

# Manual del Usuario

**Colibrí<sup>®</sup>**  
Alfaomega Grupo Editor



Análisis Estructural de armaduras planas y  
tridimensionales, vigas y marcos planos.

COLIBRÍ<sup>®</sup> : Reservados todos los Derechos, 2001.

**Dr. Roberto Arroyo Matus**

Profesor de Estructuras, Facultad de Ingeniería  
Universidad Autónoma de Guerrero, México.

 **Alfaomega Grupo Editor**

México, 2001

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.....</b>	<b>6</b>
<b>MODO DE EMPLEO DE LOS PROGRAMAS.....</b>	<b>6</b>
<b>CONFIGURACIÓN DE LA PANTALLA.....</b>	<b>8</b>
<b>CONFIGURACIÓN DE LA PANTALLA.....</b>	<b>9</b>
<b>INSTALACIÓN DE LOS PROGRAMAS COLIBRI®.....</b>	<b>11</b>
<b>Programa Arm2d.exe.....</b>	<b>15</b>
<b>1. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE ARMADURAS PLANAS.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PANTALLA PRINCIPAL.....</b>	<b>15</b>
1.1.1 BARRA DEL MENÚ PRINCIPAL.....	16
1.1.2 BARRA DE HERRAMIENTAS .....	22
1.1.3 BARRA DE INFORMACIÓN .....	23
<b>1.2 OPERACIÓN DEL PROGRAMA.....</b>	<b>24</b>
1.2.1 PREPROCESAMIENTO.....	24
1.2.2 CONSIDERACIONES IMPORTANTES .....	31
1.2.3 CONSULTA/MODIFICACIÓN DE DATOS .....	32
1.2.4 PROCESAMIENTO:.....	32
1.2.5 POSPROCESAMIENTO.....	33
<b>Programa Arm3d.exe.....</b>	<b>37</b>
<b>2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE ARMADURAS TRIDIMENSIONALES.....</b>	<b>37</b>
<b>2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PANTALLA PRINCIPAL.....</b>	<b>37</b>
2.1.1 DESCRIPCIÓN DEL MENÚ PRINCIPAL .....	39
<b>2.2 ETAPAS DE OPERACIÓN DEL PROGRAMA.....</b>	<b>41</b>
2.2.1 PREPROCESAMIENTO.....	41
2.2.2 CONSIDERACIONES IMPORTANTES .....	48
2.2.3 CONSULTA/MODIFICACIÓN DE DATOS .....	49
2.2.4 PROCESAMIENTO:.....	49
2.2.5 POSPROCESAMIENTO.....	50
<b>Programa Marcos.exe.....</b>	<b>53</b>
<b>3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE VIGAS Y MARCOS PLANOS:</b>	
<b>Programa Marcos.exe.....</b>	<b>53</b>
<b>3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PANTALLA PRINCIPAL.....</b>	<b>53</b>
3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL MENÚ PRINCIPAL .....	54
<b>3.2 ETAPAS DE OPERACIÓN DEL PROGRAMA.....</b>	<b>58</b>
3.2.1 PREPROCESAMIENTO.....	58
3.2.1.6.2 CARGAS REPARTIDAS SOBRE LOS ELEMENTOS.....	65
3.2.1.6.3 CARGAS CONCENTRADAS SOBRE LOS ELEMENTOS .....	66
3.2.2 CONSIDERACIONES IMPORTANTES .....	67

3.2.3 CONSULTA/MODIFICACIÓN DE DATOS .....	67
3.2.4 PROCESAMIENTO: .....	67
3.2.5 POSPROCESAMIENTO .....	68
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>72</b>

## INTRODUCCIÓN

Bienvenido a COLIBRÍ®, la serie de programas para el análisis estructural de armaduras planas, tridimensionales, vigas y marcos planos del libro de McCormac, edición del año 2000.

En este manual se presentan los programas de análisis estructural COLIBRÍ® desarrollados por el Dr. Roberto Arroyo Matus y el Ing. Isaac Adame Gerardo en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Guerrero, México. COLIBRÍ® es una serie de programas basados en el método matricial de rigideces. Dichos programas, desarrollados para operar en ambiente Windows®, poseen características interactivas y despliegan gráficos de forma automática con el propósito de facilitar y volver más rápido y preciso el análisis de armaduras planas y tridimensionales, así como de vigas y marcos planos.

El colibrí (*Archilochus colubris*) es un ave muy pequeña (de entre 4 y 6 centímetros) que al alimentarse de las flores, disemina y poliniza diversas especies de plantas, permitiendo su reproducción. Los colibríes (Fig. 1) poseen la asombrosa capacidad de aletear hasta 80 veces por segundo y son las únicas aves que pueden volar en reversa y describir movimientos pendulares. Existen algunas especies que emigran volando miles de kilómetros desde Canadá hasta América Central.

Al igual que esta bella ave en la que se inspira la serie COLIBRÍ®, los programas, aún siendo "pequeños", poseen una gran capacidad para efectuar rápidamente el análisis, inclusive, de estructuras grandes y complejas. COLIBRÍ® trata además de "diseminar" ampliamente estos programas de alto desempeño (cuyos similares son excesivamente costosos), incluyéndolos gratuitamente en el disco compacto que se anexa a esta obra.



Fig. 1 : Colibrí (Cortesía de Corbis, Inc.).

En el presente capítulo se analizan, a manera de ejemplo, algunas armaduras, vigas y marcos empleando los programas de la serie COLIBRÍ®. El proceso para el empleo de dichos programas es sencillo e intuitivo y permite su manejo y comprensión rápidamente, aún si no se tiene una gran experiencia en el empleo de microcomputadoras.

Los programas han sido elaborados con el fin de aportar una herramienta más versátil para el análisis y revisión de estructuras a través del método matricial de rigideces. Al emplear dichos programas, el usuario podrá apreciar que pueden resolverse, en cuestión de segundos, estructuras cuya resolución manual podría tomar varias horas.

Un programa de este tipo no debe emplearse como una “caja negra” a la que se le dan datos, a cambio de resultados; es importante que el usuario estudie y comprenda ampliamente los conceptos teóricos en que se basa el método de rigideces y resuelva manualmente diversas estructuras antes de emplear cualquier programa de análisis estructural. Esto le permitirá afianzar aún más los aspectos teóricos y podrá sensibilizarse y comprender mejor los fenómenos que se presentan en la mecánica estructural.

El empleo de los programas sin esta base teórica ni el ejercicio manual podría ser fuente de graves errores. El usuario debe tener presente que la introducción de datos erróneos o de modelos estructurales deficientes, producirá resultados inadecuados y poco representativos de la estructura real que se pretenda modelar.

## REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.

Para utilizar los programas COLIBRÍ® se requiere disponer como mínimo de:

- Una microcomputadora con procesador 386SX. (es recomendable que el programa sea instalado preferentemente en computadoras con procesador tipo Pentium o similar).
- 8 MB de RAM y 10 MB de espacio libre en el disco duro.
- Lector de discos compactos (CD-ROM), ratón e impresora compatible con Windows®.
- Windows 3.1® (de preferencia Windows 95®, 98® ó 2000®).
- Un monitor SVGA: Configurado como mínimo en 800 x 600 pixeles, colores de 16 Bits y fuentes pequeñas.

## MODO DE EMPLEO DE LOS PROGRAMAS

### ¡ MUY IMPORTANTE !

Antes de ejecutar cualquiera de los programas COLIBRÍ® lea con atención el **Manual del Usuario**. Imprima este manual y téngalo a la mano para consultarlo las veces que sea necesario.

Esto le permitirá explotar el programa eficientemente y le evitará cometer errores de operación o de interpretación.

**RECUERDE** : Los programas no deben emplearse si no se ha consultado este manual.

Para utilizar los programas COLIBRÍ® por primera vez, se debe configurar la pantalla e instalar adecuadamente los programas. Ambos procedimientos son descritos a continuación.

Tenga siempre presente que los programas deben ejecutarse empleando unidades consistentes; la barra de información localizada en la parte inferior de la pantalla principal

de los programas muestra una zona que recuerda al usuario las unidades que deben emplearse en el proceso de cálculo.

Por otro lado, las cargas tendrán signo positivo de acuerdo a la convención mostrada en la Fig. 2.

Para simplificar las explicaciones en las diferentes secciones de este capítulo, cuando se indique "haga un click ..." significará que debe presionarse una vez el botón izquierdo del ratón (Fig. 3).

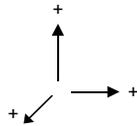


Fig. 2 : Convención de signos.

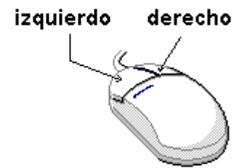


Fig. 3 : Botones del ratón.



Pantalla

## **Configuración de la Pantalla**

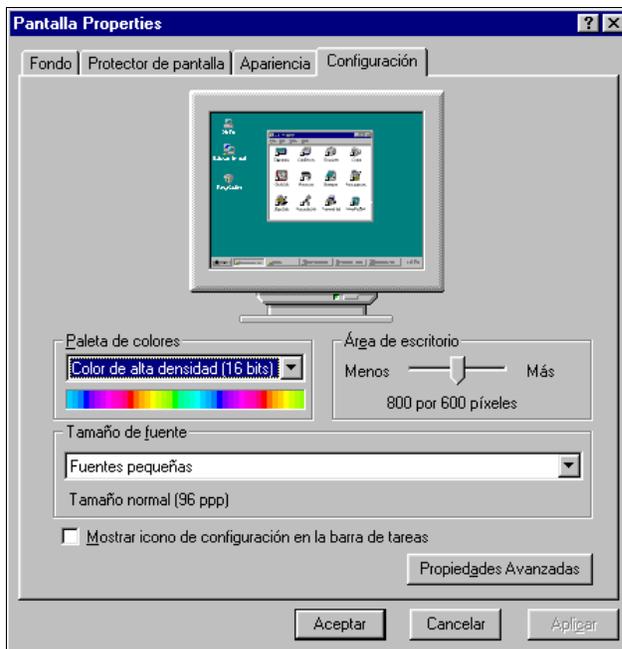
## CONFIGURACIÓN DE LA PANTALLA.

