALES	24
3. OPTIMIZACIÓN DE LA MEMORIA.....	25
3. UNIDADES.....	26
4. EJEMPLOS	27
4.1. EJEMPLO 1: VIGA HIPERESTÁTICA CON UNA ARTICULACIÓN	27

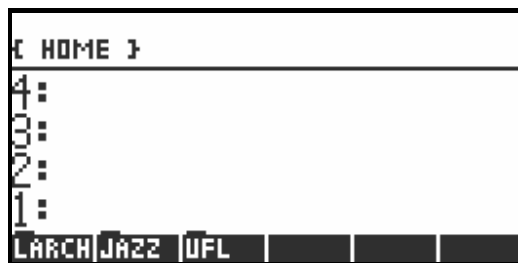
4.2. EJEMPLO 2: MARCO-ARMADURA.....	40
4.3. EJEMPLO 3: MARCO TRIDIMENSIONAL CON UN DESPLAZAMIENTO PREVIO	54
4.4. EJEMPLO 4: MARCO TRIDIMENSIONAL.....	61
4.5. EJEMPLO 5: NUEVA SECCIÓN.....	66

LARCH ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El programa LARCH ANALISIS ESTRUCTURAL es un software que facilita al Ingeniero Civil o estudiante, los resultados del análisis estructural de primer orden realizado a alguna estructura, siendo operado desde una calculadora programable HP 48GX. Dicho programa optimiza al máximo la utilidad de la memoria libre de la calculadora para poder realizar cálculos con poca memoria libre, dentro de un entorno gráfico de fácil interpretación.

1. USO DEL PROGRAMA

Una vez instalado el programa en librería, se puede acceder a él buscándolo entre las librerías instaladas:



Una vez introducido en la carpeta, aparecerá el único comando que permite ingresar al programa con el título LARCH, el cual debe ser presionado. Esto hará que el programa inicie, presentando el gráfico de portada:



Como lo muestra el gráfico, se debe presionar la tecla ON para continuar con la ejecución del programa.

1.1. MANIPULACIÓN DE LOS MENÚS

El desarrollo del programa se basa en una cadena de menús que permiten introducir las características de la estructura. Los menús presentan una serie de opciones que se eligen con una barra de desplazamiento, la cual se moviliza entre las opciones mediante las siguientes teclas:

CST : Asciede una posición entre las opciones.

EVAL : Desciende una posición entre las opciones.

STO : Movimiento rápido hasta la primera opción.

◀ : Movimiento rápido hasta la última opción.

ENTER : Elige la opción seleccionada.

ON : Cancela y cierra menú.

1.2. EL MENÚ INICIAL

Una vez presentada la portada, el programa ingresa al menú inicial, mostrando la cantidad de memoria disponible; este menú es el siguiente:



Desde aquí, el usuario puede elegir entre varias opciones:

1. Realizar una nueva estructura, teniendo que introducir todas sus características.
2. Abrir una estructura previamente guardada.
3. Borrar estructuras guardadas para liberar memoria.
4. Visualizar en pantalla el nombre del programador.

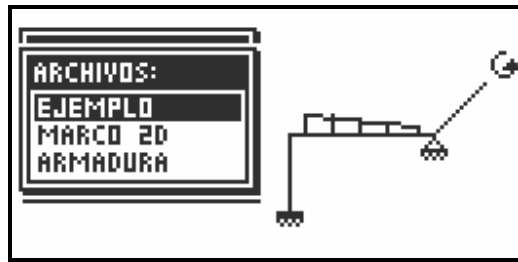
1.2.1. Realizar Una Nueva Estructura

Mediante esta opción el usuario puede iniciar todo el proceso de ingreso de datos que indicarán al programa la configuración de la estructura. Este proceso será detallado mas adelante.

1.2.2. Abrir Una Estructura Guardada

Con esta opción se dispone de la posibilidad de recuperar las características de una estructura previamente guardada, ya sea para modificarla o para

iniciar el proceso de análisis. Se puede ingresar al submenú de estructuras guardadas únicamente si existen estructuras archivadas. La presentación en pantalla es la siguiente:



En caso que existan estructuras guardadas, abre un submenú con las estructuras guardadas y muestra una vista preliminar de cada una. Luego que se ha seleccionado alguna ingresa al menú principal.

1.2.3. Borrar Una Estructura

Al igual que la opción anterior, el acceso a esta opción depende de si existen estructuras guardadas, ya que de ser así ingresa a un submenú idéntico con las estructuras existentes, mostrando una vista preliminar de cada estructura. Luego que se ha seleccionado alguna, la borra y regresa al menú inicial.

1.2.4. Créditos

Los créditos informan al usuario de la intención del programa y del programador que lo realizó. Mantiene en pantalla la información hasta que se presione una tecla.



Si se ingresó una estructura guardada o se prefirió generar una nueva estructura, el programa ingresa al menú principal, el cual facilita todas las opciones para realizar o editar una estructura.

1.3. EL MENÚ PRINCIPAL

En el menú principal, el usuario tiene la facultad de editar y definir datos de la estructura. Consta de 10 submenús los cuales brindan todas las herramientas para la manipulación de la estructura en un ambiente gráfico.



En el menú principal se da simultáneamente la actualización de la pantalla ante algún cambio. Permite mostrar la ubicación de los nodos y elementos, la aplicación de las cargas, los nodos articulados, los apoyos, la dirección de los ejes locales y si la estructura es tridimensional, permite rotar la estructura para visualizarla desde otro punto. También facilita el acceso a una librería de secciones de dimensiones variables y a una librería de materiales con sus propiedades. Además permite introducir deformaciones a los nodos.

Esto submenús serán descritos a continuación.

1.3.1. *Nodos*

Esta es la primera opción del menú principal, desde la cual se pueden introducir, editar, copiar y borrar las coordenadas de los nodos. Luego de ingresar las coordenadas de los nodos, el programa actualiza la pantalla gráfica y facilita las nuevas opciones para la manipulación de los nodos.

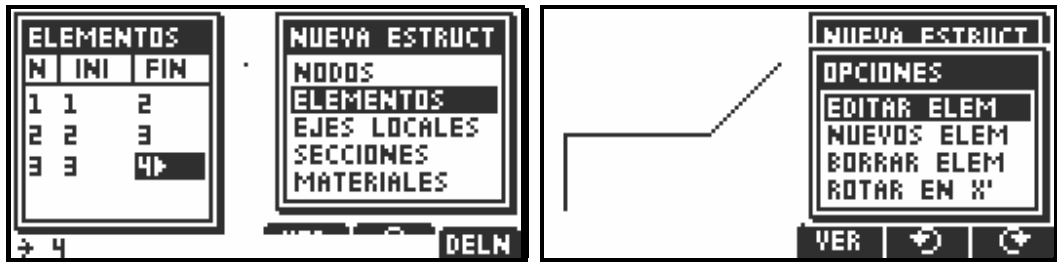
Estas coordenadas deben tener unidades concordantes con las propiedades las secciones y los materiales de los elementos, ya que si se desea utilizar las librerías de secciones y materiales, las coordenadas de los nodos deben de estar en metros.



A menudo, en el proceso de introducción de datos en forma de filas y columnas aparecerá una opción en la parte inferior derecha de la pantalla llamada DELN, la cual permite al usuario borrar toda la fila en la cual se posiciona, siempre y cuando la barra de edición esté en la primera columna.

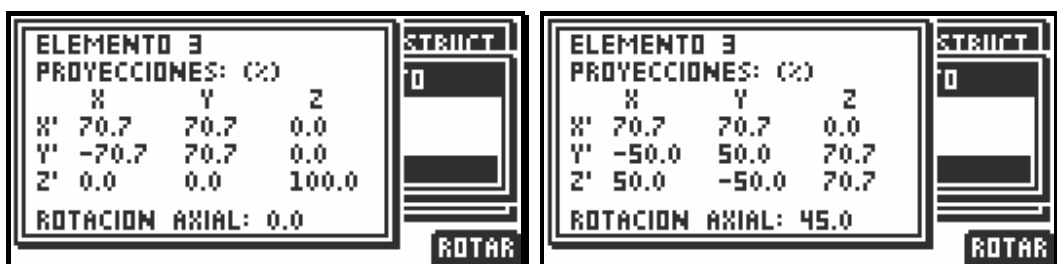
1.3.2. *Elementos*

La opción siguiente es la que permite ubicar los elementos, basado en los nodos previamente introducidos. Tiene además una conjunto de opciones para editar, borrar y rotar los elementos. Luego actualiza la pantalla.



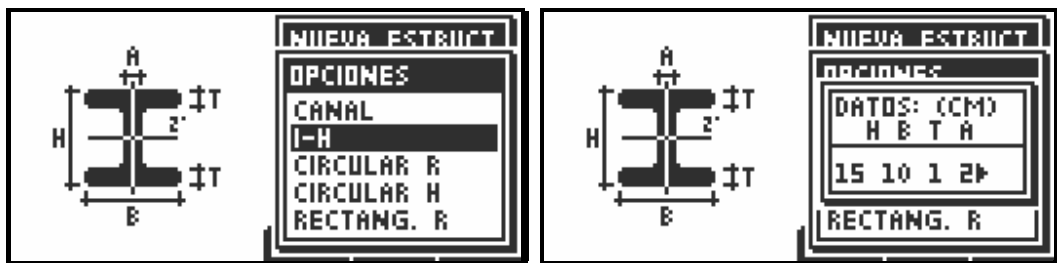
1.3.3. Ejes Locales

Con esta opción el usuario puede visualizar e interpretar la ubicación de los ejes locales, mediante la proyección porcentual que tienen en los ejes globales. Además permite rotar el elemento, para obtener la orientación deseada de los ejes locales. Esta rotación parte de la posición inicial del elemento y debe ser introducida en grados decimales. Dicha opción está disponible en el submenú ELEMENTOS, pero no visualiza la posición de los ejes locales, sin embargo muestra la rotación de todos los elementos y permite rotarlos simultáneamente.



1.3.4. Secciones

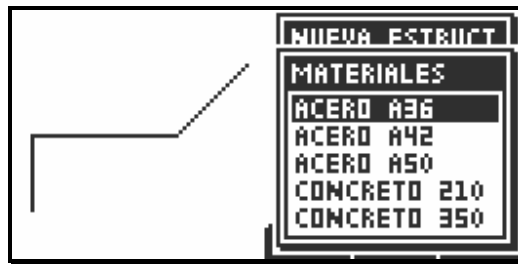
Este submenú es el encargado de acceder a la librería de secciones incorporadas del programa. Contiene 9 secciones predeterminadas, mostrándolas de su forma general para que el usuario solamente defina sus dimensiones. Además brinda la posibilidad de crear una sección al gusto del usuario, calculando internamente la posición del centroide, área total de la sección y momentos de inercia en el centroide. Las dimensiones de la sección deben ser introducidas en centímetros, sin embargo se da la opción para introducir directamente las propiedades de la sección, las cuales deben ser concordantes con las unidades de las coordenadas de los nodos y las propiedades de los materiales.



La forma correcta para definir una nueva sección es introduciendo puntos consecutivos en dirección contraria a las agujas del reloj, que definan el contorno de la sección. En caso que se definan a favor de las agujas del reloj, se generaría una sección negativa, con lo cual se logran introducir espacios huecos dentro de la sección.

1.3.5. Materiales

La siguiente opción es la que permite aplicar a los elementos un tipo de material, utilizando una librería con distintos tipos de materiales. Tiene la opción para introducir las propiedades de otro material, donde el usuario debe de estar consiente de que las unidades sean coherentes con las de las cargas y las coordenadas de los nodos.



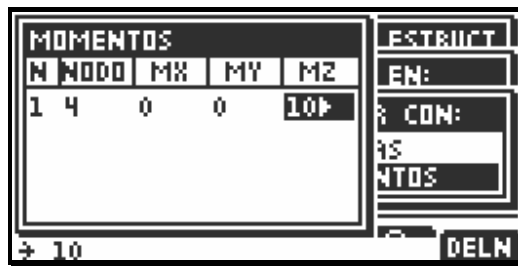
1.3.6. Cargas

Esta opción es una de las mas complejas, ya que permite una amplia cantidad de cargas. Inicialmente, el submenú muestra las opciones mas generales para cargas: cargas en los nodos, en los elementos o con el peso específico. Partiendo de la opción elegida, se introduce en una serie de submenús hasta llegar a especificar lo mejor posible el tipo de carga. La unidades de las cargas deben concordar con las unidades de las propiedades de los materiales.



Cargas en los nodos

Las cargas en los nodos se bifurcan en dos posibilidades: fuerzas puntuales y momentos puntuales, a ahí se ingresa a un ambiente de filas y columnas, donde se introducen las cargas, teniendo que indicar el nodo cargado y las cargas en X, Y y Z respectivamente.



Luego que se han indicado las cargas, la pantalla gráfica se actualiza.

Cargas en los elementos

Para cargar los elementos se pueden cargar en dos opciones: en ejes locales (x' , y' y z') y en ejes globales (X , Y y Z).



Esta división se hace principalmente, porque frecuentemente se hallan cargas aplicadas perpendicularmente al elemento, o en forma axial, casos que se solucionan cargando los elementos en sus ejes locales; pero también existe la posibilidad de aplicar cargas paralelas a los ejes globales. La forma de insertar cualquiera de las cargas (fuerzas puntuales, cargas distribuidas y momentos puntuales) locales o globales, es la misma: se debe introducir el elemento cargado, la posición en x' de la carga partiendo del punto que se definió como inicial (para el caso de las cargas distribuidas se deben digitar la posición donde inicia la carga y donde termina) y el valor de la carga (en

cargas distribuidas se pone el valor de la carga en el punto inicial y el valor en el punto final de la carga).

CARGA DISTRIBUIDA EN Y					
N	ELEM	XI'	XF'	WI	WF
1	2	2	18	-2	-18

→ -1 DELN

Una vez terminada la etapa de carga de la estructura, la pantalla gráfica realiza los cambios correspondientes para actualizar la estructura.

Peso propio

El peso propio es una opción que por el tipo de carga, debería estar dentro de las cargas sobre elementos, sin embargo como es una opción que no se grafica, solamente se indica en pantalla, se prefirió facilitar su acceso desde el primer submenú.



Al ingresar a la opción activa o desactiva la carga del peso propio de los elementos, indicando en la parte superior izquierda de la pantalla, el estado de la carga.