Es importante que configure la pantalla de su computadora antes de utilizar el programa COLIBRI® ; esto le permitirá obtener un adecuado funcionamiento y un mayor rendimiento del programa. Para ello, deberán seguirse los siguientes pasos:

1. En la pantalla general de Windows, haga click en el botón "Inicio".
2. Haga un click sobre la opción "Configuración".
3. Haga un click sobre la opción "Panel de control". Esto le permitirá acceder a la ventana "Panel de control".
4. En la ventana "Panel de control" busque y haga doble click sobre el archivo "Pantalla", representado por el icono siguiente:



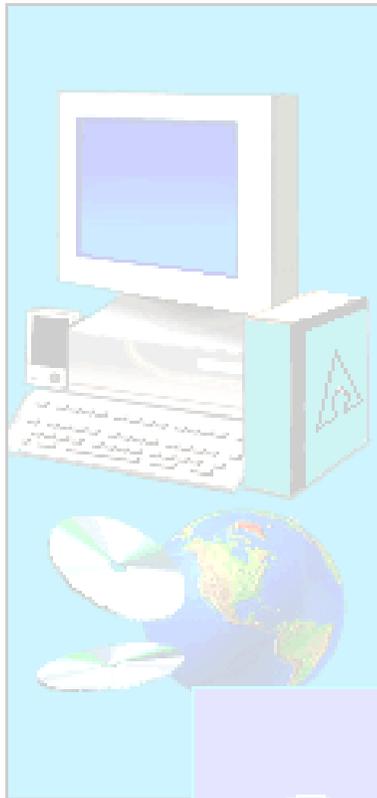
5. Aparecerá entonces una ventana similar a la de la figura 4 en la que se deberá escoger la configuración adecuada, es decir:



- a) Paleta de colores : Elegir la opción "Color de alta densidad (16 bits)".
- b) Área de escritorio : Elegir la opción "800 x 600 píxeles".
- c) Tamaño de fuente : Elegir "Fuentes pequeñas".

6. Finalmente, haga un click sobre el botón "Aceptar". En algunos casos la computadora deberá apagarse y reiniciarse para tomar en cuenta los cambios realizados a fin de configurar la pantalla adecuadamente.

Fig. 4 : Ventana para configurar la pantalla.



## ***Instalación***



## INSTALACIÓN DE LOS PROGRAMAS COLIBRI®.

El proceso de instalación de los programas COLIBRI® es muy sencillo ya que el usuario sólo tiene que ejecutar los pasos que el programa de instalación le solicite. Es este mismo programa el que se encargará de instalar automáticamente los programas en la computadora. A continuación se describe el proceso que el usuario debe seguir para la instalación:

1. Inserte el CD que contiene los programas COLIBRI® en el lector de discos compactos de su computadora.
2. Puede ejecutar el programa de instalación desde el explorador de Windows o bien desde el contenido de su PC. Elija la unidad que contiene los programas COLIBRI® haciendo doble click sobre la unidad de discos compactos (normalmente D ó E).
3. Localice el icono de instalación:



4. Actívalo haciendo doble click sobre él. Esto iniciará el proceso de instalación, presentándose automáticamente la licencia de utilización del programa. Léala con atención; si acepta los términos de la misma haga click sobre el botón "Aceptar", en caso contrario elija el botón "Salir".
5. En caso de haber elegido la opción "Aceptar", aparecerá automáticamente la ventana siguiente:



Fig. 5 : Ventana de instalación.

6. En la ventana de la figura 5 el usuario debe indicar la unidad que contiene los archivos de los programas COLIBRI® (unidad de disco D ó E) y posteriormente activar el botón  o bien el botón  si desea cancelar la instalación. Si se elige el botón , se presenta la ventana de la figura 6.
7. La figura 6 muestra la ventana que indica la unidad de destino (C:\COLIBRI) donde se instalarán automáticamente los programas COLIBRI®. El usuario puede modificar, si lo desea, la unidad de destino y/o el nombre del directorio. Para continuar con el proceso de instalación se debe activar el botón .



Fig. 6 : Unidad y directorio donde serán instalados los programas COLIBRI®.

8. Aparecerá entonces una ventana que mostrará el porcentaje de avance del proceso de instalación, apareciendo finalmente un mensaje que indicará si la instalación fue realizada de manera correcta.
9. A continuación se le solicitará el nombre del usuario y el de su institución o empresa. Introduzca estos datos y haga click sobre el botón .
10. Se presentará finalmente la ventana de información con sus datos. Para salir del programa de instalación haga click sobre el botón "Salir".

Si la instalación es correcta, se podrá tener acceso directo a los programas a través del explorador de Windows o con el botón de "Inicio" de la pantalla general de Windows, eligiendo la opción "Programas" y "Colibrí". Los iconos que permitirán el acceso a los programas son los siguientes:



- Arm2d.exe permite el análisis de armaduras planas,
- Arm3d.exe, el análisis de armaduras tridimensionales y
- Marcos.exe, el análisis de vigas y marcos planos.

En caso de presentarse algún problema durante la instalación, en lugar de ejecutar directamente el programa instalar.exe , intente ejecutar el programa inst.bat contenido en el disco compacto y siga las instrucciones. Para mayor información consulte el archivo Léame.txt del CD. Usted puede solicitar ayuda a la siguiente dirección electrónica:

[programacolibri@hotmail.com](mailto:programacolibri@hotmail.com)



# **ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE ARMADURAS PLANAS**

**Programa Arm2d.exe**



# Programa Arm2d.exe

## 1. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE ARMADURAS PLANAS

Para acceder al programa Arm2d.exe puede emplearse el Explorador de Windows o el botón de "Inicio" de la pantalla general de Windows, eligiendo la opción "Programas" y "Colibrí". Inicie la ejecución del programa haciendo doble click sobre el icono siguiente:



### 1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PANTALLA PRINCIPAL

Antes de empezar a trabajar con el programa Arm2d.exe debemos primeramente familiarizarnos con las partes de la pantalla que lo componen. Comenzaremos por describir el funcionamiento del programa, así como cada una de sus partes y la forma correcta de operarlas.

Cuando el usuario inicia una sesión con el programa, lo primero que aparece es la pantalla principal y el logotipo de apertura (Fig. 7).

Unos segundos después, el logotipo de apertura desaparece quedando únicamente la pantalla principal del programa, lista para iniciar el trabajo. Esta se compone de las barras del menú principal, de herramientas y de información:

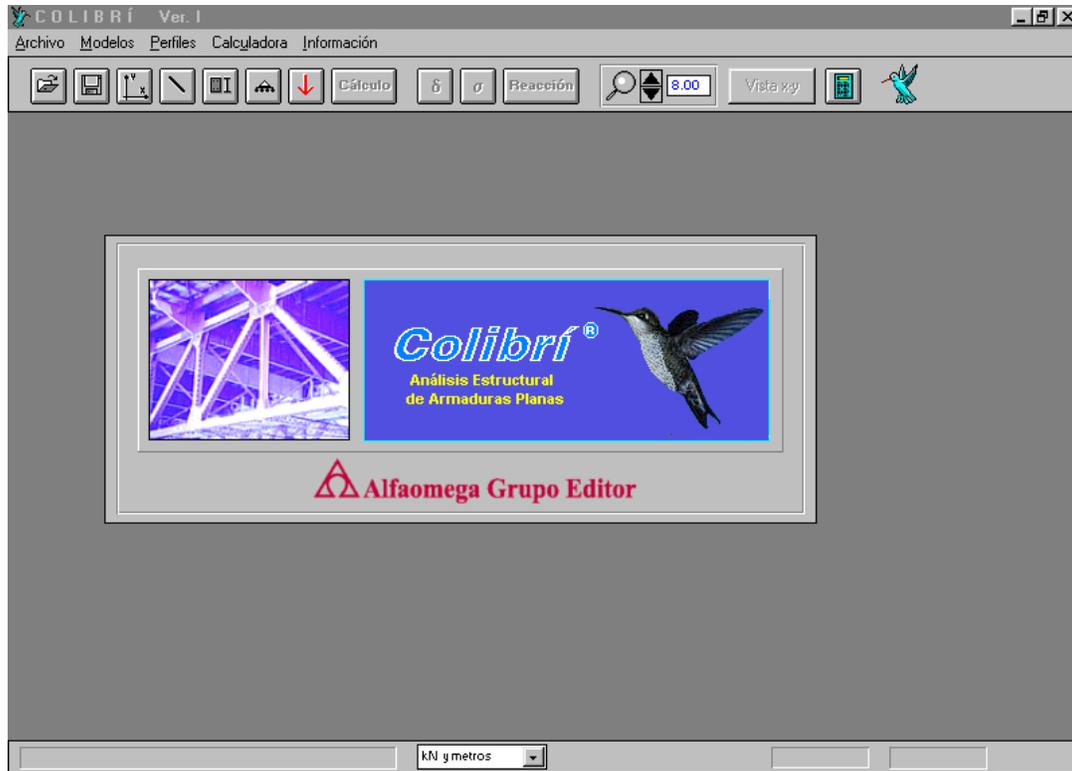


Fig. 7 : Pantalla principal y de apertura del programa Arm2d.exe.

### 1.1.1 BARRA DEL MENÚ PRINCIPAL

Contiene el menú principal, con las opciones: Archivo, Modelos, Secciones, Calculadora e Información. Está localizada en la parte superior de la pantalla.



Fig. 8 : Barra del menú principal.

La barra del menú principal contiene varias opciones que permitirán realizar diversas acciones necesarias para poder operar el programa. Por tal motivo se describirán a continuación, en forma más detallada, las funciones que cada una realiza:

### 1.1.1.1 ARCHIVO

Al hacer un click sobre esta opción (Fig. 5) se presentan cinco opciones que permiten:

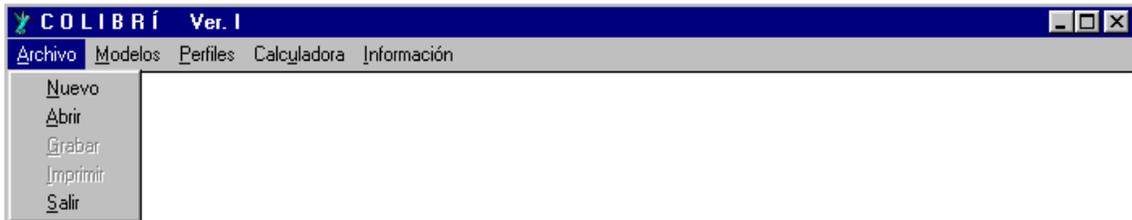


Fig. 9 : Opción Archivo de la barra del menú principal.

- **Nuevo** : Le permite al usuario iniciar un nuevo análisis.
- **Abrir** : Permite abrir un archivo previamente guardado.
- **Grabar** : Permite guardar en el disco duro o en disco de 3 1/2 ", los análisis realizados. Esta opción se activará al final del cálculo.
- **Imprimir** : imprime los resultados obtenidos de los análisis. Se activa al final del cálculo.
- **Salir** : Permite salir del programa. Si se elige esta opción, aparece una ventana (Fig. 10) que solicita la confirmación para salir definitivamente del programa (botones "No", "Sí" y "Grabar y salir").

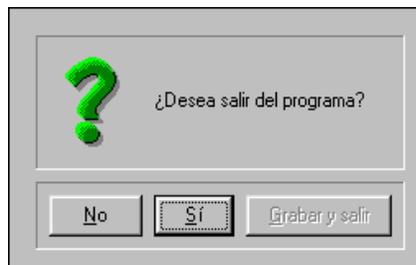


Fig. 10 : Ventana de opción múltiple para salir del programa.

### 1.1.1.2 MODELOS

Esta opción de la barra del menú principal (Fig. 8) genera automáticamente la geometría de algunos de los tipos más comunes de armaduras planas. El usuario puede definir la longitud y la altura de las mismas. Esta función permite una gran economía de tiempo.

IMPORTANTE: Al hacer click sobre esta opción, y si se ha creado una estructura con anticipación, ésta desaparece junto con todos sus datos. A continuación aparece la ventana "Modelos", la cual contiene ocho tipos diferentes de armaduras predefinidas. Cada uno de estos tipos representan a una familia de armaduras. Para tener acceso, el proceso es el siguiente:

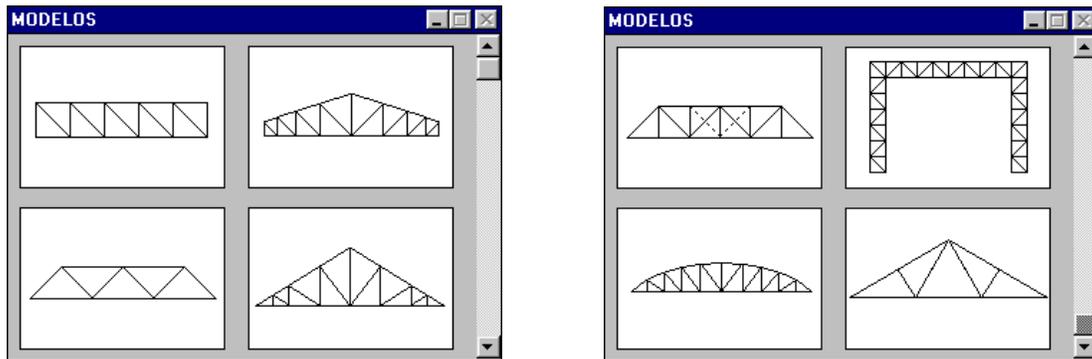


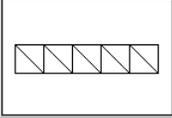
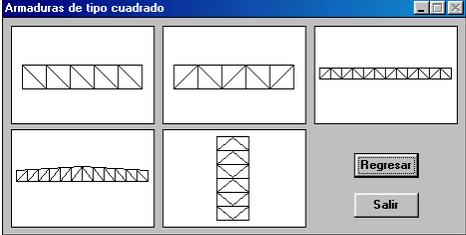
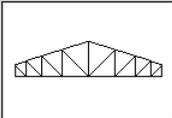
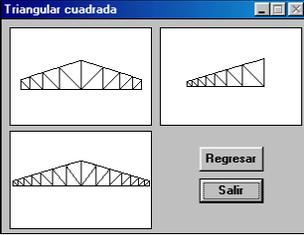
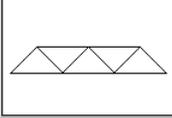
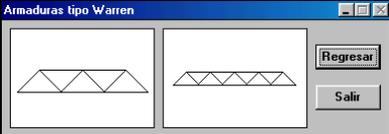
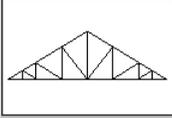
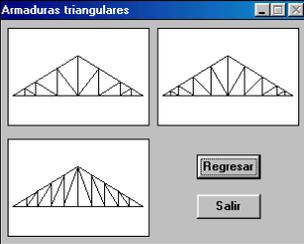
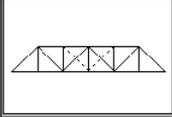
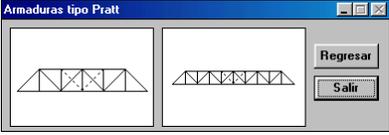
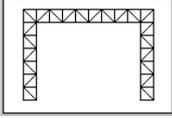
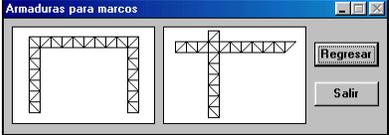
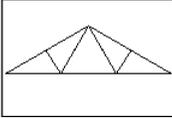
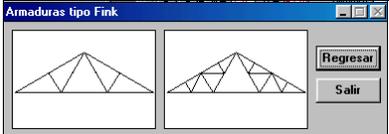
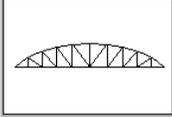
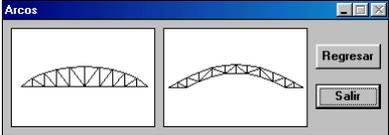
Fig. 11 : Ventana "Modelos".

1. En la ventana Modelos se elige la armadura que representa a la familia de armadura que se desea crear, haciendo un doble click.
2. Aparecerá una ventana donde el usuario tiene la opción de elegir armaduras diferentes entre sí pero pertenecientes a la misma familia. En la tabla 1 se muestra el conjunto de armaduras que el programa posee.

Para utilizar alguno de los tipos de las armaduras mostradas debe hacerse un doble click sobre la imagen de la armadura deseada; esta acción activa una nueva ventana (Fig. 12) donde se podrá dimensionar la estructura de acuerdo a las necesidades particulares.

Cabe mencionar que cuando se introduce una longitud, el programa propondrá automáticamente una altura que el usuario podrá modificar si así lo desea. Bastará con activar el botón **Continuar** de dicha ventana para generar de manera automática la geometría de la estructura en la ventana "Gráfica" o el botón **Salir** para anular el procedimiento.

Tabla 1 : Familias de armaduras predefinidas disponibles.

Tipo	Imagen	Familia
Cuadrado		
Triangular cuadrado		
Warren		
Triangular		
Pratt		
Armaduras para Marcos		
Fink		
Arco		

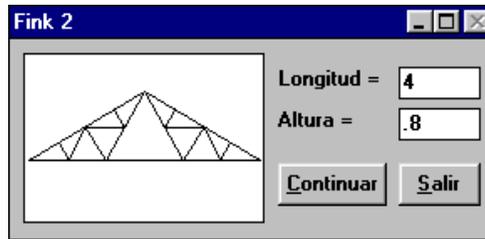


Fig. 12 : Ejemplo de ventana que permite dimensionar el tipo de armadura elegida.

### 1.1.1.3 PERFILES.

Al hacer un click sobre esta opción se despliegan cuatro opciones más, las cuales, al ser activadas muestran una ventana que presenta las características principales de los perfiles estructurales más comunes.

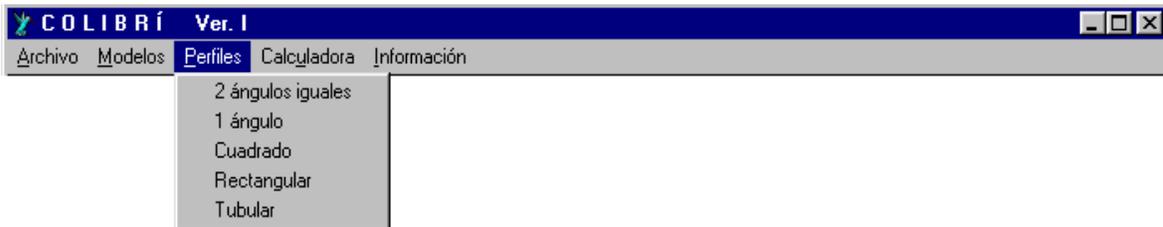


Fig. 13 : Opción "Perfiles" de la barra del menú principal.

Algunos de los datos, que se presentan son: área de la sección, dimensiones del perfil, pesos, momentos de inercia, radios de giros, entre otros. Los tipos de perfiles con los que se cuenta son: dos ángulos de lados iguales, un ángulo de lados iguales, tubular de sección cuadrada, rectangular y redonda.

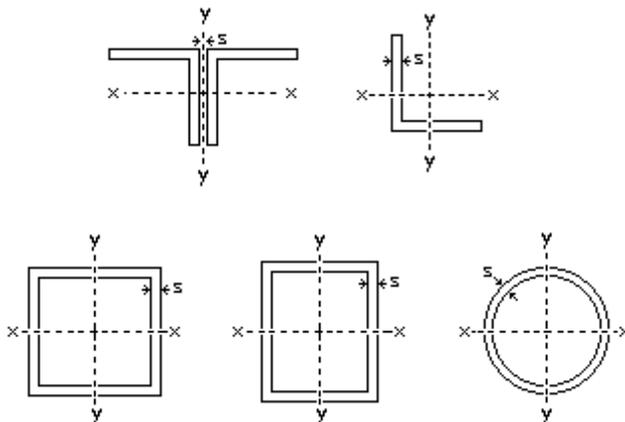


Fig. 14 : Tipos de secciones disponibles.



Fig. 15 : Calculadora estándar.

Es importante indicar que este no es un programa de diseño. Estas ventanas tienen la función de facilitar la tarea de consultar perfiles estructurales en manuales. Corresponderá al usuario realizar el diseño de la estructura.

#### 1.1.1.4 CALCULADORA:

Esta opción despliega una calculadora estándar que podrá utilizarse en cualquier momento (Fig. 15). Bastará con hacer click sobre la opción "Calculadora" de la barra del menú principal.

#### 1.1.1.5 INFORMACIÓN:

Esta opción presenta tres ventanas que ofrecen la información siguiente : Acerca de, Autores y Armaduras :

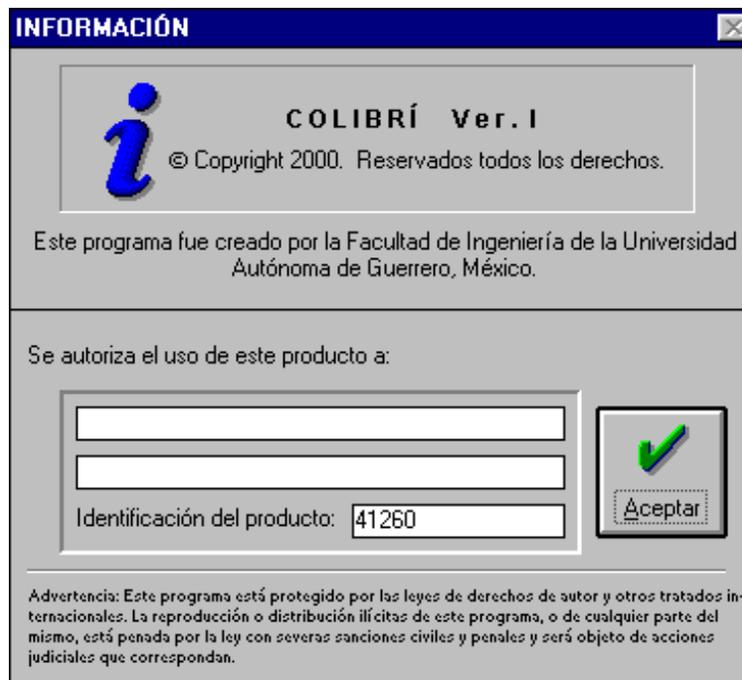


Fig. 16 : Ventana de información "Acerca de".



Fig. 17 : Ventana de información "Autores".



Fig. 18 : Ventana de información "Armaduras".