1.3.7. Articular

Esta opción permite al usuario articular nodos. La subrutina asociada a esta opción facilita la posibilidad de articular inicialmente todos los nodos de la estructura (para generar una armadura), además en casos que existan nodos con mas de dos elementos, permite articular varios elementos, manteniendo rígidos los no seleccionados. Luego de la introducción de las articulaciones al programa, se precede a graficar los nodos con algún tipo de articulación.

1.3.8. Apoyos

Permite restringir los grados de libertad a los nodos. Contiene 3 tipos de apoyos clásicos: rodillo, articulado y empotrado, además permite personalizar algún tipo de restricción nodal utilizando una simbología binaria simple: 1 (restringido) y 0 (no restringido), de tal forma se definen los 6 grados de libertad nodales: desplazamientos en X, Y y Z, y rotaciones en X, Y y Z separados por un espacio.



En caso que se elija el apoyo de rodillo, el programa tiene la capacidad de considerar la inclinación del suelo, teniendo que introducirse el ángulo de rotación del suelo en grados decimales.



Es importante que el usuario tenga el pleno conocimiento que la estructura diseñada no se encuentre en un estado de mecanismo, ya que aunque el programa hace lo posible por verificarlo, en el mayor de los casos no puede evitarlo, dando resultados absurdos.

Finalizada la introducción de los apoyos a la estructura, se grafican en pantalla para mostrarle al usuario los nodos restringidos.

1.3.9. Deformaciones

La penúltima opción permite introducir desplazamientos y rotaciones previas a la estructura, siendo considerados al momento del análisis. Esta opción se

divide en dos posibilidades: desplazamientos (los que deben ser introducidos en unidades concordantes a las coordenadas de los nodos) y rotaciones (que deben ser introducidos en radianes por ser la unidad resultante del método de rigidez para las rotaciones). Para ambos casos, se debe introducir: el nodo deformado y las tres deformaciones en X, Y y Z.



1.3.10. Analizar!

Luego que se ha introducido la estructura, el menú principal da como última opción el proceso de análisis, comprobando si la estructura tiene los requisitos mínimos antes de ingresar. Cerciorado esto, prosigue con el análisis.



Durante el proceso de análisis se muestra una barra de avance la cual indica porcentualmente el proceso realizado, además informa de la subrutina que se está realizando y de la cantidad de memoria disponible para la subrutina.

Finalizado el proceso de análisis, el programa espera la orden del usuario para mostrar los resultados, por lo cual se debe presionar alguna tecla para continuar. Luego el programa abre un nuevo submenú con distintas formas para mostrar los resultados del análisis.



El programa LARCH ANALISIS ESTRUCTURAL genera internamente los diagramas de cuerpo libre de cada elemento, dando como resultado del análisis las cargas necesarias en los extremos de los elementos para mantener su equilibrio estático. Por lo tanto las cuatro primeras opciones son los valores de las fuerzas, momentos, desplazamientos y rotaciones que experimentan los elementos en sus extremos en los ejes globales y locales.

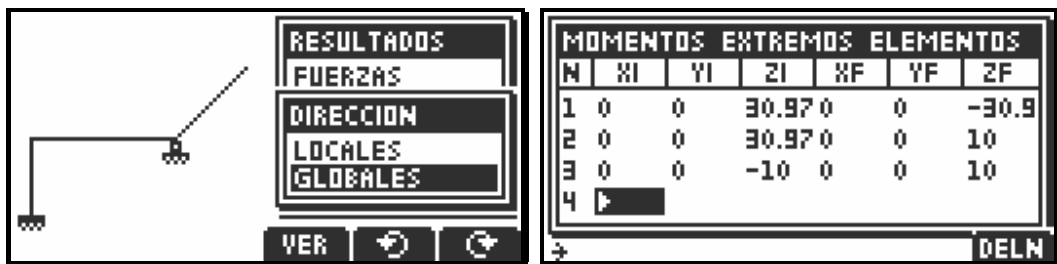
Fuerzas

Esta opción permite visualizar las fuerzas en los extremos de los elementos en coordenadas locales o globales.



Momentos

Muestra los momentos en los extremos de los elementos en coordenadas locales o globales.



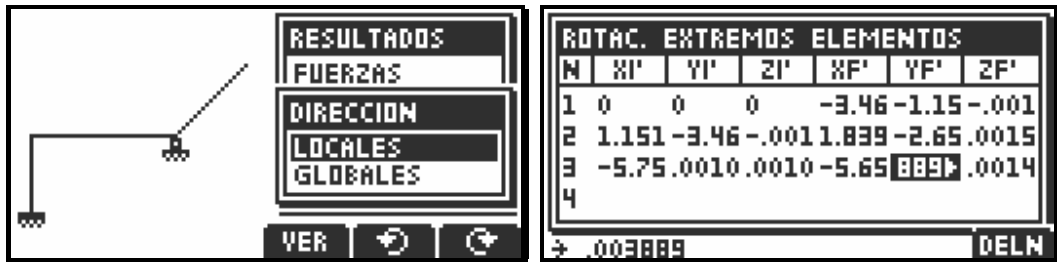
Desplazamientos

Permite al usuario obtener los desplazamientos de los extremos de los elementos debido a la acción de las cargas.



Rotaciones

Facilita las rotaciones de los extremos de los elementos.



Las siguientes cuatro opciones, son las que grafican la distribución de las fuerzas internas en los elementos. Estas opciones disponen del interés del usuario para mostrar en una forma específica o general los diagramas de fuerzas internas. La forma general grafica proporcionalmente los diagramas de todos los elementos sobre la estructura sin tener un acceso a los valores de los diagramas. La forma específica grafica en forma individual los diagramas de cada elemento, permitiendo el acceso a los valores del diagrama en tres formas distintas:

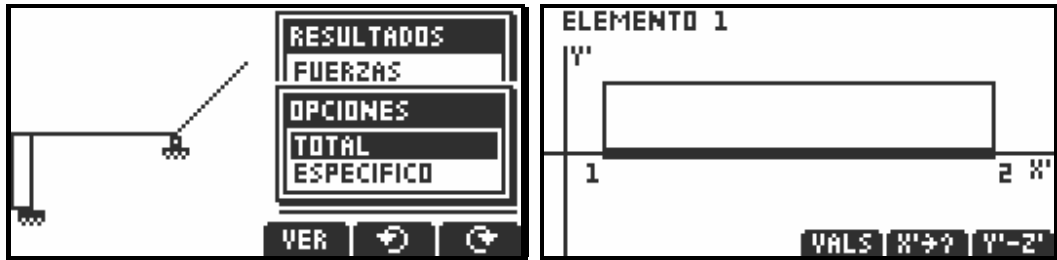
Mediante el comando **VALS** se dan los valores cada décimo de la longitud, pero si existe algún cambio en la ecuación de la carga, divide el elemento en varias partes, mostrando los valores en un décimo de cada parte.

Utilizando el comando **X' → ?** se puede estimar en valor del diagrama a una posición específica x' .

La última opción es **X' - Z'**, la cual permite visualizar el otro plano local, intercambiando entre los planos $x'-y'$ y $x'-z'$.

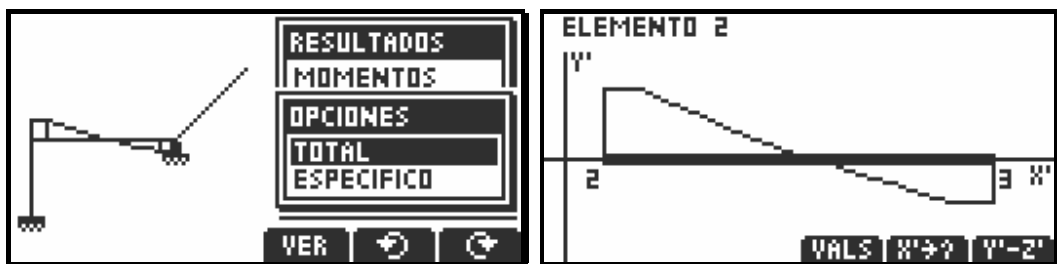
Diag. Axial

Es la opción gráfica que permite realizar los diagramas de fuerza axial.



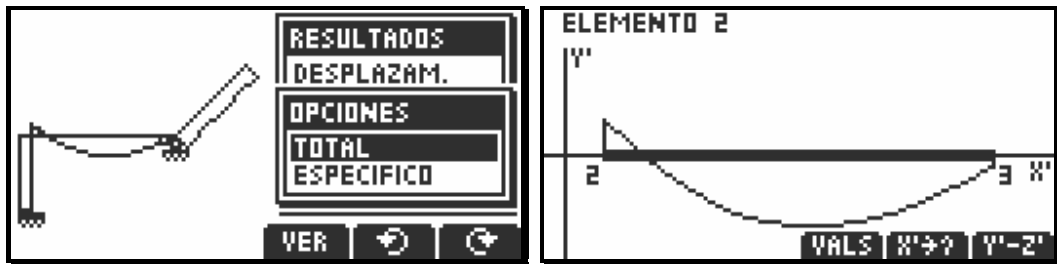
Diag. Cort.

Permite graficar el diagrama de fuerza cortante.



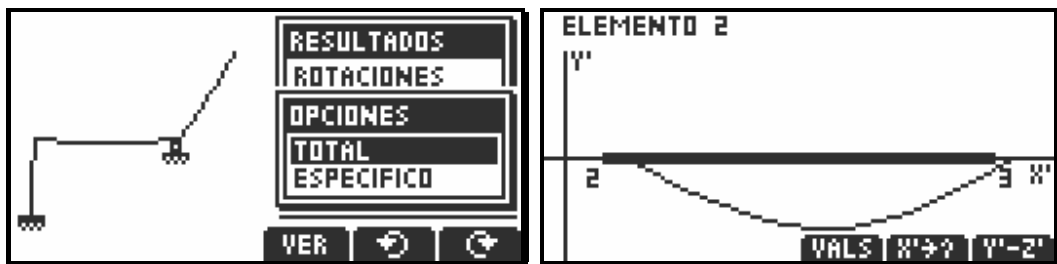
Diag. Mom.

Grafica los diagramas de momento flexionante.



Deformada

La deformada no es propiamente un diagrama, mas bien es la gráfica de cómo se deforma la estructura ante la acción de las cargas.



Tens-Comp

Luego de las opciones gráficas, existe una variante que modifica los diagramas de fuerzas antes vistos, debido a que los diagramas pueden ser graficados del lado de la tensión o del lado de la compresión (excepto la deformada). Esta opción es para ajustar los diagramas a una nomenclatura definida por el usuario, que por defecto, inicialmente es de lado de la tensión.

Archivo..

Esta es la opción que ensambla un texto con todas las características de la estructura, nombrándolo como la variable DATOS. Esta variable puede ser enviada a un computador mediante algún programa de transferencia ASCII, para ser visualizado, editado e impreso. Sin embargo, dicho texto también puede observarse y editarse desde la calculadora.

LARCH ANALISIS ESTRUCTURAL, no muestra una salida sobre las cargas internas en los nodos porque como considera nodos articulados, los elementos conectados a alguna articulación, tendrían rotaciones distintas en este extremo. Sin embargo, para el caso de nodos rígidos, las fuerzas internas totales en el nodo pueden hallarse como la suma de las fuerzas internas globales de cada elemento que coincide con el nodo.

Terminado así el menú principal, existen tres funciones auxiliares que se recomiendan utilizar cuando se está propiamente en el menú principal (y no en cualquier submenú, salvo Analizar!)

1.3.11. Ver

Este comando abre un submenú con opciones para personalizar la pantalla gráfica, permite visualizar los ejes globales por un corto lapso, ver la estructura en cualquiera de los tres planos principales o tridimensionalmente, observar la numeración de los nodos y los elementos, y ocultar o visualizar los elementos, cargas y reacciones.



1.3.12. Giro Positivo y Negativo

Son dos opciones que tienen la capacidad en una vista tridimensional de rotar la estructura en el eje y' en un diferencial de 30° , para encontrar el punto de observación de mayor agrado. Se debe indicar que debido a la poca resolución de la pantalla, en una vista tridimensional se observará únicamente los nodos, elementos, articulaciones y apoyos, por lo tanto para mayores detalles es conveniente utilizar vistas planas de la estructura.

1.4. OPCIONES DE SALIDA

Luego que se decide por salir del programa, un submenú final da las opciones de salida, facilitando al usuario la posibilidad de salvar la estructura en la variable archivos, de cerrar y regresar al menú inicial o salir por completo del programa.



2. CASOS ESPECIALES

Algunos casos pueden ser simuladas de alguna forma para introducirlas al programa. Estos casos son los siguientes:

Barras: Para el caso de las barras, pueden ser introducidas como un elemento articulado en sus dos extremos, permitiendo así que el elemento transmita únicamente fuerza axial, siempre y cuando no tenga una carga sobre el elemento.

Resortes: Para los resortes el procedimiento es similar, basta con articular el elemento en sus dos extremos, sustituir el módulo de elasticidad del elemento por la constante k del resorte y hacer que el valor numérico del área total sea igual a la longitud del elemento. Los resortes no deben tener una carga sobre el elemento.

Cargas puntuales entre una carga distribuida: El programa no tiene la capacidad de considerar una o varias cargas puntuales (fuerza o momento) dentro de una carga distribuida. La forma de introducir este tipo de carga al programa es fragmentando la carga distribuida, de tal forma que queden varias cargas distribuidas entre cargas puntuales.

Momentos aplicados en nodos articulados: Este tipo de carga comúnmente no se aplica directamente sobre el nodo, ya que el nodo no tiene una rigidez rotacional definida que pueda transmitir a algún elemento. Lo que generalmente se hace es aplicar la carga en el extremo de alguno de los elementos que intersecan al nodo articulado. Esto puede ser simulado al aplicar la carga una fracción antes de llegar al nodo, para que el programa no

encuentre similitud entre las coordenadas del nodo articulado y el punto de aplicación de la carga y así cargue al elemento y no al nodo.

Armaduras tridimensionales: Cuando un elemento tridimensional es articulado en ambos extremos, queda libre de rotar axialmente, y si además es paralelo a alguno de los ejes globales, genera que la ecuación que introduce la rigidez torsional quede en equilibrio y por ende el sistema de ecuaciones no puede ser solucionado. La forma de evitar este error, es tratar que los elementos no sean perfectamente paralelos a los ejes. Esto se puede obtener variando en una fracción las coordenadas del nodo final del elemento. De tal forma, la ecuación de rigidez torsional se ve afectada por las ecuaciones de rigidez de los ejes y' y z' , evitando así su equilibrio.

Realizar un análisis despreciando la deformación axial: si bien es cierto que el programa no brinda la opción para despreciar la deformación axial, esta opción puede ser simulada con excelentes resultados. Basta con introducir una sección con un área bastante grande ($1E10 \text{ m}^2$ por ejemplo), manteniendo los valores de inercia de la sección. Vale la pena mencionar que el proceso correcto no es hacer una sección de dimensiones enormes para obtener un área grande, sino hacer una sección normal para obtener las propiedades geométricas de esta para luego introducirlas directamente pero con el nuevo valor de área. Esto generará una sección prácticamente indeformable ante cargas axiales, pero con la capacidad de deflectar según los momentos de inercia de la sección.

3. OPTIMIZACIÓN DE LA MEMORIA

El programa LARCH ANALISIS ESTRUCTURAL tiene implementado una subrutina que permite optimizar el uso del método de rigidez, aumentando

considerablemente la capacidad de complejidad de la estructura y reduciendo el lapso de duración en el análisis, al detectar que la estructura ingresada es bidimensional. Básicamente, el programa reduce el tamaño de las matrices de rigidez de cada elemento de 12x12 (tridimensional) a 6x6 (bidimensional), permitiendo una optimización de la memoria al reducir a un cuarto la cantidad de memoria requerida.

El optimizador de memoria puede utilizarse únicamente cuando la estructura ingresada es una estructura plana. Esto quiere decir que para estructuras en dos dimensiones (generalmente X-Y) el programa automáticamente introduce el optimizador y reduce el tiempo de duración del análisis. Para que una estructura sea analizada en forma plana, debe ser introducida en el plano X-Y, dándole a todos los nodos una coordenada en Z igual a 0. De esta forma, cuando el programa verifica si puede utilizar el optimizador de memoria, encuentra una estructura plana y activa la optimización.

3. UNIDADES

Para efecto de evitar confusión en el manejo del programa se presentará a continuación una tabla con las unidades que el programa utiliza:

Caso	Unidad
Coordenadas de nodos, longitud de elementos, deformación previa	M
Dimensiones de la sección	Cm
Fuerza distribuida	Kg/m
Fuerza puntual	Kg
Módulo de elasticidad	Kg/m ²
Momento puntual	Kg*m
Peso específico	Kg/m ³

Rotación axial	Grados decimales
Rotación previa	Radianes

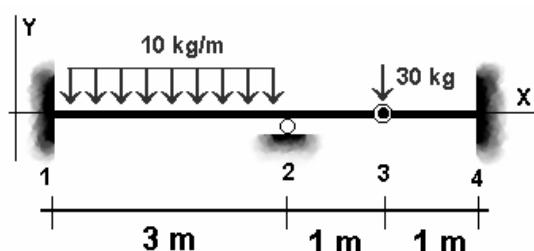
4. EJEMPLOS

En esta sección se procederá a solucionar varias estructuras para mostrar la forma correcta de introducir distintos tipos de estructuras al programa LARCH ANALISIS ESTRUCTURAL.

Partiendo que el usuario puede acceder al programa y se encuentra en el menú principal, el procedimiento para introducir la estructura al programa sería el que se presenta en los siguientes ejemplos.

4.1. EJEMPLO 1: Viga hiperestática con una articulación

La viga adjunta, está empotrada en los nodos 1 y 4, con un apoyo de rodillo en el segundo nodo. El nodo 3 está articulado, además tiene una fuerza aplicada de -30 kg en el eje Y. Existe una carga



uniformemente distribuida de 10 kg/m sobre todo el elemento comprendido entre los nodos 1 y 2. Considere que las propiedades E y I son las mismas para toda la viga y obtenga los diagramas de las fuerzas internas en todos

los elementos, además muestre los valores de las reacciones en el nodo 1 y 4.

Solución

Considerando la misma numeración de los nodos, las coordenadas para los cuatro nodos son:

Nodo	X (m)	Y (m)
1	0.0	0.0
2	3.0	0.0
3	4.0	0.0
4	5.0	0.0

Se deben definir los elementos, los cuales se eligieron así:

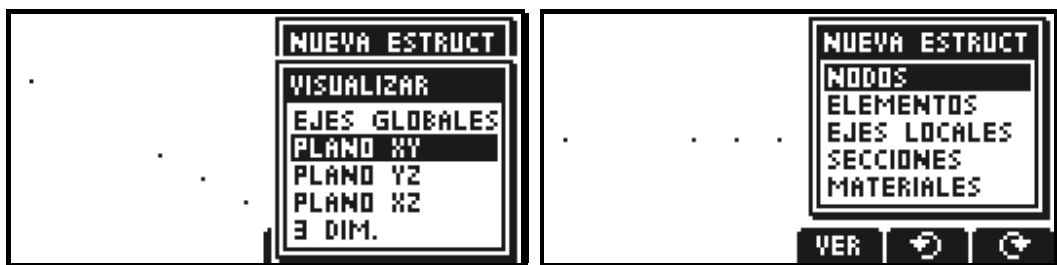
Elemento	Nodo inicial	Nodo final
1	1	2
2	2	3
3	3	4

El hecho que las propiedades E y I sean los mismos para todos los elementos, implica que para encontrar las fuerzas internas se puede utilizar cualquier sección y material, porque como todos tienen las mismas propiedades, indistintamente del tipo de sección o material, las fuerzas se distribuirán de la misma manera, donde la única diferencia se da en las deformaciones.

Primero se deben definir las coordenadas de los nodos:



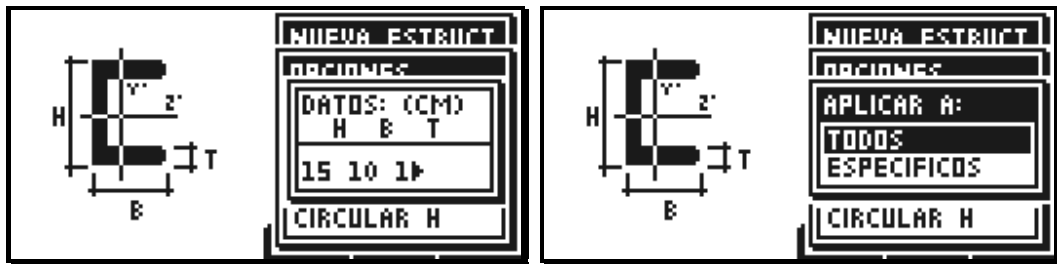
Como se puede observar, el programa por defecto muestra en una representación tridimensional los nodos. Por comodidad es recomendable elegir la vista del plano X-Y de la estructura:



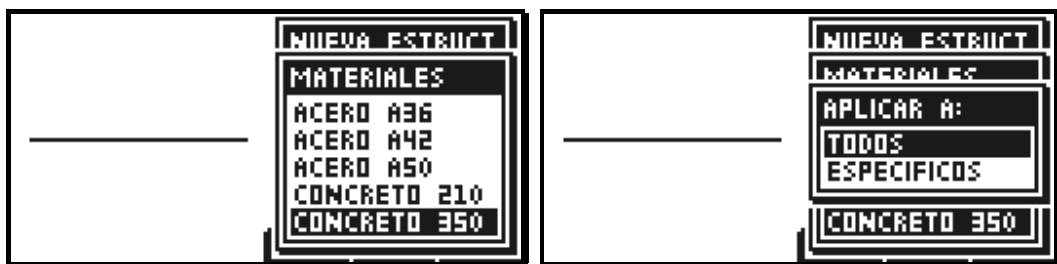
Una vez introducidos los nodos, se ubican los elementos:



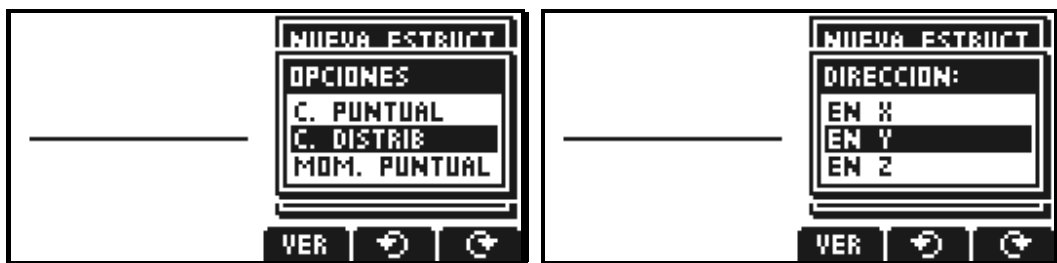
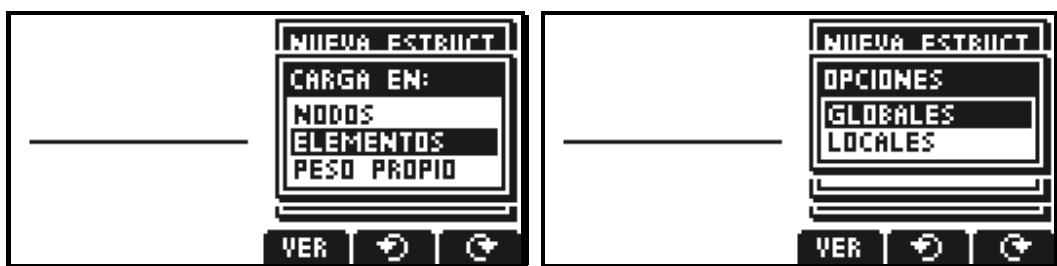
No se girarán los elementos en su eje axial, por lo tanto continuamos con la siguiente opción. Como el ejemplo indica que la sección de los elementos es la misma, se elige una sección arbitraria para los elementos:

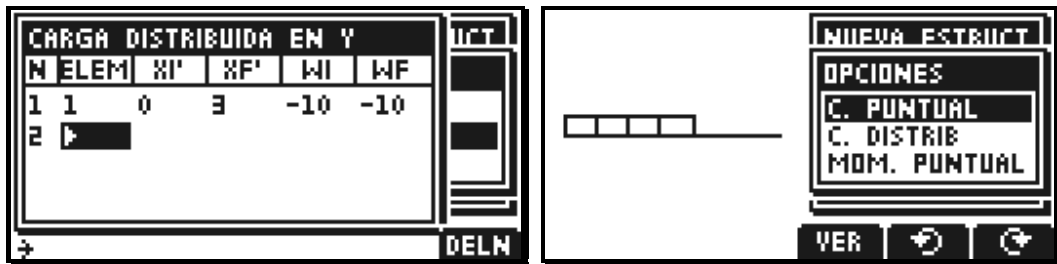


De igual forma, se asigna un mismo material a todos los elementos:

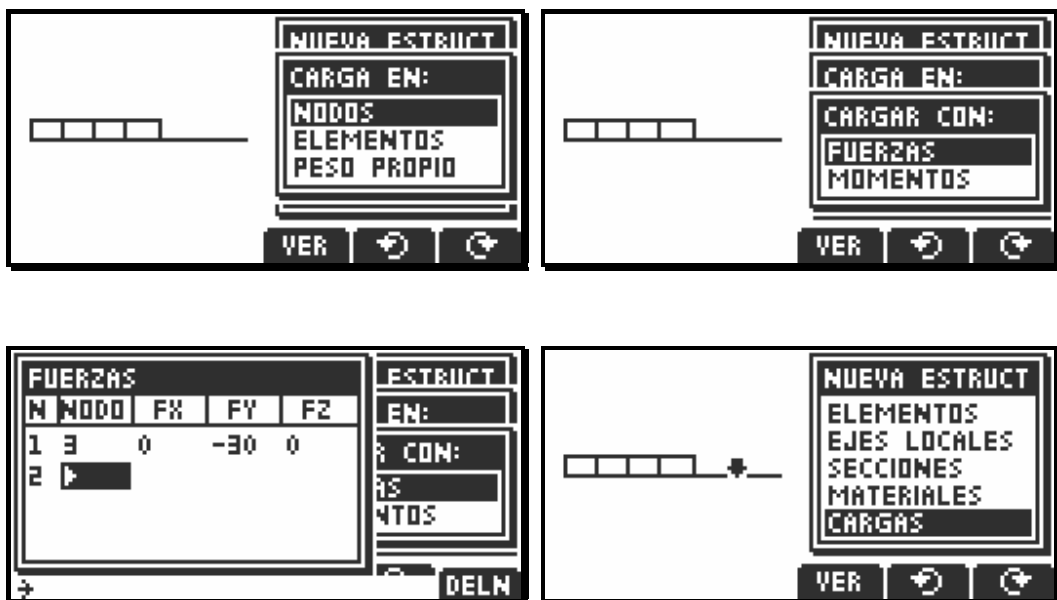


Luego que se han caracterizado los elementos, se procede a cargar la estructura. Primero se cargará con la carga uniformemente distribuida:





De esta forma se carga la estructura con la carga distribuida. Ahora, introduciremos la fuerza puntual, teniendo que cancelar dos submenús, se tiene:



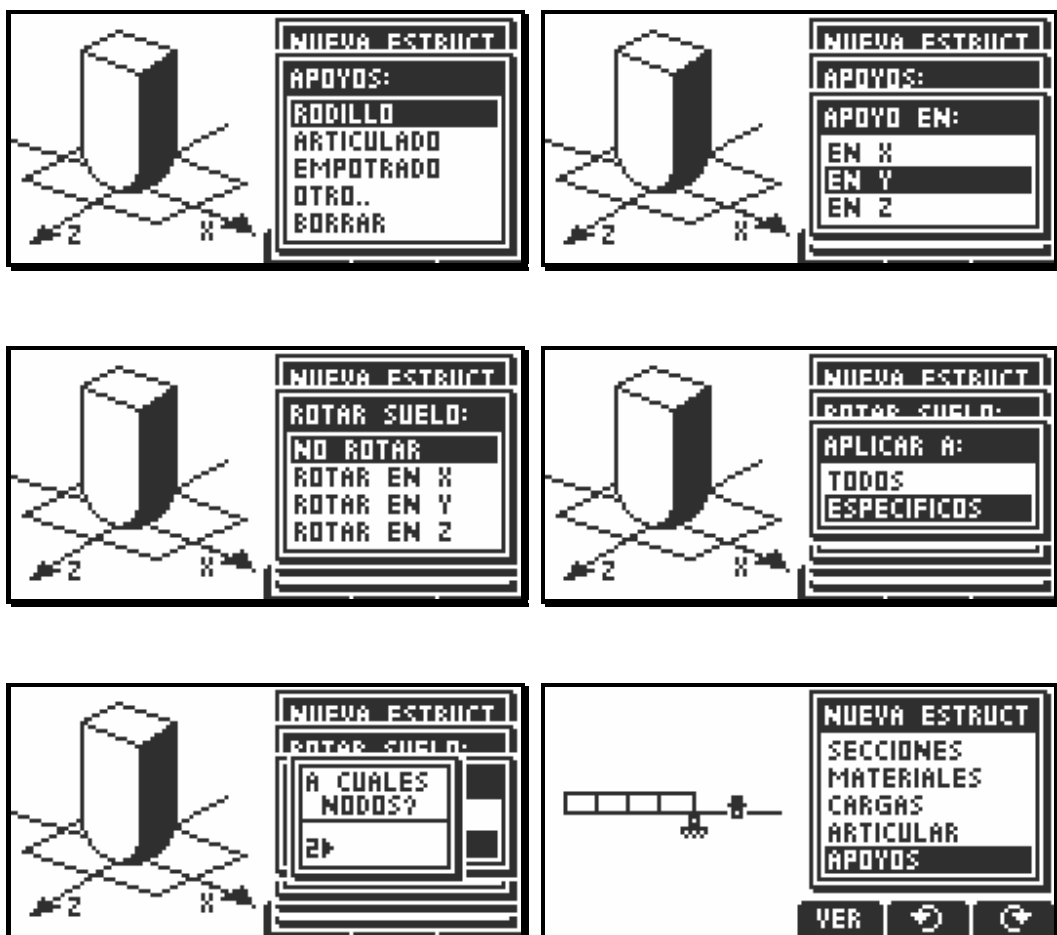
Cargándose en su totalidad la estructura. Continuando con los datos, se introducirá la articulación:



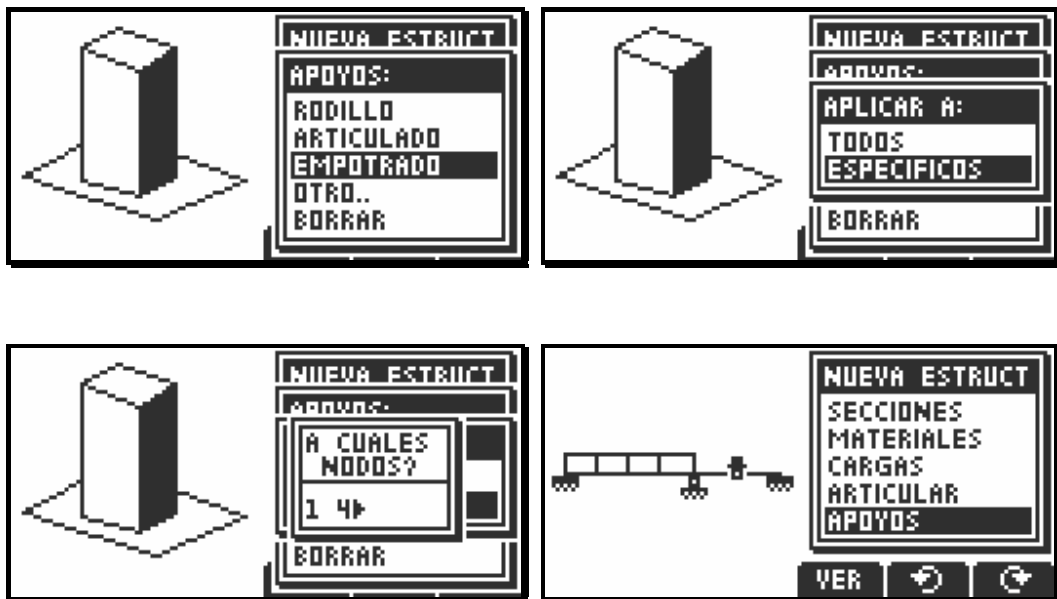


Quedando articulado el nodo 3. Por último, se debe restringir o apoyar la estructura, lo que se puede conseguir con los pasos siguientes.

Primero se colocará el apoyo de rodillo:



Después se indicarán los empotramientos:



Quedando completamente introducida la estructura, pudiéndose iniciar el proceso de análisis:



Finalizado el análisis, el programa espera que se presione una tecla para mostrar los resultados del análisis, estos son los siguientes:



donde las fuerzas locales en los extremos de los elementos son:

FUERZAS EXTREMOS ELEMENTOS						
N	XI'	YI'	ZI'	XF'	YF'	ZF'
1	0	13.230	0	0	16.760	
2	0	11.020	0	0	-11.00	
3	0	-18.90	0	0	9712.0	
4						

→ 18.921 DELN

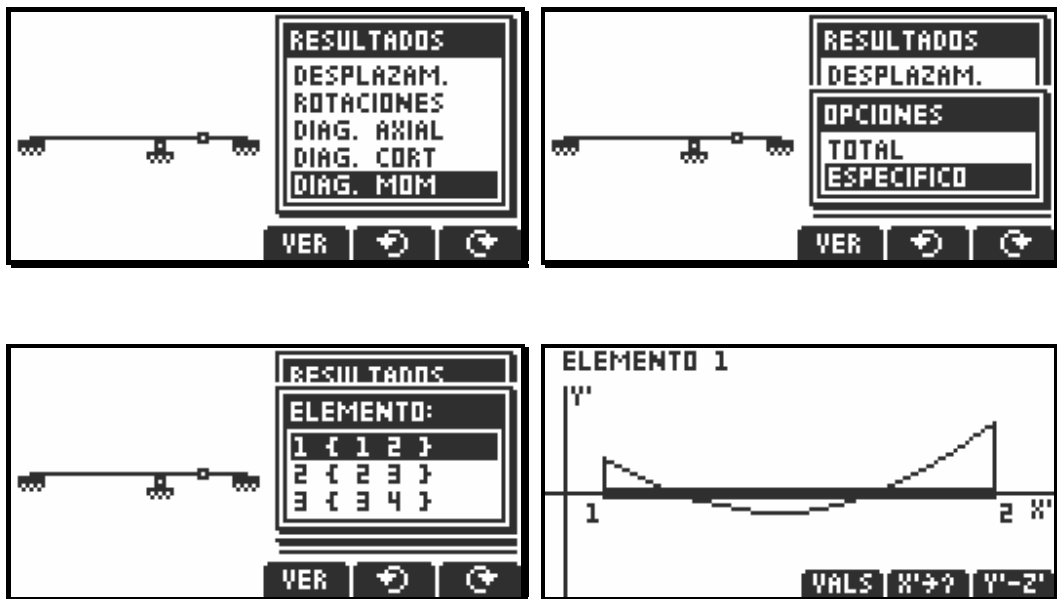
Para las fuerzas locales, los valores x_i' y x_f' son las fuerzas axiales al principio y al final de cada elemento, y_i' y y_f' son las fuerzas cortantes en y' , y z_i' y z_f' son las fuerzas cortantes en z' en el nodo inicial y final respectivamente.

En este ejemplo, como los ejes locales coinciden con los ejes globales, las cargas y deformaciones en los extremos de los elementos tanto en coordenadas locales como globales, son las mismas. Los momentos locales en los extremos de los elementos, son los siguientes:

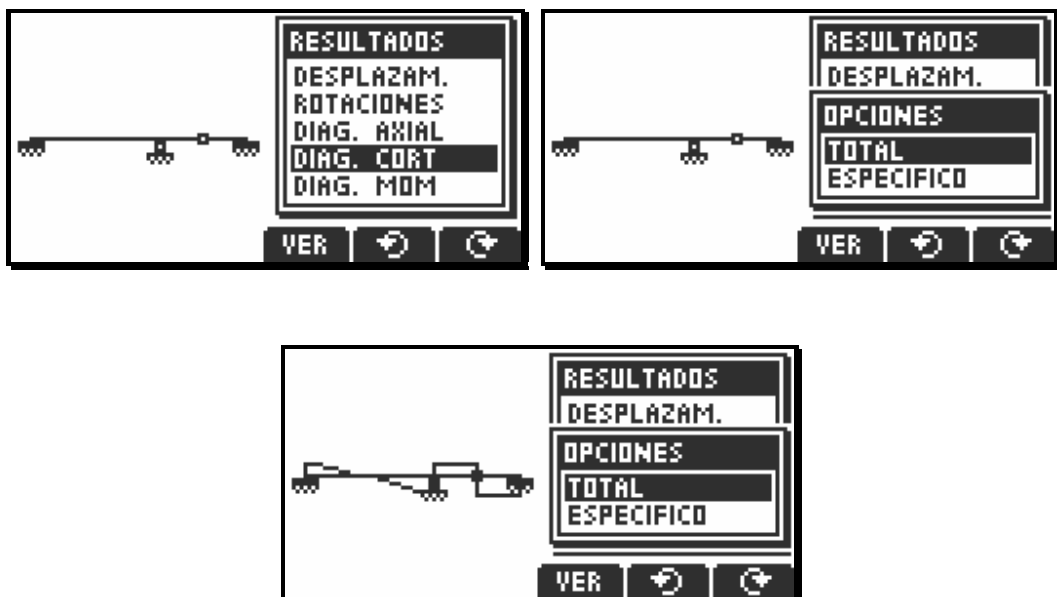
MOMENTOS EXTREMOS ELEMENTOS						
N	XI'	YI'	ZI'	XF'	YF'	ZF'
1	0	0	5.7350	0	-11.0	
2	0	0	11.020	0	0	
3	0	0	0	0	0	9712.0
4						

→ -18.921 DELN

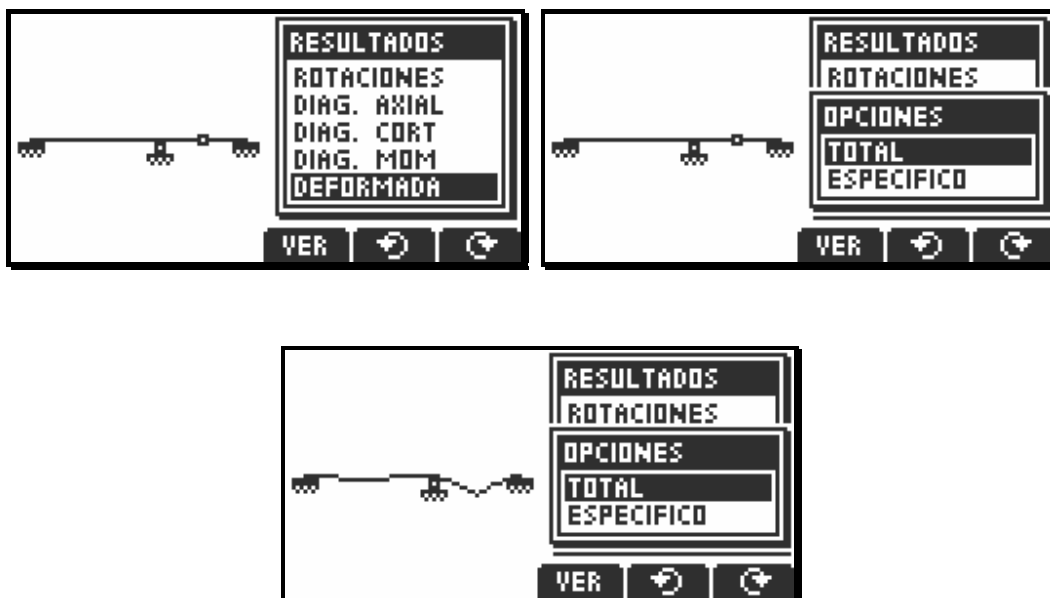
De la misma manera se pueden visualizar las deformaciones y rotaciones en los extremos de los elementos. Continuando con la salida de datos, se puede encontrar los diagramas de fuerza axial, fuerza cortante y momento flexionante. Estos diagramas pueden ser representados en forma total o específica, como se explicó antes. Visualicemos el diagrama de momento para el elemento 1:



Con las tres opciones que aparecen en la parte inferior de la pantalla, se pueden manipular los datos del diagrama. Obtengamos ahora el diagrama de cortante de toda la estructura:



El programa también puede graficar la deformación de la estructura, esta sería:



Para encontrar las reacciones en los empotramientos, se utilizan las opciones FUERZAS y MOMENTOS, de ambas se puede obtener:

Nodo	Fx (kg)	Fy (kg)	Fz (kg)	Mx (kg*m)	My (kg*m)	Mz (kg*m)
1	0.0	13.235	0.0	0.0	0.0	5.735
4	0.0	18.971	0.0	0.0	0.0	-19.971

Para terminar, el programa brinda la posibilidad de generar una archivo texto con todas las características de la estructura, este archivo almacenado en la variable DATOS contiene la siguiente información:

LARCH ANALISIS ESTRUCTURAL
Luis Armando Rodríguez Ch.

Archivo: NUEVA ESTRUCT

1. NODOS

COORDENADAS DE LOS NODOS (X, Y, Z):

Nodo 1: 0.000 0.000 0.000
Nodo 2: 3.000 0.000 0.000
Nodo 3: 4.000 0.000 0.000
Nodo 4: 5.000 0.000 0.000

NODOS ARTICULADOS:

Nodo 3

APOYOS:

Nodo 2 { 0 1 0 0 0 0 }
Nodo 1 { 1 1 1 1 1 1 }
Nodo 4 { 1 1 1 1 1 1 }

2. ELEMENTOS

UBICACION DE LOS ELEMENTOS (Nodo inicial -Nodo final):

Elemento 1: 1 2 Long: 3.000
Elemento 2: 2 3 Long: 1.000
Elemento 3: 3 4 Long: 1.000

PROPIEDADES DE LA SECCION (Area, Inercia $z'-z'$,
Inercia $y'-y'$):

Elemento 1: 3.300E-3 1.165E-5 3.273E-6
Elemento 2: 3.300E-3 1.165E-5 3.273E-6
Elemento 3: 3.300E-3 1.165E-5 3.273E-6

PROPIEDADES DEL MATERIAL (Mod. elasticidad, Mod. poisson, Peso esp.):

Elemento 1: 3.500E9 2.000E-1 2.408E3

Elemento 2: 3.500E9 2.000E-1 2.408E3

Elemento 3: 3.500E9 2.000E-1 2.408E3

3. CARGAS

CARGAS NODALES (FX, FY, FZ)

Nodo 3: 0.000 -30.000 0.000

CARGAS DISTRIBUIDAS GLOBALES (XF', XF', WI, WF)

EN Y:

Elemento 1: 0.000 3.000 -10.000 -10.000

NO SE CONSIDERA EL PESO PROPIO DE LOS ELEMENTOS.