### 1.1.2 BARRA DE HERRAMIENTAS

Esta barra muestra botones o iconos que el usuario puede utilizar para realizar diversas acciones. Está localizada por debajo del menú principal. Cabe mencionar que debe seguirse una secuencia ordenada en el proceso de ejecución de análisis; y esto debido a que, de no ser así, los botones o iconos, que no sigan esa secuencia permanecerán desactivados; es por ello que se le recomienda al usuario, introducir sus datos correctamente y en orden.



Fig. 19 : Barra de herramientas.

En la tabla 2 se indica la simbología y función de cada uno de los iconos contenidos en la barra citada, ordenados de manera secuencial.

Tabla 2 : Barra de herramientas.

Icono	Función
	Abre un documento o archivo grabado con anterioridad.
	Guarda un documento actual.
	Muestra simultáneamente las ventanas Coordenadas, Elementos y Gráfica.
	Muestra la ventana Elementos.
	Muestra la ventana Secciones de los elementos.
	Muestra la ventana Apoyos.
	Muestra la ventana Cargas.
	Realiza el cálculo.
	Muestra la ventana Desplazamientos.
	Muestra la ventana Esfuerzos.
	Muestra la ventana Reacciones.
	Cambia el tamaño de la imagen mostrada en la ventana gráfica.
	Muestra el plano x-y en la ventana gráfica.
	Muestra una calculadora estándar.

### 1.1.3 BARRA DE INFORMACIÓN

Esta barra, localizada en la parte inferior de la pantalla, describe en forma condensada cada una de las acciones que en el momento se estén ejecutando, así como una etiqueta que le recuerda al usuario las unidades de longitud y fuerza que deberán

emplearse durante todo el proceso de introducción de datos. Las unidades recomendadas son:

- a) Toneladas y metros, o
- b) KiloNewtons y metros.

Esta barra muestra también, en etapas posteriores, el porcentaje de avance del cálculo.



Fig. 20 : Barra de Información.

## 1.2 OPERACIÓN DEL PROGRAMA

El programa **Arm2d.exe** consta de 3 etapas:

1. **Preprocesamiento** (Introducción de datos).
2. **Procesamiento** (Ejecución del cálculo).
3. **Posprocesamiento** (Obtención de resultados).

Es importante indicar que para llevar a cabo cada una de estas etapas, el usuario seguirá un procedimiento sencillo que debe, necesariamente, seguir una secuencia ordenada. Para ello, deberá utilizar los comandos que se describen a continuación.

### 1.2.1 PREPROCESAMIENTO

#### 1.2.1.1 COORDENADAS:

Si no se desea emplear las armaduras predefinidas de la sección \*\*\*\*, se podrá generar cualquier estructura haciendo un click sobre el botón  de la barra de herramientas o haciendo un click en "Archivo" y "Nuevo" en la barra del menú principal. Esto mostrará simultáneamente las ventanas Coordenadas, Elementos y Gráfica.

La ventana Coordenadas (Fig. 21) muestra celdas en las que pueden introducirse las coordenadas de los nodos de la armadura que se desee analizar. Basta con hacer un click sobre la coordenada del nodo que se desee introducir, se escribe el valor numérico y se oprime la tecla <Enter> para que éste sea tomado en cuenta por el programa y se dibuje automáticamente en la ventana gráfica.

El usuario puede, si lo desea, introducir todas las coordenadas de los nodos y hacer <Enter> hasta el final para observar la estructura generada. Es importante mencionar que por razones prácticas, se aceptan únicamente coordenadas positivas y únicamente se permitirán las coordenadas (0, 0) en el nodo 1.

La ventana *Coordenadas* posee además el botón  que permite ocultar/visualizar la numeración de los nodos. También muestra en la etiqueta , el número total de nodos con los que cuenta la armadura. Pueden introducirse hasta 200 nodos.



Fig. 21. Ventana Coordenadas.

### 1.2.1.2 ELEMENTOS:

En este programa, para introducir los elementos debe hacerse un click sobre el botón  de la barra de herramientas. Esta ventana (Fig. 22) funciona de forma muy similar a la de coordenadas ya que pueden introducirse los datos en las celdas para indicar los elementos de la armadura, a través del establecimiento de las conexiones entre los nodos. Para definir un elemento, debe introducirse en esta ventana el número de nodo donde inicia y el número de nodo donde termina dicho elemento o miembro de la armadura. Es importante mencionar que el inicio del elemento corresponderá al nodo menor, y el fin del elemento deberá ser el nodo mayor.

Existe una tercera columna donde se indicará, con un número progresivo (1, 2 ...), el tipo de sección que tiene cada uno de los elementos que conformarán la armadura.

La ventana Elementos también permite ocultar/visualizar la numeración de los elementos y el tipo de sección, ambas acciones se ejecutan activando con un click el

botón **Elementos**. La etiqueta **No. de Elementos: 21** muestra el número total de elementos que conforma la armadura. Pueden introducirse hasta 200 elementos.



Elem.	Inicio	Fin	Secc.
1	1	3	1
2	1	2	1
3	2	3	1
4	2	4	1
5	3	4	1
6	3	5	1
7	3	6	1

Secciones No. de Elementos: 89

Fig. 22 : Ventana Elementos.

Es importante recordar que las etapas anteriores pueden omitirse si se elige trabajar con la opción de generación automática de modelos (opción "Modelos" en la barra del menú principal).

### 1.2.1.3 GRÁFICA:

Esta ventana (Fig. 23) permite mostrar en forma gráfica los valores numéricos que se introducen en las ventanas Coordinadas y Elementos. Más adelante se verá que es posible también, dibujar automáticamente los tipos de apoyos y también las cargas

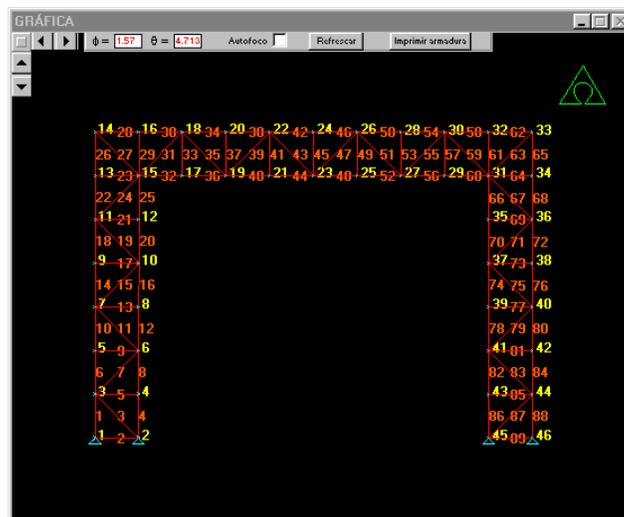


Fig. 23 : Ventana Gráfica.

Dentro de las propiedades que posee, podemos describir las siguientes:

- a) Permite acercarse o alejarse de la estructura; esto se logra presionando el botón derecho del ratón moviéndolo a la vez, sin dejar de presionarlo, hacia abajo o hacia arriba. Esta operación debe realizarse únicamente dentro de la ventana gráfica.

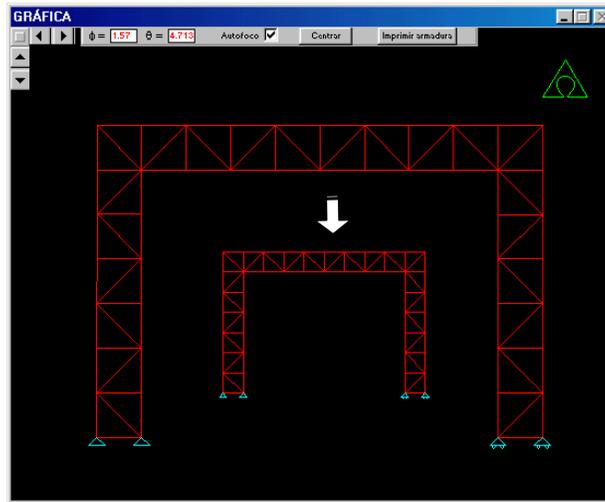


Fig. 24 : Propiedad que permite disminuir o aumentar el tamaño de la estructura.

- b) Permite trasladar la estructura a cualquier punto de la ventana *Gráfica*. Esto se logra manteniendo presionada la tecla <Control> o <Ctrl> al mismo tiempo que se oprime también el botón derecho del ratón desplazándolo a donde se desee, dentro de la misma ventana.

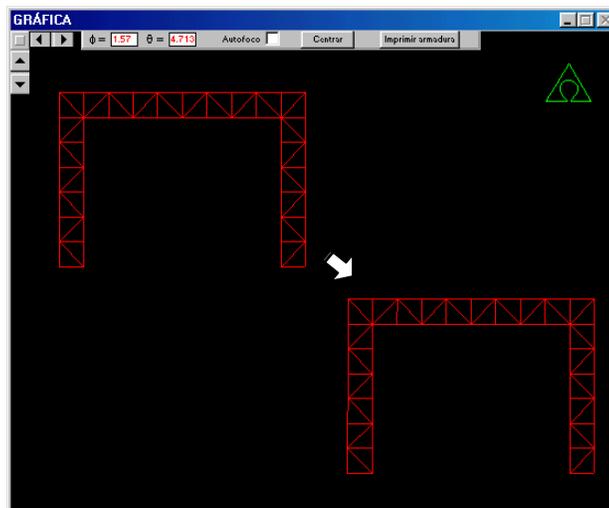


Fig. 25 : Propiedad que permite trasladar la estructura a cualquier punto de la ventana, conservando su tamaño original.

- c) Permite girar la estructura, para visualizarla desde cualquier punto en el espacio. Esto se logra manteniendo presionado el botón izquierdo del ratón, desplazándolo hacia arriba, abajo o a los lados para girar la estructura. Esta acción debe también realizarse dentro de la ventana gráfica.

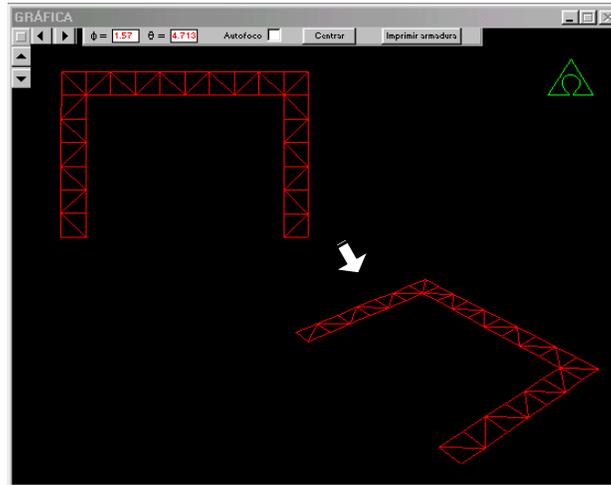


Fig. 26 : Propiedad que permite girar la estructura y observarla desde cualquier punto en el espacio.

Además de las propiedades descritas anteriormente, la ventana Gráfica, cuenta con una pequeña barra de herramientas con funciones adicionales; estas herramientas se describen a continuación:

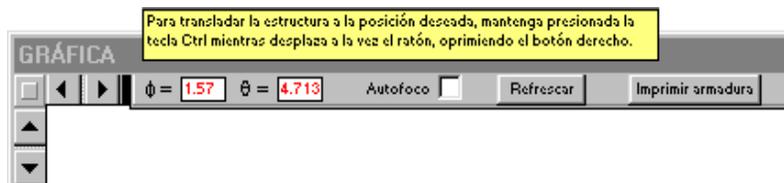


Fig. 27 : Barra de herramientas de la ventana Gráfica.

En la figura anterior se muestra la aplicación de los botones , los cuales se activan haciendo un click sobre los mismos. Su función es indicar al usuario la forma en la que debe utilizar el ratón para lograr trasladar la estructura a una posición deseada. Los botones verticales tienen exactamente la misma función.

Las etiquetas  $\phi = 1.57$   $\theta = 4.713$  muestran automáticamente los ángulos, en radianes, que definen la posición de la estructura al ser girada con la ayuda del ratón.  $\phi$  define al ángulo perpendicular al plano x-z, mientras que  $\theta$  corresponde al ángulo en el plano x-z desde el que se observa la estructura.

La propiedad de autofoco que muestra la etiqueta  Autofoco permite observar la estructura en perspectiva.

El botón  se activa haciendo un click sobre él, y es muy útil para localizar la imagen de la estructura cuando ésta, por algún motivo no es visible en la ventana gráfica.

Si se desea imprimir la imagen de la estructura que muestra esta ventana, puede utilizarse el botón  haciendo un click sobre este botón. Debe verificarse que exista una impresora debidamente instalada al sistema para evitar un mensaje de error.

#### 1.2.1.4 SECCIONES:

Para introducir las secciones en este programa debe hacerse un click sobre el botón  de la barra de herramientas. Esta ventana opera también de manera muy similar a las anteriores ya que muestra celdas donde se puede indicar, el área y el módulo de elasticidad de cada sección diferente definida en la ventana Elementos. Es importante mencionar que, con el fin de no escribir el enorme número que define al módulo de elasticidad, éste deberá teclearse habiéndolo dividido previamente entre  $1 \times 10^{10}$ .



Secc.	Área	E z (10 <sup>10</sup> )
1	0.006450	0.020000
2	0.000	0.000000
3	0.000	0.000000

Secciones      No. de Secciones: 1

Fig. 28 : Ventana Secciones.

Cada tipo de sección o de material deberá definirse introduciendo el área y el módulo de elasticidad respectivos. Debe pulsarse la tecla <Enter> cada vez que se tecleen los valores, con el fin de tomar en cuenta la información introducida. Debe verificarse que la etiqueta "No. de Secciones" muestre el número correcto de secciones. En caso de olvidar esta recomendación, podrían generarse errores.

La ventana de *Secciones* permite también ocultar/visualizar, en la ventana Gráfica, el número que define el tipo de sección de cada elemento de la estructura. Esto se logra presionando el botón . La etiqueta  muestra el número total de

secciones diferentes que se estén utilizando en la estructura. Pueden introducirse hasta 200 tipos de secciones diferentes.

### 1.2.1.5 APOYOS:

En este programa, para introducir cargas debe hacerse un click sobre el botón  de la barra de herramientas. En esta ventana se indica la forma en que estará apoyada la armadura que se desea analizar. Para ello, esta ventana también cuenta con celdas, que a diferencia de las ventanas anteriores, en éstas no se permite introducir valores numéricos, ya que opera de manera diferente:

- a) Primeramente, en la ventana "Apoyos" se selecciona la celda del nodo donde se requiere el apoyo, haciendo un click con el botón izquierdo del ratón. Es importante realizar esta acción pues en caso de no hacerlo se corre el riesgo de poner apoyos en lugares inadecuados.
- b) Se selecciona el apoyo deseado haciendo un click con el botón izquierdo y, manteniendo presionado este botón, se desplaza el apuntador del ratón hasta la celda donde se requiere el apoyo, es decir, en donde se hizo click en el paso anterior (esto permite arrastrar el icono y colocarlo sobre la celda deseada).
- c) Una vez que el icono se arrastra y se coloca sobre la celda deseada, se deja de presionar el botón izquierdo del ratón, dando la impresión de que el icono se dejara caer sobre la celda. Esto permitirá dibujar el apoyo simultáneamente en la celda donde se deja caer y también en la estructura que se presenta en la ventana Gráfica



Fig. 29 : Ventana Apoyos.

Otras de las opciones que esta ventana ofrece, son los botones  que permiten disminuir o aumentar el tamaño de los apoyos para visualizarlos mejor en la ventana Gráfica. El botón  permite ocultar y mostrar los apoyos.

### 1.2.1.6 CARGAS:

Esta ventana permite indicar las condiciones de carga a las que se sujeta la estructura. Al hacer click sobre el botón  contenido en la barra de herramientas de la ventana principal del programa, se muestra la ventana Cargas, la cual cuenta con unas celdas en las que pueden introducirse los valores de las cargas en los nodos, ya sea en la dirección x, y o en ambas direcciones a la vez.

Para que el programa muestre las cargas introducidas en la ventana Gráfica, se debe presionar la tecla <Enter> después de introducir cada dato.

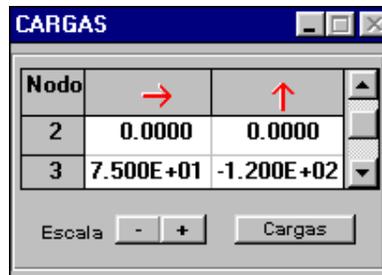


Fig. 30 : Ventana Cargas.

Esta ventana permite ocultar y mostrar las flechas que representan las cargas, oprimiendo el botón . El tamaño de las flechas puede modificarse incrementando o disminuyendo su escala, a través de los botones  de forma que puedan apreciarse sin ningún problema.

Una vez definidas las cargas, el programa activará las opciones "Grabar" e "Imprimir" de la barra de herramientas y también del menú principal (en la opción Archivos).

### 1.2.2 CONSIDERACIONES IMPORTANTES.

La etapa de preprocesamiento termina aquí. Es importante recalcar que el orden correcto de ejecución de esta etapa es el siguiente:

1. Introducción de coordenadas ()
2. Definición de la conectividad de los elementos y del tipo de sección de cada uno de los mismos ()
3. Definición del o de los tipos de sección: área, módulo de elasticidad ()
4. Introducción de los apoyos ()
5. Introducción de las cargas ()

IMPORTANTE : No debe seguirse un orden diferente, ya que se pueden presentar conflictos de ejecución en el programa.

### 1.2.3 CONSULTA/MODIFICACIÓN DE DATOS

No presione los botones , , , ,  para modificar o consultar información previamente capturada ya que éstos sirven para generar nuevos datos y podrían borrar los datos previamente introducidos. Recuerde que durante el preprocesamiento, al ir introduciendo datos, las ventanas precedentes se van minimizando de manera automática y se colocan en la parte inferior de la pantalla. Si se desea consultar/modificar datos en forma correcta se debe:

1. Elegir la ventana minimizada en la que desea realizar la consulta o modificación, y
2. Hacer doble click sobre la misma. Esto permitirá devolverle su tamaño original y podrán entonces modificarse o consultarse los datos respectivos.

### 1.2.4 PROCESAMIENTO:

#### 1.2.4.1 CÁLCULO:

El botón  del menú principal es el más importante del programa ya que permite ejecutar el análisis de la estructura. Al activar este botón el programa ejecuta una serie de cálculos basados en el método de rigideces.

El avance del cálculo se presenta porcentualmente en una ventana y en la barra de información. Lo anterior en realidad resulta ser relativamente rápido y puede apreciarse en estructuras que posean una gran cantidad de elementos y nodos.

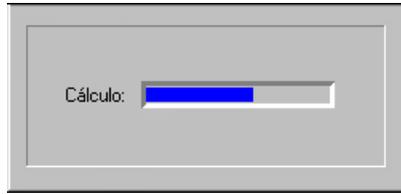


Fig. 31 : Ventana que indica el avance del cálculo.

Si aparece algún mensaje de error, posiblemente se deba a que no se hayan definido valores en la ventana Secciones (recuerde teclear <Enter> cada vez que introduzca los valores del área y del módulo de sección) o a que posiblemente exista una inestabilidad en la estructura (revise los apoyos).

Al finalizar el cálculo aparece automáticamente la ventana de la figura 32. Esta ventana permite consultar la matriz de rigidez de cualquiera de los elementos que conforman la estructura. Haga clic sobre los botones más o menos para elegir el elemento deseado. Pulse el botón Salir si desea cerrar la ventana.



Fig. 32 : Matriz de rigidez de un elemento.

## 1.2.5 POSPROCESAMIENTO.

### 1.2.5.1 DESPLAZAMIENTOS:

El programa también permite conocer los desplazamientos nodales que la estructura experimenta bajo la acción de las cargas actuantes. Para visualizar la ventana de la figura 33 se debe presionar el botón  de la barra de herramientas.

Nodo	Desp. X	Desp. Y
1	+1.876E-08	- 8.441E-09
2	+4.776E-04	- 1.545E-03
3	+7.420E-04	- 1.545E-03
4	+9.552E-04	- 2.157E-08

Deformada

Escala= 200

Mostrar ambas

Ucultar original

Mostrar original

Fig. 33 : Ventana Desplazamientos.

Además, en la etiqueta Escala= 0.0100 puede teclearse una escala adecuada, y presionar el botón **Mostrar ambas** para apreciar gráficamente los desplazamientos nodales de la estructura. Debe aclararse, que este botón realiza 3 acciones diferentes independientes entre ellas cada vez que se haga un click en él:

- Mostrar ambas** Muestra la estructura original y la deformada.
- Ucultar original** Muestra únicamente la estructura deformada.
- Mostrar original** Muestra únicamente la estructura sin deformarse.

Existe también la barra que permite mostrar la deformada por etapas. La figura 34 muestra una estructura deformada.

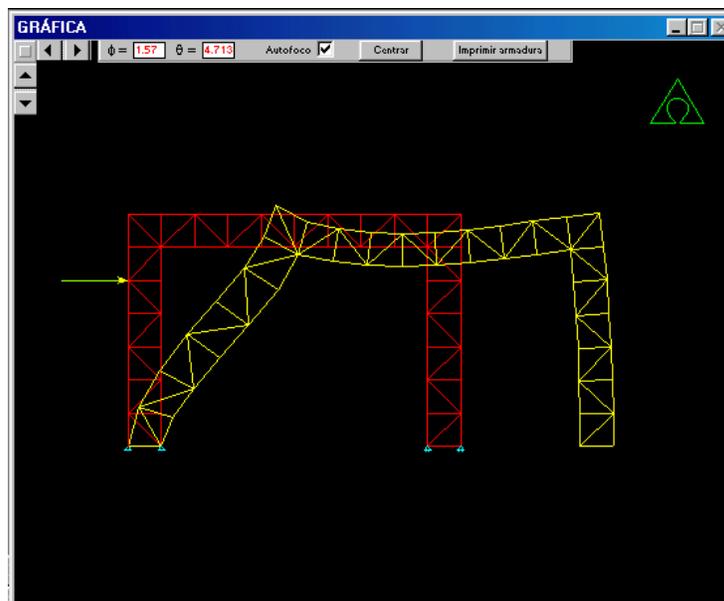


Fig. 34 : Deformación de la estructura.