4. DESPLAZAMIENTOS Y ROTACIONES

LOCALES:

(dxi' dyi' dzi' rxi' ryi' rzi' dxf' dyf' dzf' rxf' ryf' rzf')

Elemento 1: 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0
0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0 -
6.493E-5

Elemento 2: 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0
-6.493E-5 0.000E0 -1.551E-4 0.000E0 0.000E0 0.000E0 -
2.002E-4

Elemento 3: 0.000E0 -1.551E-4 0.000E0 0.000E0
0.000E0 2.327E-4 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0
0.000E0 0.000E0

GLOBALES:

(dxi dyi dzi rxi ryi rzi dxf dyf dzf rxf ryf rzf)

Elemento 1: 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0
 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0 -
 6.493E-5

Elemento 2: 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0
 -6.493E-5 0.000E0 -1.551E-4 0.000E0 0.000E0 0.000E0 -
 2.002E-4

Elemento 3: 0.000E0 -1.551E-4 0.000E0 0.000E0
 0.000E0 2.327E-4 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0
 0.000E0 0.000E0

5. FUERZAS EN ELEMENTOS

LOCALES:

(Fxi' Fyi' Fzi' Mxi' Myi' Mzi' Fxf' Fyf' Fzf' Mxf'
 Myf' Mzf')

Elemento 1: 0.000 13.235 0.000 0.000 0.000 5.735
 0.000 16.765 0.000 0.000 0.000 -11.029

Elemento 2: 0.000 11.029 0.000 0.000 0.000 11.029
 0.000 -11.029 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 3: 0.000 -18.971 0.000 0.000 0.000 0.000
 0.000 18.971 0.000 0.000 0.000 -18.971

GLOBALES:

(Fxi Fyi Fzi Mxi Myi Mzi Fxf Fyf Fzf Mxf Myf Mzf)

Elemento 1: 0.000 13.235 0.000 0.000 0.000 5.735
 0.000 16.765 0.000 0.000 0.000 -11.029

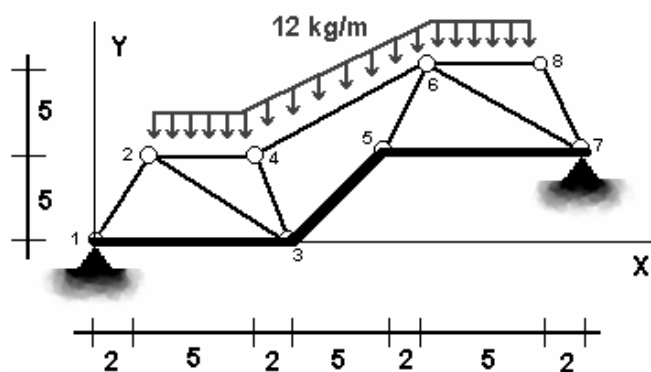
Elemento 2: 0.000 11.029 0.000 0.000 0.000 11.029
 0.000 -11.029 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 3: 0.000 -18.971 0.000 0.000 0.000 0.000
 0.000 18.971 0.000 0.000 0.000 -18.971

4.2. EJEMPLO 2: Marco-armadura

Con el primer ejemplo se pudo la facilidad en el manejo del programa. Ahora introduciremos una estructura que contiene elementos tipo barra, los cuales transmiten fuerza axial únicamente ya que están articulados en ambos lados, y elementos que pueden transmitir fuerza cortante, axial y momento flexionante.

Considere en la estructura adjunta que los elementos comprendidos entre los nodos 1 y 3, 3 y 5, 5 y 7 están rígidamente unidos y tienen un módulo de elasticidad de $3 \cdot E$, mientras que los



elementos restantes se encuentran articulados en sus dos extremos, con un módulo de elasticidad de E . Todos tienen la misma sección geométrica y la carga distribuida tiene un valor de -12 kg/m en el eje Y , aplicada en los elementos ubicados entre los nodos 2 y 4, 4 y 6, 6 y 8. Halle el valor de las reacciones en los nodos 1 y 7, además el momento interno en el nodo 3.

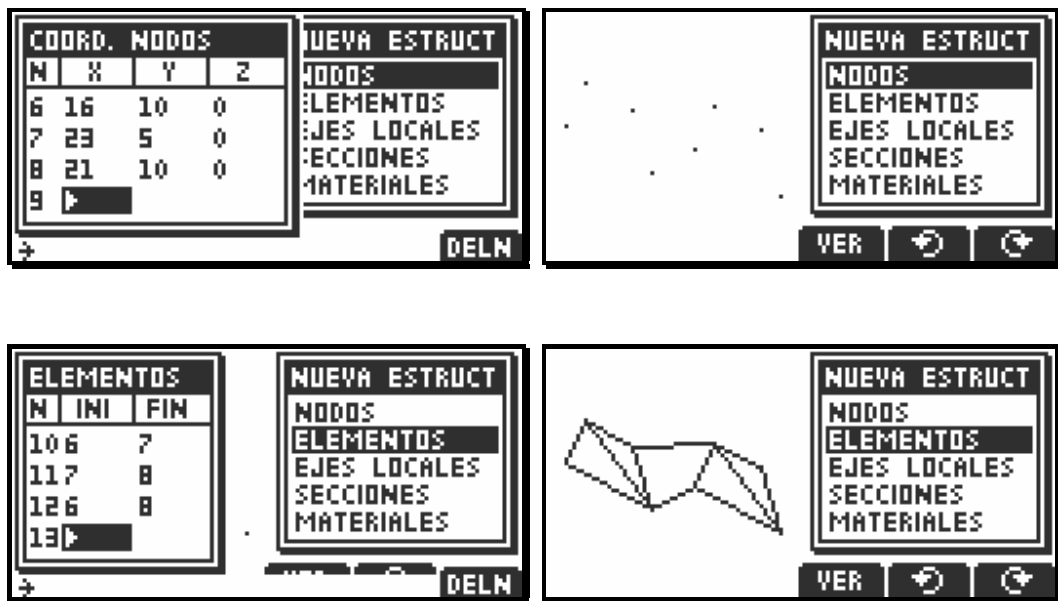
Solución

Empezamos estableciendo las coordenadas de los nodos y la ubicación de los elementos:

Coordenadas de los nodos		
Nodo	X (m)	Y (m)
1	0.0	0.0
2	2.0	5.0
3	9.0	0.0
4	7.0	5.0
5	14.0	5.0
6	16.0	10.0
7	23.0	5.0
8	21.0	10.0

Ubicación de los elementos		
Elemento	Nodo inicial	Nodo final
1	1	3
2	3	5
3	5	7
4	1	2
5	2	3
6	3	4
7	2	4
8	4	6
9	5	6
10	6	7
11	7	8
12	6	8

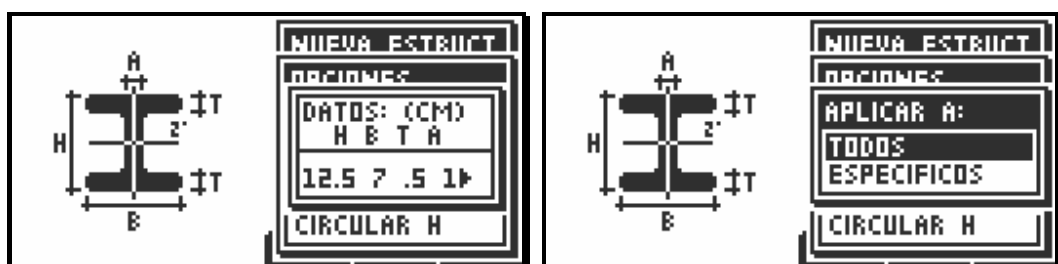
Una vez establecidos los nodos y los elementos, se introducen al programa:



Y utilizando la representación plana X-Y de la estructura, se obtiene:

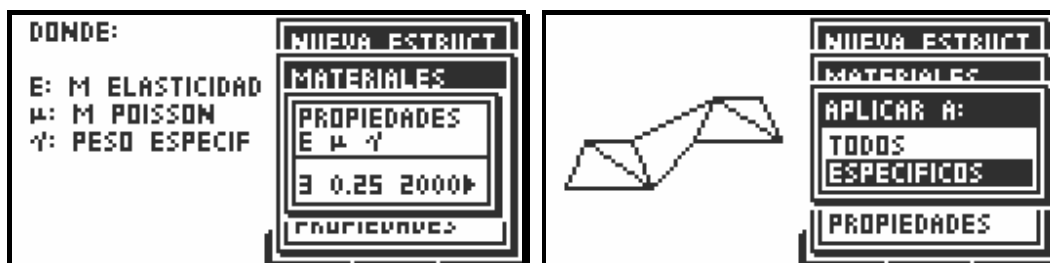


Asignemos ahora una misma sección para todos los elementos:



Debemos introducir las propiedades de los materiales para los elementos, recordemos que los elementos 1, 2 y 3 deben tener un módulo de elasticidad

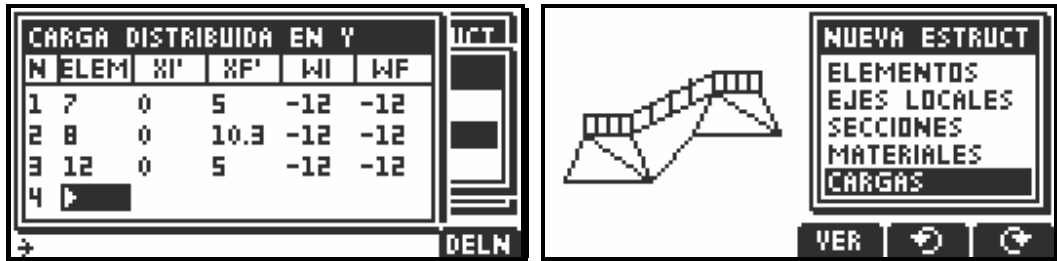
tres veces mayor al de los demás elementos. Lo podemos hacer desde la opción OTRO. . :



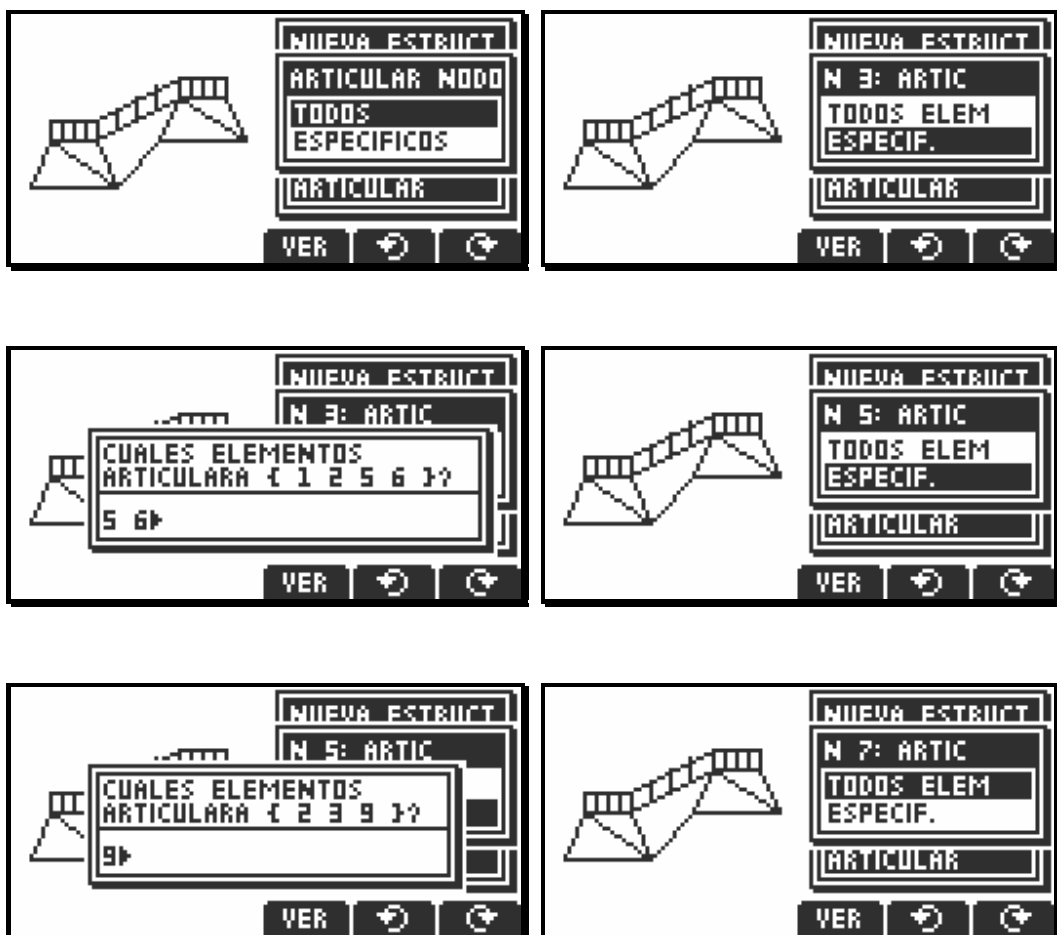
Luego se debe asignar las propiedades de los materiales de los otros elementos:



Procedamos a cargar la estructura:



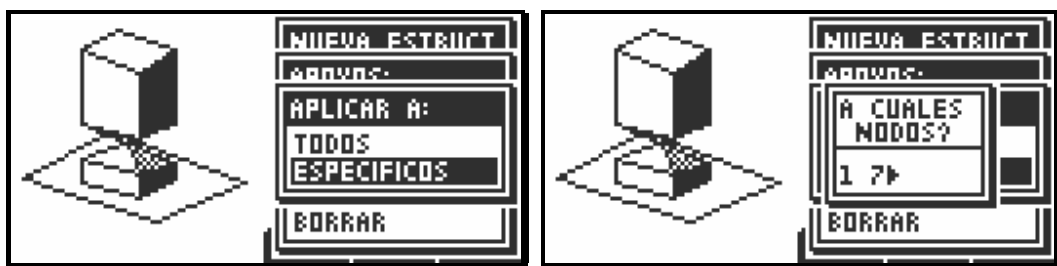
Luego de cargar la estructura, debemos articular los nodos 3, 5 y 7 de tal forma que los elementos 1, 2 y 3 queden rígidos, los otros nodos se articulan por completo.