### 1.2.5.2 ESFUERZOS:

Pulsando el botón  se activa la ventana Esfuerzos la cual muestra el valor de los esfuerzos producidos en cada uno de los elementos de la estructura. Los valores positivos indican que el elemento está sujeto a tensión; los negativos indican que el elemento se comprime.



Fig. 35 : Ventana Esfuerzos.

Elemento	Esfuerzo
1	+1.910E+04
2	+1.910E+04
3	- 9.125E+03
4	+0.000E+00
5	- 2.332E+04

Fig. 35 : Ventana Esfuerzos.

### 1.2.5.3 REACCIONES:

Una vez realizado el cálculo, se procede al tratamiento de resultados. Presionando el botón  de la barra de herramientas se puede tener acceso a la ventana Reacciones la cual muestra los valores obtenidos en el análisis de la estructura. Estos valores permiten verificar el equilibrio estático.



Fig. 36 : Ventana Reacciones.

Nodo	Reacc. X	Reacc. Y
1	- 7.500E+01	+3.375E+01
2	+0.000E+00	+0.000E+00
3	+0.000E+00	+0.000E+00
4	+0.000E+00	+8.625E+01

Fig. 36 : Ventana Reacciones.



# **ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE ARMADURAS TRIDIMENSIONALES**

**Programa Arm3d.exe**

## Programa Arm3d.exe

### 2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE ARMADURAS TRIDIMENSIONALES

Para acceder al programa Arm3d.exe puede emplearse el Explorador de Windows o el botón de "Inicio" de la pantalla general de Windows, eligiendo la opción "Programas" y "Colibrí". El icono que permitirá el acceso es el siguiente:



Para iniciar la ejecución del programa , debe hacerse doble click sobre este icono.

Debido a que existe una gran similitud de operación entre los programas Arm2d.exe y Arm3d.exe, en el desarrollo de esta sección se hará mayor énfasis en aquellas características o partes que conforman al programa Arm3d.exe que lo hacen diferente del programa Arm2d.exe.

#### 2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PANTALLA PRINCIPAL

Al igual que el programa Arm2d.exe, para empezar a trabajar con el programa Arm3d.exe debemos primeramente familiarizarnos con las partes de la pantalla que el programa muestra al inicio.

Cuando el usuario inicia una sesión con el programa, lo primero que aparece es la pantalla principal y de apertura, que a diferencia del programa anterior ahora muestra una imagen de una armadura tridimensional.

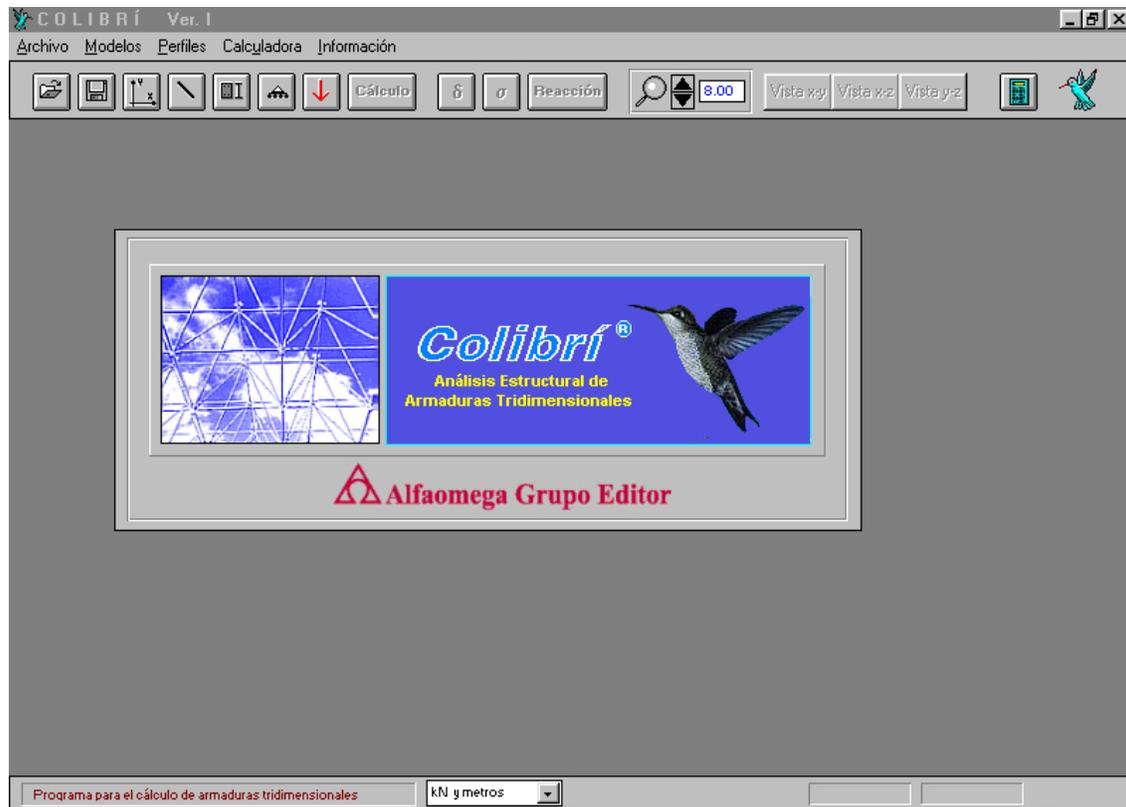


Fig. 37 : Pantalla principal y de apertura del programa Arm3d.exe.

Al desaparecer dicha presentación queda la pantalla principal del programa, que permite al usuario iniciar una sesión de trabajo. El programa es muy similar al Arm2d.exe y esta pantalla difiere únicamente en la barra de herramientas:



Fig. 38 : Barra de herramientas del programa Arm3d.exe

- **Barra de Herramientas:** Muestra tres nuevos botones que realizan las siguientes funciones:

Vista x-y	Permite visualizar la estructura en el plano x-y.
Vista x-z	Permite visualizar la estructura en el plano x-z.
Vista y-z	Permite visualizar la estructura en el plano y-z.

## 2.1.1 DESCRIPCIÓN DEL MENÚ PRINCIPAL

El menú principal, opera exactamente de la misma forma que el del programa Arm2d.exe y ofrece las mismas opciones. La opción "Modelos" ofrece la creación automática de armaduras tridimensionales.

### 2.1.1.1 MODELOS

*Función:* Genera automáticamente la geometría de algunos de los tipos más comunes de armaduras tridimensionales. El usuario puede definir la longitud y la altura de las mismas. Lo anterior permite una gran economía de tiempo.



Fig. 39 : Opción Modelos de la barra del menú principal.

**IMPORTANTE:** Al hacer click sobre esta opción, una estructura creada con anticipación desaparece junto con todos sus datos. A continuación aparece la ventana "Modelos", la cual contiene cinco tipos diferentes de armaduras tridimensionales predefinidas. Cada uno de estos tipos representa a una familia de armaduras. Para tener acceso, el proceso es el siguiente:

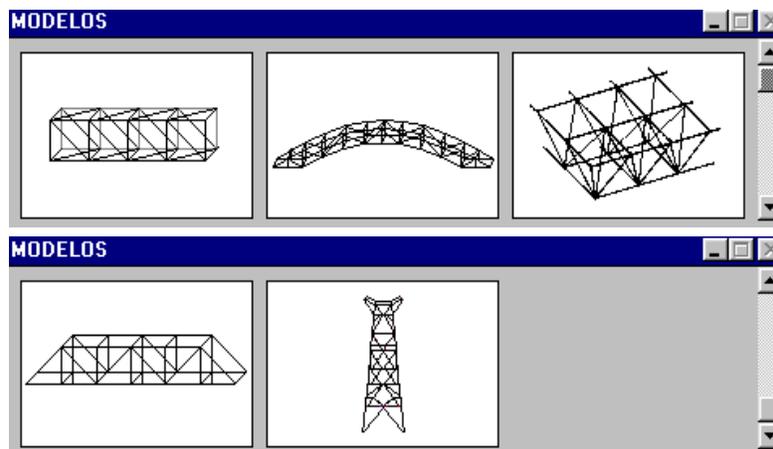
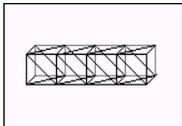
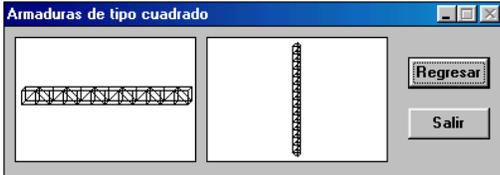
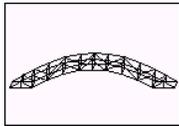
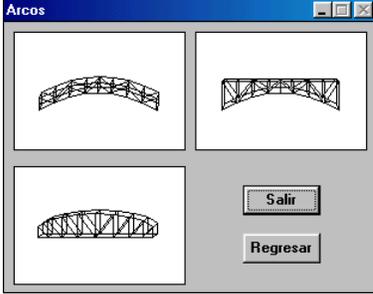
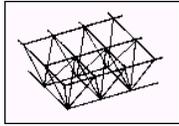
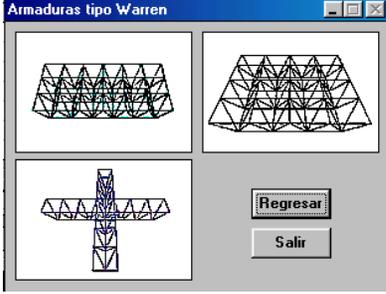
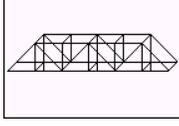
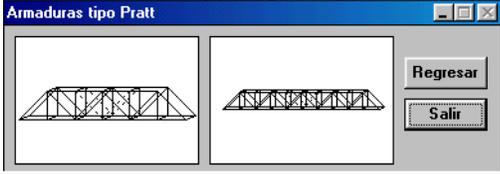
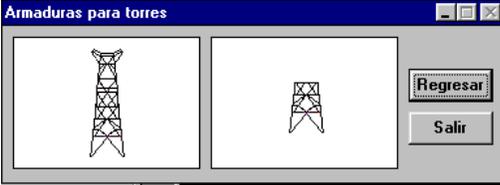


Fig. 40 : Ventana Modelos.