El nodo 7 puede ser articulado por completo, ya que no existe un enlace rígido entre elementos. Gráficamente, el programa no puede mostrar los enlaces rígidos entre los elementos en los nodos articulados, pero si muestra que estos nodos tienen algún tipo de articulación.

Para finalizar, debemos apoyar la estructura en los nodos 1 y 7:



De tal forma, queda introducida toda la estructura e iniciamos el proceso de análisis. Es importante aclarar que aunque los elementos cargados están articulados en ambos extremos, no caracterizan como barras propiamente, mas bien como vigas articuladas en sus dos extremos, ya que por definición, una barra transmite solamente fuerza axial, y estas están trasmitiendo una

fuerza interna cortante; la cual cuando es cargada en los nodos, debido a la articulación de los otros elementos, es transmitida en forma axial por las barras.



Se puede cerciorar que las barras transmitan únicamente fuerza axial, al observar las fuerzas y momentos locales de los elementos, ya que solamente los elementos 1, 2 y 3 (en los nodos 3 y 5) pueden tener momentos internos.

FUERZAS EXTREMOS ELEMENTOS						
N	XI'	YI'	ZI'	XF'	YF'	ZF'
10	127.90	0	-127.0	0		
11	32.310	0	-32.30	0		
12	12	30	0	-12	30	0
13						

MOMENTOS EXTREMOS ELEMENTOS						
N	XI'	YI'	ZI'	XF'	YF'	ZF'
1	0	0	0	0	0	.791
2	0	0	-.7910	0	0	.632
3	0	0	-.6320	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0

Debido a las dimensiones de la pantalla, no se pueden mostrar todos los datos, pero se suministrarán en el archivo de salida de datos.

Para obtener las reacciones en el nodo 1, se deben sumar las fuerza internas globales de los elementos 1 y 4:

Elemento	Fx (kg)	Fy (kg)	Fz (kg)	Mx (kg*m)	My (kg*m)	Mz (kg*m)
1	24.132	0.088	0	0	0	0
4	55.608	139.021	0	0	0	0
Total	79.74	139.109	0	0	0	0

Para las reacciones en el nodo 7 se repite el mismo procedimiento:

Elemento	Fx (kg)	Fy (kg)	Fz (kg)	Mx (kg*m)	My (kg*m)	Mz (kg*m)
3	36.376	0.07	0	0	0	0
10	-104.116	74.369	0	0	0	0
11	-12.0	30.0	0	0	0	0
Total	-79.74	104.439	0	0	0	0

El momento interno en el nodo 3 es mismo que tiene el elemento 1 y 2 en este punto, que sería 0.791 Kg*m. Este es el valor absoluto del momento interno, ya que por equilibrio en el nodo, el momento al final del elemento 1 es el contrario del momento al principio del elemento 2.

Para este ejemplo, el archivo de salida de datos es el siguiente:

LARCH ANALISIS ESTRUCTURAL
Luis Armando Rodríguez Ch.

Archivo: NUEVA ESTRUCT

1. NODOS

COORDENADAS DE LOS NODOS (X, Y, Z):

Nodo 1: 0.000 0.000 0.000
 Nodo 2: 2.000 5.000 0.000
 Nodo 3: 9.000 0.000 0.000
 Nodo 4: 7.000 5.000 0.000

Nodo 5: 14.000 5.000 0.000
 Nodo 6: 16.000 10.000 0.000
 Nodo 7: 23.000 5.000 0.000
 Nodo 8: 21.000 10.000 0.000

NODOS ARTICULADOS:

Nodo 1
 Nodo 2
 Nodo 3
 Nodo 4
 Nodo 5
 Nodo 6
 Nodo 7
 Nodo 8

APOYOS:

Nodo 1 { 1 1 1 0 0 0 }
 Nodo 7 { 1 1 1 0 0 0 }

2. ELEMENTOS

UBICACION DE LOS ELEMENTOS (Nodo inicial -Nodo final):

Elemento 1: 1 3 Long: 9.000
 Elemento 2: 3 5 Long: 7.071
 Elemento 3: 5 7 Long: 9.000
 Elemento 4: 1 2 Long: 5.385
 Elemento 5: 2 3 Long: 8.602
 Elemento 6: 3 4 Long: 5.385
 Elemento 7: 2 4 Long: 5.000
 Elemento 8: 4 6 Long: 10.296
 Elemento 9: 5 6 Long: 5.385
 Elemento 10: 6 7 Long: 8.602
 Elemento 11: 7 8 Long: 5.385
 Elemento 12: 6 8 Long: 5.000

PROPIEDADES DE LA SECCIÓN (Area, Inercia $z' - z'$, Inercia $y' - y'$):

Elemento 1:	1.850E-3	3.789E-6	2.954E-7
Elemento 2:	1.850E-3	3.789E-6	2.954E-7
Elemento 3:	1.850E-3	3.789E-6	2.954E-7
Elemento 4:	1.850E-3	3.789E-6	2.954E-7
Elemento 5:	1.850E-3	3.789E-6	2.954E-7
Elemento 6:	1.850E-3	3.789E-6	2.954E-7
Elemento 7:	1.850E-3	3.789E-6	2.954E-7
Elemento 8:	1.850E-3	3.789E-6	2.954E-7
Elemento 9:	1.850E-3	3.789E-6	2.954E-7
Elemento 10:	1.850E-3	3.789E-6	2.954E-7
Elemento 11:	1.850E-3	3.789E-6	2.954E-7
Elemento 12:	1.850E-3	3.789E-6	2.954E-7

PROPIEDADES DEL MATERIAL (Mod. elasticidad, Mod. poisson, Peso esp.):

Elemento 1:	3.000E0	2.500E-1	2.000E3
Elemento 2:	3.000E0	2.500E-1	2.000E3
Elemento 3:	3.000E0	2.500E-1	2.000E3
Elemento 4:	1.000E0	2.500E-1	2.000E3
Elemento 5:	1.000E0	2.500E-1	2.000E3
Elemento 6:	1.000E0	2.500E-1	2.000E3
Elemento 7:	1.000E0	2.500E-1	2.000E3
Elemento 8:	1.000E0	2.500E-1	2.000E3
Elemento 9:	1.000E0	2.500E-1	2.000E3
Elemento 10:	1.000E0	2.500E-1	2.000E3
Elemento 11:	1.000E0	2.500E-1	2.000E3
Elemento 12:	1.000E0	2.500E-1	2.000E3

3. CARGAS

CARGAS DISTRIBUIDAS GLOBALES (XF' , XF' , WI , WF)

EN Y:

Elemento 7: 0.000 5.000 -12.000 -12.000
 Elemento 8: 0.000 10.300 -12.000 -12.000
 Elemento 12: 0.000 5.000 -12.000 -12.000

NO SE CONSIDERA EL PESO PROPIO DE LOS ELEMENTOS.

4. DESPLAZAMIENTOS Y ROTACIONES

LOCALES:

(dxi' dyi' dzi' rxi' ryi' rzi' dxf' dyf' dzf' rxf' ryf' rzf')

Elemento 1: 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0
 -5.231E5 -3.913E4 -3.769E6 0.000E0 0.000E0 0.000E0 -
 2.101E5

Elemento 2: -2.693E6 -2.637E6 0.000E0 0.000E0
 0.000E0 -2.101E5 -2.583E6 -2.500E6 0.000E0 0.000E0
 0.000E0 2.325E5

Elemento 3: -5.899E4 -3.595E6 0.000E0 0.000E0
 0.000E0 2.325E5 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0
 0.000E0 4.828E5

Elemento 4: 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0
 -2.262E5 -4.358E5 -1.218E6 0.000E0 0.000E0 0.000E0 -
 2.262E5

Elemento 5: 1.287E6 -1.342E5 0.000E0 0.000E0 0.000E0
 -3.436E5 2.159E6 -3.090E6 0.000E0 0.000E0 0.000E0 -
 3.436E5

Elemento 6: -3.485E6 1.436E6 0.000E0 0.000E0 0.000E0
 -4.953E4 -4.017E6 1.169E6 0.000E0 0.000E0 0.000E0 -
 4.953E4

Elemento 7: 9.690E5 -8.570E5 0.000E0 0.000E0 0.000E0
 -1.716E7 4.062E5 -4.164E6 0.000E0 0.000E0 0.000E0
 1.583E7

Elemento 8: -1.667E6 -3.837E6 0.000E0 0.000E0
 0.000E0 -1.257E8 -2.561E6 -1.875E6 0.000E0 0.000E0
 0.000E0 1.261E8

Elemento 9: -3.359E6 -1.280E6 0.000E0 0.000E0
0.000E0 2.679E5 -3.169E6 1.623E5 0.000E0 0.000E0
0.000E0 2.679E5

Elemento 10: 5.949E5 -3.117E6 0.000E0 0.000E0
0.000E0 3.624E5 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0
0.000E0 3.624E5

Elemento 11: 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0
2.790E5 -9.405E4 1.503E6 0.000E0 0.000E0 0.000E0
2.790E5

Elemento 12: -1.328E6 -2.883E6 0.000E0 0.000E0
0.000E0 -1.605E7 -1.360E6 -6.454E5 0.000E0 0.000E0
0.000E0 1.694E7

globales:

(dxi dyi dzi rxi ryi rzi dxf dyf dzf rxf ryf rzf)

Elemento 1: 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0
-5.231E5 -3.913E4 -3.769E6 0.000E0 0.000E0 0.000E0 -
2.101E5

Elemento 2: -3.913E4 -3.769E6 0.000E0 0.000E0
0.000E0 -2.101E5 -5.899E4 -3.595E6 0.000E0 0.000E0
0.000E0 2.325E5

Elemento 3: -5.899E4 -3.595E6 0.000E0 0.000E0
0.000E0 2.325E5 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0
0.000E0 4.828E5

Elemento 4: 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0
-2.262E5 9.690E5 -8.570E5 0.000E0 0.000E0 0.000E0 -
2.262E5

Elemento 5: 9.690E5 -8.570E5 0.000E0 0.000E0 0.000E0
-3.436E5 -3.913E4 -3.769E6 0.000E0 0.000E0 0.000E0 -
3.436E5

Elemento 6: -3.913E4 -3.769E6 0.000E0 0.000E0
0.000E0 -4.953E4 4.062E5 -4.164E6 0.000E0 0.000E0
0.000E0 -4.953E4

Elemento 7: 9.690E5 -8.570E5 0.000E0 0.000E0 0.000E0
 -1.716E7 4.062E5 -4.164E6 0.000E0 0.000E0 0.000E0
 1.583E7

Elemento 8: 4.062E5 -4.164E6 0.000E0 0.000E0 0.000E0
 -1.257E8 -1.328E6 -2.883E6 0.000E0 0.000E0 0.000E0
 1.261E8

Elemento 9: -5.899E4 -3.595E6 0.000E0 0.000E0
 0.000E0 2.679E5 -1.328E6 -2.883E6 0.000E0 0.000E0
 0.000E0 2.679E5

Elemento 10: -1.328E6 -2.883E6 0.000E0 0.000E0
 0.000E0 3.624E5 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0
 0.000E0 3.624E5

Elemento 11: 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0 0.000E0
 2.790E5 -1.360E6 -6.454E5 0.000E0 0.000E0 0.000E0
 2.790E5

Elemento 12: -1.328E6 -2.883E6 0.000E0 0.000E0
 0.000E0 -1.605E7 -1.360E6 -6.454E5 0.000E0 0.000E0
 0.000E0 1.694E7

5. FUERZAS EN ELEMENTOS

LOCALES:

(Fxi' Fyi' Fzi' Mxi' Myi' Mzi' Fxf' Fyf' Fzf' Mxf'
 Myf' Mzf')

Elemento 1: 24.132 0.088 0.000 0.000 0.000 0.000 -
 24.132 -0.088 0.000 0.000 0.000 0.791

Elemento 2: -85.725 -0.022 0.000 0.000 0.000 -0.791
 85.725 0.022 0.000 0.000 0.000 0.632

Elemento 3: -36.376 -0.070 0.000 0.000 0.000 -0.632
 36.376 0.070 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 4: 149.730 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 -
 149.730 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 5: -187.566 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 187.566 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 6: 182.817 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 -
182.817 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 7: 208.237 30.000 0.000 0.000 0.000 0.000 -
208.237 30.000 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 8: 190.544 54.000 0.000 0.000 0.000 0.000 -
130.544 54.000 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 9: -65.227 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
65.227 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 10: 127.949 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 -
127.949 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 11: 32.311 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 -
32.311 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 12: 12.000 30.000 0.000 0.000 0.000 0.000 -
12.000 30.000 0.000 0.000 0.000 0.000

GLOBALES:

(Fxi Fyi Fzi Mxi Myi Mzi Fxf Fyf Fzf Mxf Myf Mzf)

Elemento 1: 24.132 0.088 0.000 0.000 0.000 0.000 -
24.132 -0.088 0.000 0.000 0.000 0.791

Elemento 2: -60.601 -60.632 0.000 0.000 0.000 -0.791
60.601 60.632 0.000 0.000 0.000 0.632

Elemento 3: -36.376 -0.070 0.000 0.000 0.000 -0.632
36.376 0.070 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 4: 55.608 139.021 0.000 0.000 0.000 0.000 -
55.608 -139.021 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 5: -152.629 109.021 0.000 0.000 0.000 0.000
152.629 -109.021 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 6: -67.896 169.741 0.000 0.000 0.000 0.000
67.896 -169.741 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 7: 208.237 30.000 0.000 0.000 0.000 0.000 -
208.237 30.000 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 8: 140.341 139.741 0.000 0.000 0.000 0.000
-140.341 -16.193 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 9: -24.225 -60.562 0.000 0.000 0.000 0.000
24.225 60.562 0.000 0.000 0.000 0.000

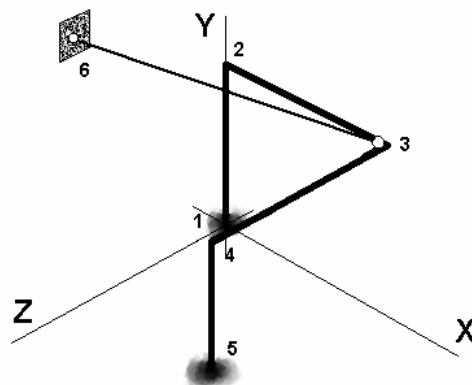
Elemento 10: 104.116 -74.369 0.000 0.000 0.000 0.000
-104.116 74.369 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 11: -12.000 30.000 0.000 0.000 0.000 0.000
12.000 -30.000 0.000 0.000 0.000 0.000

Elemento 12: 12.000 30.000 0.000 0.000 0.000 0.000 -
12.000 30.000 0.000 0.000 0.000 0.000

4.3. EJEMPLO 3: Marco tridimensional con un desplazamiento previo

El siguiente ejemplo consta de un marco tridimensional con un desplazamiento previo en el nodo 3 de -0.01m en Y.