1. En la ventana Modelos se elige la armadura que representa a la familia de armaduras que se desea crear, haciendo un doble click.
2. Posteriormente aparecerá una ventana donde el usuario tiene la opción de elegir armaduras diferentes entre sí pero pertenecientes a la misma familia. En la tabla 3 se muestra el conjunto de armaduras que el programa posee.

Para utilizar alguno de los tipos de las armaduras mostradas debe hacerse un doble click sobre la imagen de la armadura deseada; esta acción activa una nueva ventana (Fig. 41) donde se podrá dimensionar la estructura de acuerdo a las necesidades particulares.

Tabla 3 : Familias de armaduras espaciales predefinidas disponibles.

Tipo	Imagen	Familia
Cuadrado		
Arco		
Tridimensional		
Pratt		
Torre		

Cabe mencionar que cuando se introduce una longitud, el programa propondrá automáticamente una altura que el usuario podrá modificar si así lo desea. Bastará con

activar el botón **Continuar** de dicha ventana para generar automáticamente la geometría de la estructura en la ventana "Gráfica" o el botón **Salir** para anular el procedimiento.

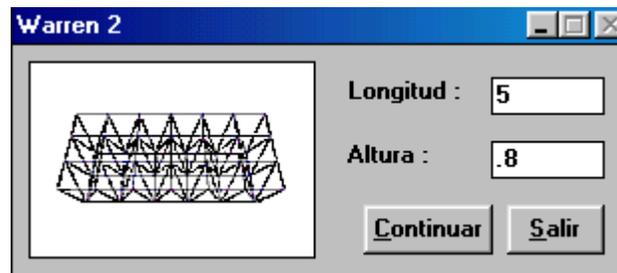


Fig. 41 : Ventana que permite dimensionar la armadura elegida.

## 2.2 ETAPAS DE OPERACIÓN DEL PROGRAMA

De la misma manera que el programa Arm2d.exe, el programa Arm3d.exe consta de **3** etapas en su operación.

1. **Preprocesamiento** (Introducción de datos)
2. **Procesamiento** (Ejecución del cálculo)
3. **Posprocesamiento** (Obtención de resultados)

### 2.2.1 PREPROCESAMIENTO

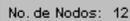
#### 2.2.1.1 COORDENADAS:

Si no se desea emplear las armaduras predefinidas de la sección \*\*\*\*, se podrá generar cualquier estructura haciendo un click sobre el botón  de la barra de herramientas o haciendo un click en "Archivo" y "Nuevo" en la barra del menú principal. Esto mostrará simultáneamente las ventanas Coordenadas, Elementos y Gráfica.

La ventana Coordenadas (Fig. 42) muestra celdas en las que pueden introducirse las coordenadas de los nodos de la armadura que se desee analizar. Esta ventana opera de la misma manera en la que opera la ventana Coordenadas del programa Arm2d.exe. La única diferencia que presenta es la incorporación de una columna más, donde se podrán indicar las coordenadas de los nodos de la armadura tridimensional en la dirección (z).

Bastará con hacer un click sobre las celdas del nodo que se desee introducir, se escribe el valor numérico y se oprime la tecla <Enter> para que éste sea tomado en cuenta por el programa y se dibuje automáticamente en la ventana gráfica.

El usuario puede, si lo desea, introducir todas las coordenadas de los nodos y hacer <Enter> hasta el final para observar la estructura generada. Es importante mencionar que por razones prácticas, se aceptan únicamente coordenadas positivas y únicamente se permitirán las coordenadas (0, 0, 0) en el nodo 1.

La ventana Coordenadas posee además el botón  que permite ocultar/visualizar la numeración de los nodos. También muestra en la etiqueta , el número total de nodos con los que cuenta la armadura. Pueden introducirse hasta 200 nodos.



Nodo	X	Y	Z
1	0	1	0
2	0	1	1.25
3	.625	0	.625
4	1.25	1	0
5	0	1	2.5
6	.625	0	1.875
7	1.25	1	1.25

Ocultar      No. de Nodos: 41

Fig. 42 : Ventana Coordenadas

### 2.2.1.2 ELEMENTOS:

Se puede tener acceso a la ventana de la figura (Fig. 43) haciendo un click sobre el icono  de la barra de herramientas. Esta ventana no presenta ningún cambio; opera de la misma forma que en el programa Arm2d.exe; funciona de forma muy similar a la de coordenadas ya que pueden introducirse los datos en las celdas para indicar los elementos de la armadura, estableciendo las conexiones existentes entre los nodos. Para definir un elemento, debe introducirse en esta ventana el número de nodo donde inicia y el número de nodo donde termina dicho elemento o miembro de la armadura. Es importante mencionar que el inicio del elemento corresponderá al nodo menor, y el fin del elemento deberá ser el nodo mayor.

Existe una tercera columna donde se indicará, con un número progresivo (1, 2 ...), el tipo de sección que tiene cada uno de los elementos que conformarán la armadura.

La ventana Elementos también permite ocultar/visualizar la numeración de los elementos y el tipo de sección, ambas acciones se ejecutan activando con un click el botón **Elementos**. La etiqueta **No. de Elementos: 21** muestra el número total de elementos que conforman la armadura. Pueden introducirse hasta 200 elementos.



Fig. 43 : Ventana Elementos.

Es importante recordar que las etapas anteriores pueden omitirse si se elige trabajar con la opción de generación automática de modelos (opción "Modelos" en la barra del menú principal).

### 2.2.1.3 GRÁFICA:

La ventana gráfica del programa Arm3d.exe (Fig. 44) es idéntica a la del programa Arm2d.exe. Esta ventana permite mostrar en forma gráfica los valores que se introducen en las ventanas Coordinadas y Elementos. Consulte la sección \*\*\* si desea recordar la descripción y propiedades de las partes que la conforman. Para reafirmar el conocimiento que el usuario debe tener al operar la ventana Gráfica, a continuación se describe nuevamente cada una de las propiedades que ésta posee.

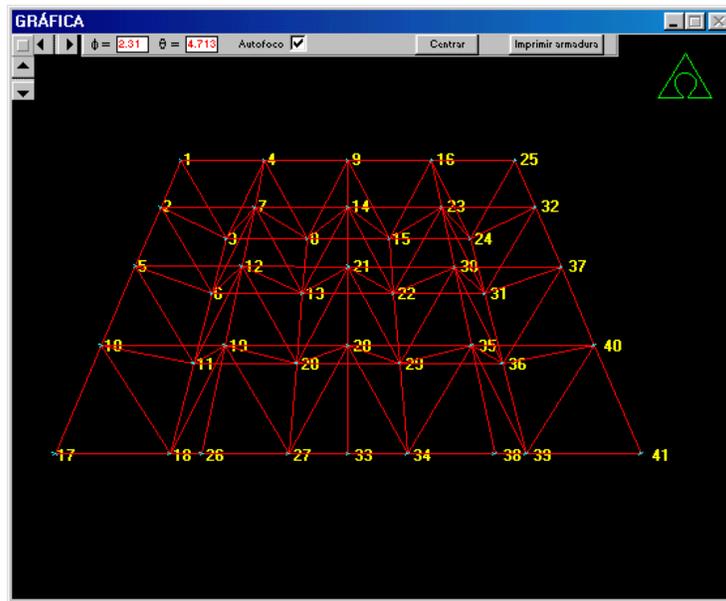


Fig. 44 : Ventana Gráfica.

Sus propiedades son:

- a) Permite acercarse o alejarse de la estructura; esto se logra presionando el botón derecho del ratón moviéndolo a la vez, sin dejar de presionarlo, hacia abajo o hacia arriba. Esta operación debe realizarse únicamente dentro de la ventana gráfica.

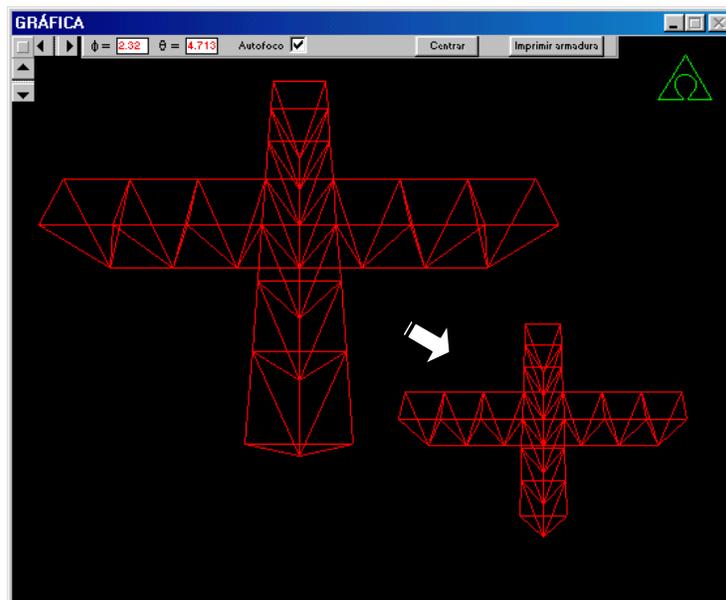


Fig. 45 : Propiedad que permite disminuir o aumentar el tamaño de la estructura.

- b) Permite trasladar la estructura a cualquier punto de la ventana *Gráfica*. Esto se logra manteniendo presionada la tecla <Control> o <Ctrl> al mismo tiempo que se oprime también el botón derecho del ratón desplazándolo hacia donde se desee, dentro de la misma ventana.

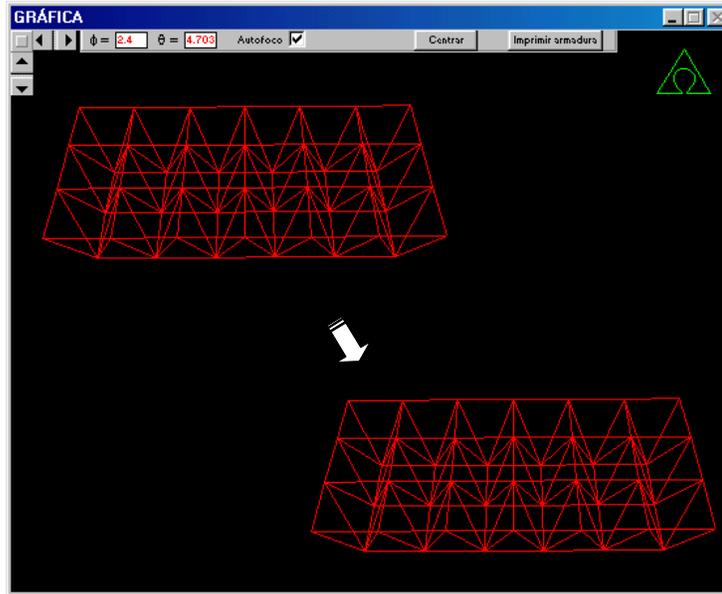


Fig. 46 : Propiedad que permite trasladar la estructura a cualquier punto de la ventana, conservando su tamaño original.