Este marco está empotrado en los nodos 1 y 5, además tiene un cable (de 2.54 cm de diámetro) atado en el nodo 3 y en su otro extremo está rígidamente unido a una placa. Obtenga el valor de las reacciones en los nodos 1, 5 y 6.

Las coordenadas de los nodos y las características de los elementos son las siguientes:

Coordenadas de los nodos
(distancias en metros)

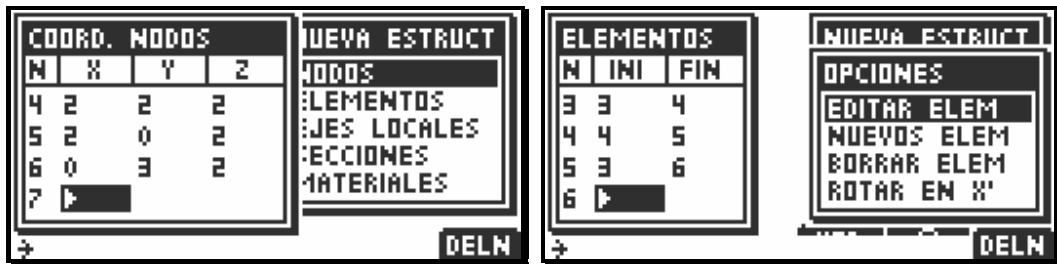
Nodo	X	Y	Z
1	0	0	0
2	0	2	0
3	2	2	0
4	2	2	2
5	2	0	2
6	0	3	2

Características de los elementos

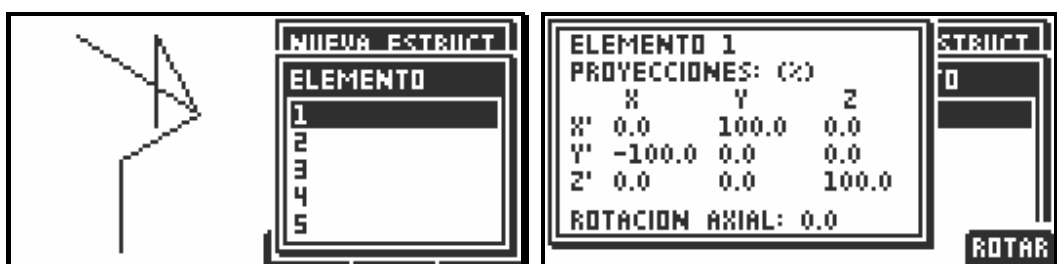
Nodo inicial	Nodo final	Área (cm ²)	Inercia y' (cm ⁴)	Inercia y' (cm ⁴)	Material
1	2	2000	420000	270000	Concreto 350
2	3	2000	420000	270000	Concreto 350
3	4	1500	315000	202500	Concreto 350
4	5	1500	315000	202500	Concreto 350
3	6	5.067	32.69	32.69	Acero A50

Solución

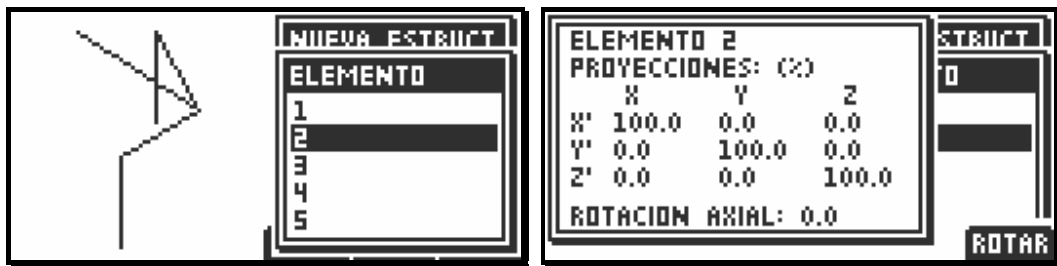
Iniciamos introduciendo las coordenadas de los nodos y la ubicación de los elementos:



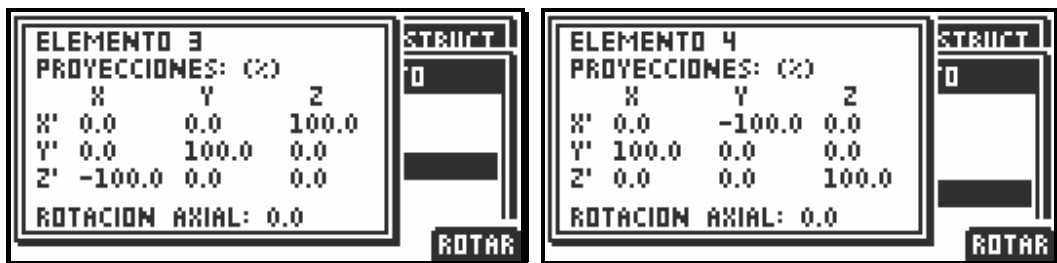
Consideremos que para los elementos 1 y 2 el eje local z' es paralelo al eje global Z y para los elementos 3 y 4 el eje local z' es paralelo al eje global X. Esto lo podemos obtener con la opción EJES LOCALES. Esta opción muestra la ubicación de los ejes locales proyectados porcentualmente en los ejes globales. Es importante aclarar que para efectos de rigidez, las proyecciones pueden considerarse en valor absoluto, ya que el signo de la proyección se utiliza para direccionar las cargas locales sobre los elementos.



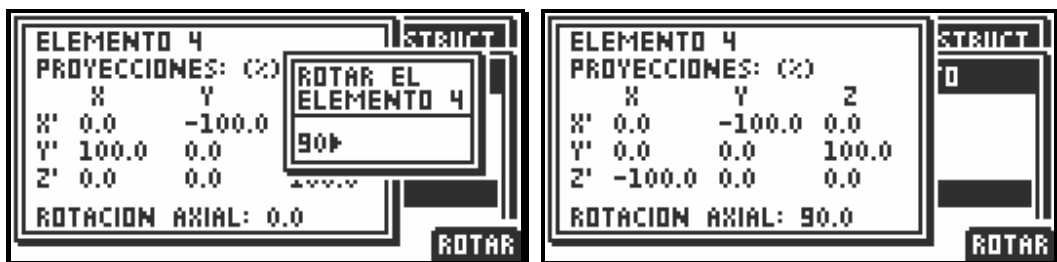
Como se puede observar, para el elemento 1 el eje local z' está proyectado en un 100% sobre el eje global Z, esto implica que está ubicado paralelamente a dicho eje. De la misma manera, el elemento 2 tiene su eje local z' paralelo al eje global Z.



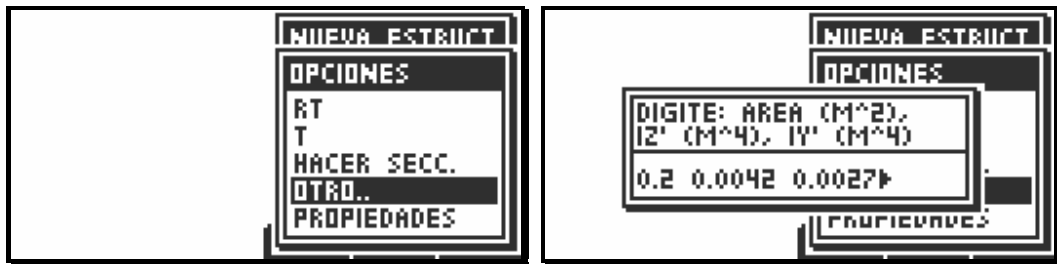
Para el elemento 3 tenemos:



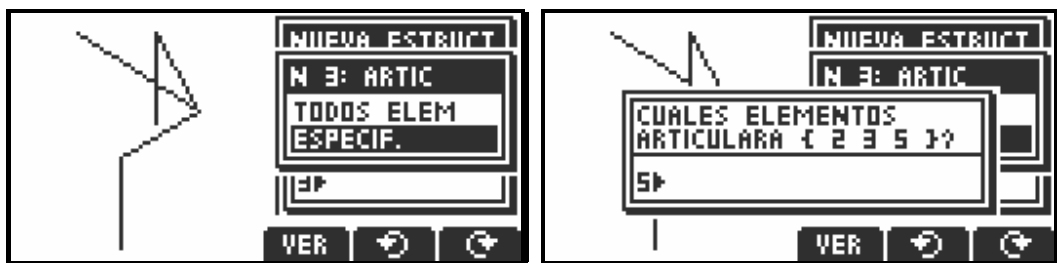
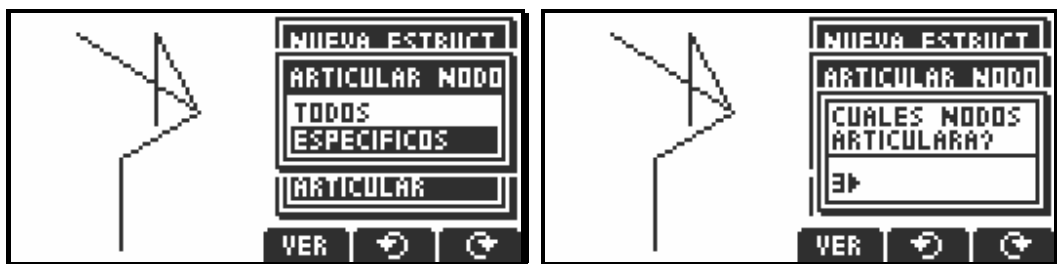
donde en el elemento 3 el eje local z' es paralelo al eje global X, pero en el elemento 4 está ubicado paralelo al eje global Z, esto requiere que el elemento sea rotado axialmente $\pm 90^\circ$ para darle la ubicación correcta:



Una vez ubicados los ejes locales de los elementos, se introducen las propiedades de las secciones, las cuales se deben transformar a las unidades correspondientes.

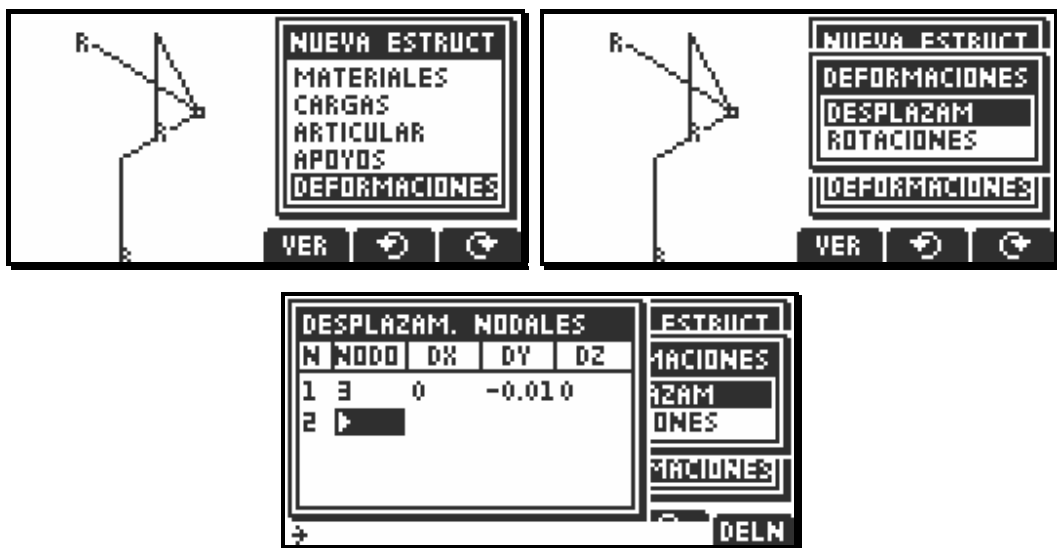


De la misma manera se introducen las propiedades geométricas de los elementos restantes y se seleccionan los materiales. Ahora se debe articular el elemento 5 en sus dos extremos para que trabaje como un cable (barra), pero como el apoyo en el nodo 6 es un articulado, basta con articular el nodo 3 únicamente:





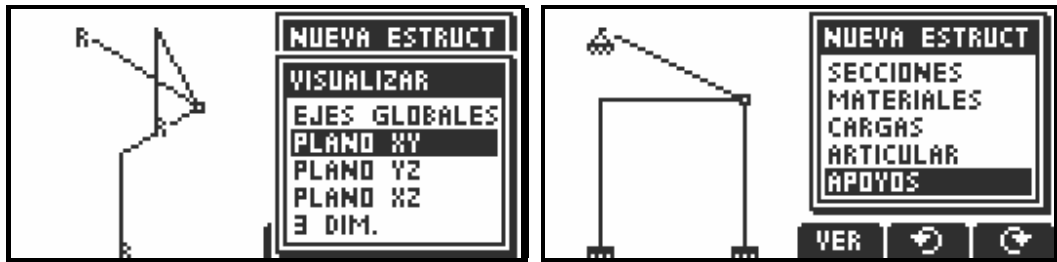
Luego se debe introducir el desplazamiento conocido del nodo 3:



Finalmente, se debe apoyar la estructura:



Debido a la resolución de la calculadora, en una vista tridimensional de la estructura, los apoyos no se pueden graficar, pero si se elige otra vista, sí serán representados:



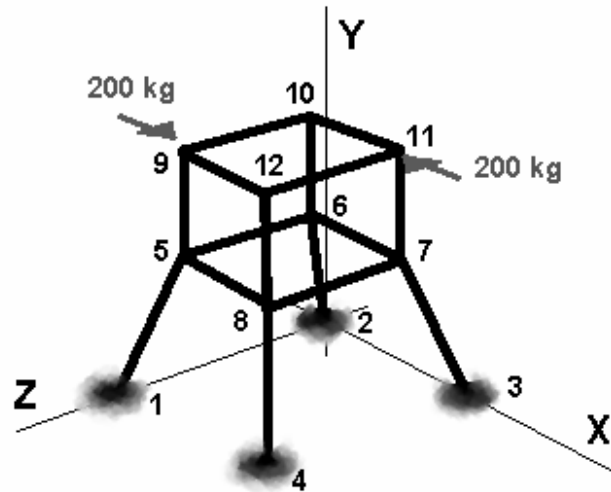
De esta manera toda la estructura ha sido introducida y se puede iniciar el proceso de análisis. Finalizado éste, las reacciones se toman de las opciones FUERZAS y MOMENTOS, dando los siguientes resultados:

Nodo	Fx (kg)	Fy (kg)	Fz (kg)	Mx (kg*m)	My (kg*m)	Mz (kg*m)
1	14950.3	24976.8	-590.1	11742.4	433.3	9941.7
5	438	23063.5	-14798	3607.74	-129.15	9235.14
6	-15390.5	7668	15399	0	0	0

Muchas veces el usuario debe tener criterio para visualizar algunos pequeños errores en los métodos numéricos que utiliza la calculadora. Por ejemplo, entre las reacciones del nodo 6 se presentó un momento en el eje global X de -31.7 kg*m , lo cual en comparación con los momentos de las otras reacciones es despreciable y además al ser un apoyo articulado no debe presentar reacción de momento. Este tipo de error se visualiza porque el desplazamiento previo genera cargas muy altas, sin embargo difícilmente se presenta.

4.4. EJEMPLO 4: Marco tridimensional

Se tiene el marco tridimensional mostrado en la figura adjunta. Este marco se encuentra empotrado en los nodos 1, 2, 3 y 4, y está cargado con dos fuerzas puntuales de 200 kg en los nodos 9 y 11. Todos los elementos están



constituidos por acero A50 con una sección cuadrada hueca de 10 cm de lado con un espesor de 1.25 mm. Obtenga el diagrama de momento para el elemento comprendido entre los nodos 10 y 11. Considere la carga distribuida gravitacional debida al peso propio de los elementos. Las coordenadas de los nodos y la ubicación de los elementos se muestra a continuación.

Coordenadas de los elementos (distancias en metros)

Nodo	X	Y	Z
1	0	0	6
2	0	0	0
3	6	0	0
4	6	0	6
5	1	4	5
6	1	4	1
7	5	4	1
8	5	4	5
9	1	7	5
10	1	7	1

11	5	7	1
12	5	7	5

Ubicación de los elementos

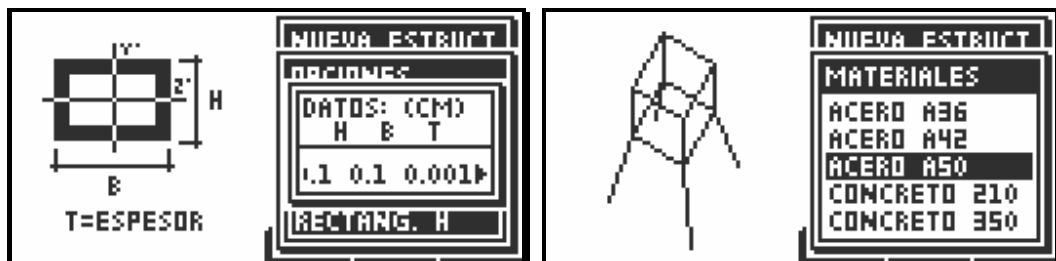
Elemento	Nodo inicial	Nodo final
1	1	5
2	2	6
3	3	7
4	4	8
5	5	8
6	5	6
7	6	7
8	7	8
9	5	9
10	6	10
11	7	11
12	8	12
13	9	12
14	9	10
15	10	11
16	11	12

Solución

Se debe introducir las coordenadas de los nodos y la ubicación de los elementos:



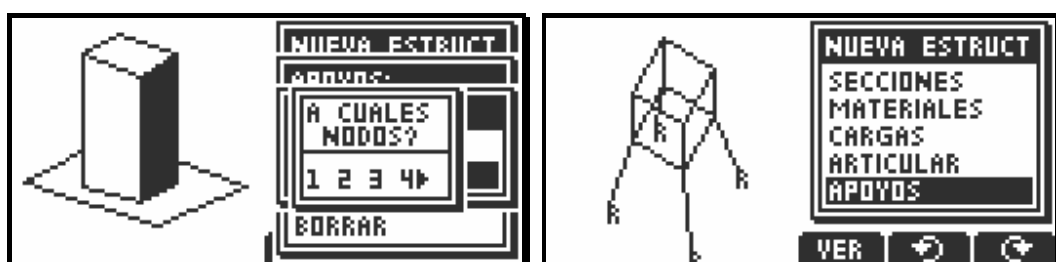
Luego se selecciona la sección y material de los elementos:



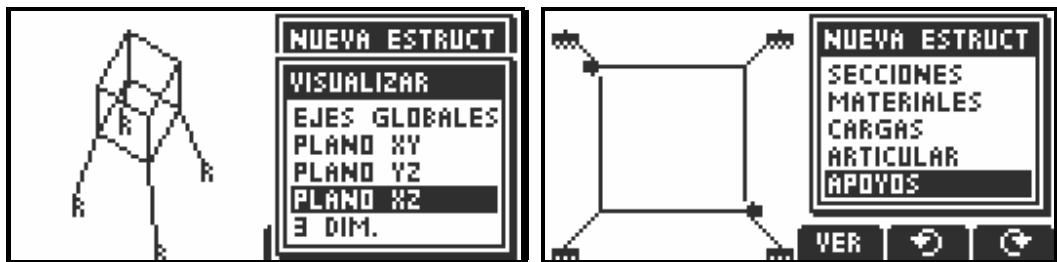
Carguemos ahora la estructura como se indica:



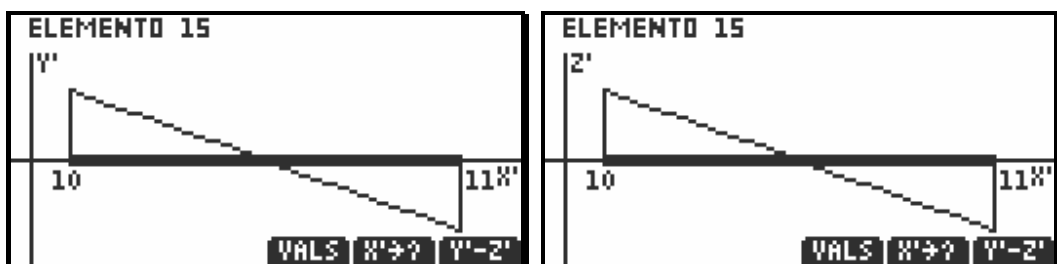
Por último, apoyemos la estructura en los nodos correspondientes:



Podemos visualizar la estructura en una vista X-Z para observar que todos los datos estén correctos antes de iniciar el análisis:



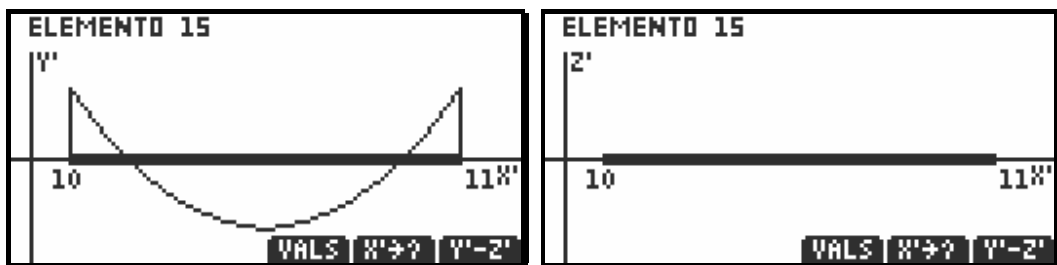
Una vez cerciorada la estructura, iniciamos el proceso de análisis. Luego que éste termine, desde la opción DI AG. MOM se selecciona el elemento 15:



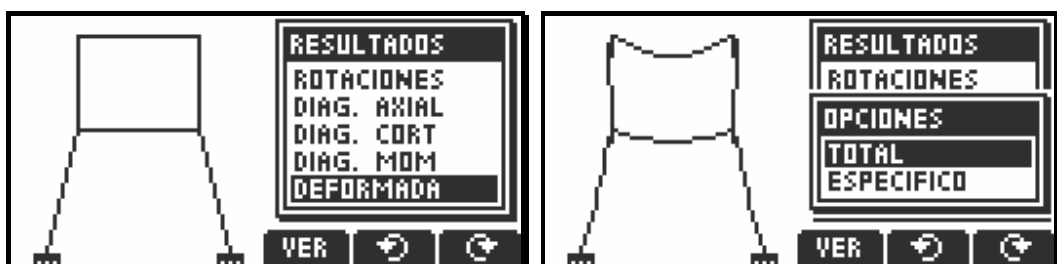
En este caso, la carga distribuida generada por el peso propio de los elementos no se hace notar en los diagramas porque la sección elegida tiene un área muy pequeña, lo que implica que las cargas nodales aplicadas predominan. Esto se puede ver en la gráfica de la deformada de la estructura:



Veamos el caso del diagrama de momento para el elemento 15, únicamente con la carga distribuida del peso propio:



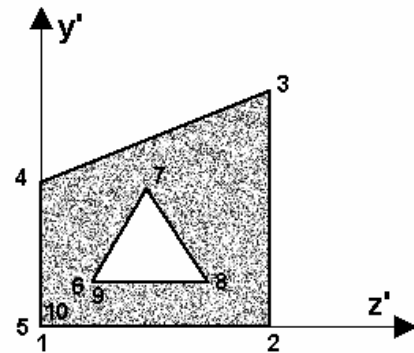
Donde por la dirección de los ejes locales, la carga distribuida está en el eje y' del elemento, por lo que no se da momento en el eje y' (recuerde que el diagrama de momento en z' se grafica en el plano local $x'-y'$ y el diagrama de momento en y' se grafica en el plano $x'-z'$), lo cual indica que la deformación de la estructura se puede apreciar en una vista X-Y:



4.5. EJEMPLO 5: Nueva sección

El presente ejemplo fue incorporado para que el usuario tenga conocimiento de la forma correcta de ingresar una nueva sección, para que el programa calcule las propiedades geométricas de la sección (área y momentos de inercia en y' y z')

Para la sección sólida mostrada en la figura, genere la secuencia de pares ordenados (z', y') que delimitan el contorno de la sección y obtenga los valores de las propiedades geométricas: área y momentos de inercia en y' y z' . Las coordenadas en centímetros de los puntos (z', y'), se dan a continuación:

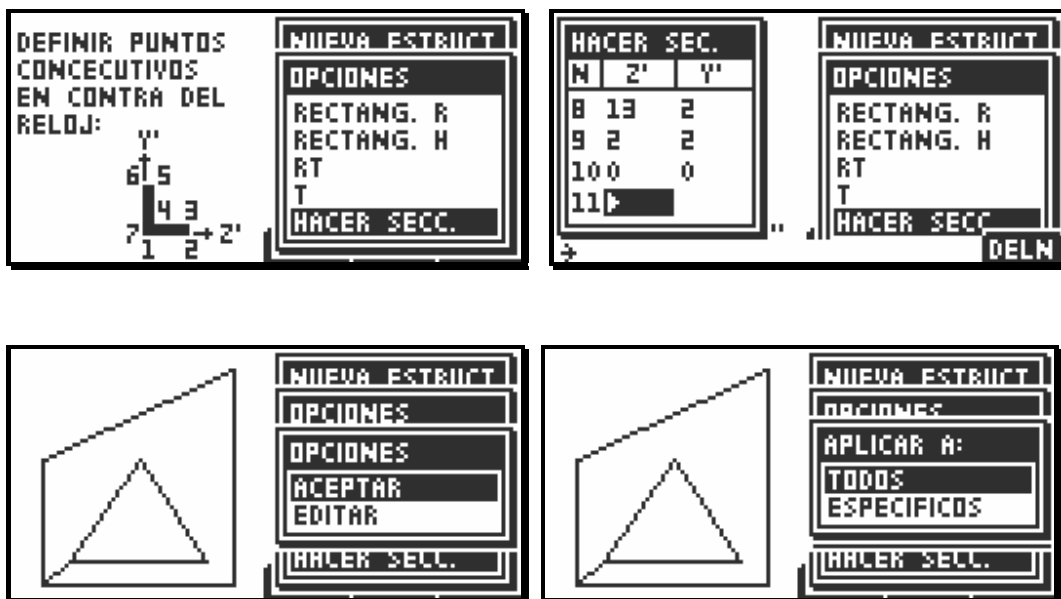


Punto	Z'	Y'
1	0	0
2	15	0
3	15	17
4	0	10
5	0	0
6	2	2
7	7.5	10
8	13	2
9	2	2
10	0	0

Solución

La forma correcta de numerar los puntos (z',y') es la expresada en la figura anterior, ya que para crear una sección sólida se deben numerar los puntos en dirección contraria a las agujas del reloj coincidiendo el último punto con el primero (caso desde el punto 1 hasta el 5), y para generar una sección negativa o vacía, se debe partir del mismo punto de inicio y contornear el área vacía en la dirección de las agujas del reloj, regresando luego al mismo punto inicial (caso desde el punto 5 hasta el 10). En caso que la sección sea completamente sólida, bastan los puntos desde el 1 hasta el 5.

Considerando que los puntos anteriores no requieren un reacomodo, procedemos a introducirlos al submenú SECCIONES, opción: HACER SECC. , para digitar nuestra secuencia de puntos:



Los valores de las propiedades geométricas obtenidas se pueden visualizar en la opción PROPI EDADES como se muestra a continuación:

PROPIEDADES				NUEVA ESTRUCT	
N	A	Iz'	Iy'	PCIONES	
1	585	3.047	3.466	T	
2				HACER SECC.	
				ITRO..	
				PROPIEDADES	
→ .01585				DELN	

Área: 0.01585 m^2

Inercia z': $3.047\text{E-}5 \text{ m}^4$

Inercia y': $3.466\text{E-}5 \text{ m}^4$

Recuerde que para ingresar al submenú SECCI ONES debe existir al menos un elemento y que las coordenadas de los puntos (z',y') deben estar en centímetros, dando como resultado las propiedades en m^2 y m^4 , unidades concordantes con las propiedades de los materiales y con la longitud de los elementos.