- c) Permite girar la estructura, para visualizarla desde cualquier punto en el espacio. Esto se logra manteniendo presionado el botón izquierdo del ratón, desplazándolo hacia arriba, abajo o a los lados para girar la estructura. Esta acción debe también realizarse dentro de la ventana gráfica.

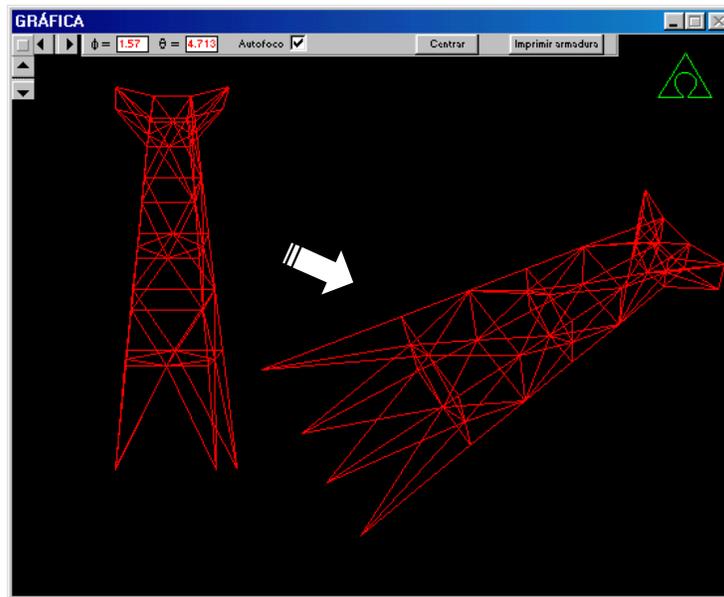


Fig. 47 : Propiedad que permite girar la estructura y observarla desde cualquier punto en el espacio.

#### 2.2.1.4 SECCIONES

La ventana de la figura 48 se visualizará al hacer click sobre el icono . Esta ventana opera de manera idéntica a la del programa Arm2d.exe. Muestra celdas donde se puede indicar, el área y el módulo de elasticidad de cada sección, definida en la ventana Elementos. Es importante mencionar que, con el fin de no escribir el enorme número que define al módulo de elasticidad, éste deberá teclearse habiéndolo dividido entre  $1 \times 10^{10}$ .



Fig. 48 : Ventana de secciones.

Para cada tipo de sección o de material diferente deberá definirse una sección introduciendo el área y el módulo de elasticidad respectivos. Debe pulsarse la tecla <Enter> cada vez que se tecleen los valores, con el fin de tomar en cuenta la información

introducida. Debe verificarse que la etiqueta "No. de Secciones" muestre el número correcto de secciones. En caso de olvidar esta recomendación, podrían generarse errores.

La ventana Secciones permite también ocultar/visualizar, en la ventana Gráfica, el número que define el tipo de sección de cada elemento de la estructura. Esto se logra presionando el botón . La etiqueta  muestra el número total de secciones diferentes que se estén utilizando en la estructura. Pueden introducirse hasta 200 tipos de secciones diferentes.

### 2.2.1.5 APOYOS:

La ventana de la figura 49 podrá visualizarse al hacer click sobre el icono  de la barra de herramientas. La ventana Apoyos permite indicar las condiciones de apoyo que presenta la armadura que se desea analizar.

La forma de representar las condiciones de apoyo es muy sencilla ya que sólo se tiene que indicar la dirección en la que desea restringir el nodo, es decir, la dirección en la que el nodo de la estructura no podrá desplazarse. Esto se logra haciendo un click sobre la celda ubicada en las columnas que definen las direcciones x, y, y z del nodo por restringir. Esta acción permite dibujar una cruz en la celda de la ventana Apoyos donde se hizo click, lo cual indicará que el nodo está restringido en esa dirección. Simultáneamente, en la ventana Gráfica, los apoyos de la estructura serán dibujados de forma automática.



Fig. 49 : Ventana Apoyos.

En la figura 49 se muestra la ventana Apoyos indicando que los nodos 1 y 2 de una estructura determinada se encuentran restringidos en las direcciones x, y y z.

Esta ventana presenta las opciones para disminuir/incrementar el tamaño de los apoyos a través de los botones  . Además, el botón  permite ocultar/mostrar los apoyos.

### 2.2.1.6 CARGAS:

Esta ventana permite definir las condiciones de carga que presenta la estructura en cualquiera de las direcciones X, e Y y se incorpora una nueva columna que permitirá indicar la aplicación de fuerzas en la dirección Z (Fig. 50).

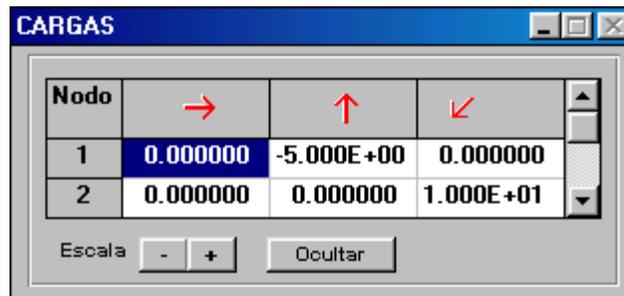


Fig. 50 : Ventana Cargas.

La ventana Cargas cuenta con el botón  si es que se desea ocultar/visualizar las flechas que representan las cargas aplicadas, o bien, se pueden utilizar los botones   si se desea modificar el tamaño de estas flechas.

Una vez definidas las cargas, el programa activará las opciones "Grabar" e "Imprimir" de la barra de herramientas y también del menú principal (en la opción Archivos).

### 2.2.2 CONSIDERACIONES IMPORTANTES.

La etapa de preprocesamiento termina aquí. Es importante recalcar que el orden correcto de ejecución de esta etapa es el siguiente:

1. Introducción de coordenadas ()
2. Definición de la conectividad de los elementos y del tipo de sección de cada uno de los mismos ()
3. Definición del o de los tipos de sección: área, módulo de elasticidad ()

4. Introducción de los apoyos ()
5. Introducción de las cargas ()

IMPORTANTE : No debe seguirse un orden diferente, ya que se pueden presentar conflictos de ejecución en el programa.

### 2.2.3 CONSULTA/MODIFICACIÓN DE DATOS

No presione los botones , , , ,  para modificar o consultar información previamente capturada ya que éstos sirven para generar nuevos datos y podrían borrar los datos que ya se hayan introducido. Recuerde que durante el preprocesamiento, al ir introduciendo datos, las ventanas precedentes se van minimizando de manera automática y se colocan en la parte inferior de la pantalla. Para consultar/modificar datos en forma correcta se debe:

3. Elegir la ventana minimizada en la que desea realizar la consulta o modificación, y
4. Hacer doble click sobre la misma. Esto permitirá devolverle su tamaño original y podrán entonces modificarse o consultarse los datos respectivos.

### 2.2.4 PROCESAMIENTO:

#### 2.2.4.1 CÁLCULO:

El botón  del menú principal es el más importante del programa ya que permite ejecutar el análisis de la estructura. Al activar este botón el programa ejecuta una serie de acciones basadas en el método de rigideces. El avance del cálculo se presenta en una ventana (Fig. 51) y en la barra de información, mostrando el porcentaje de avance del cálculo. Lo anterior en realidad resulta ser relativamente rápido y puede apreciarse en estructuras que posean una gran cantidad de elementos y nodos.

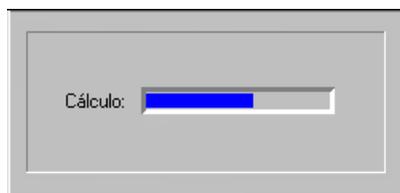


Fig. 51 : Ventana que indica el avance del cálculo.

Si aparece algún mensaje de error, posiblemente no se han definido valores en la ventana Secciones (recuerde teclear <Enter> cada vez que introduzca los valores del área y del módulo de sección) o posiblemente exista una inestabilidad en la estructura (revise los apoyos).

Al finalizar el cálculo aparece automáticamente la ventana de la figura 52. Esta ventana permite consultar la matriz de rigidez de cualquiera de los elementos que conforman la estructura. Haga clic sobre los botones más o menos para elegir el elemento deseado. Pulse el botón Salir si desea cerrar la ventana.



Fig. 52 : Matriz de rigidez de un elemento.

## 2.2.5 POSPROCESAMIENTO.

### 2.2.5.1 DESPLAZAMIENTOS:

La ventana Desplazamientos se visualiza activando el botón  de la barra de herramientas. En ella se muestran los desplazamientos nodales en las direcciones x, y y z a los que se somete la estructura por efecto de las cargas aplicadas.

Además, en la etiqueta  puede teclearse una escala adecuada, y presionar el botón  para apreciar gráficamente los desplazamientos nodales de la estructura. Debe aclararse, que este botón realiza 3 acciones diferentes independientes entre ellas cada vez que se haga un click en él:

- Muestra la estructura original y la deformada.
- Muestra únicamente la estructura deformada.
- Muestra únicamente la estructura sin deformarse.

Existe también la barra  que permite mostrar la deformada por etapas.

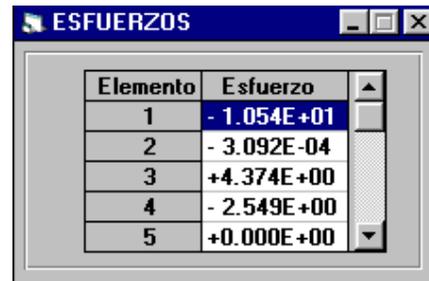


Nodo	Desp. X	Desp. Y	Desp. Z
1	+8.974E-08	-1.022E-07	+3.627E-07
2	+3.658E+00	-4.657E+00	-1.716E-01
3	-9.621E+00	-9.669E+00	-1.075E+01
4	+1.282E+00	-1.978E+01	-6.998E+00
5	+1.984E+00	-3.926E+00	-4.071E-01

Deformada

Escala=

Fig. 53 : Ventana Desplazamientos.



Elemento	Esfuerzo
1	-1.054E+01
2	-3.092E-04
3	+4.374E+00
4	-2.549E+00
5	+0.000E+00

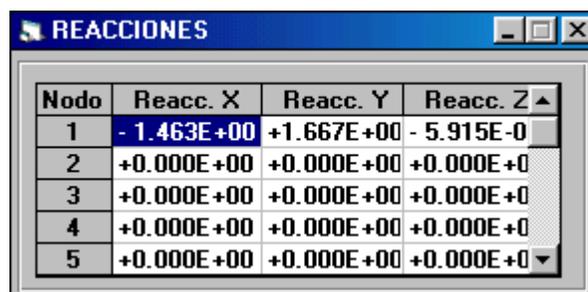
Fig. 54 : Ventana Esfuerzos.

### 2.2.5.2 ESFUERZOS:

Esta ventana (Fig. 54) se activa al oprimir el botón  de la barra de herramientas. En ella se muestran los esfuerzos a los que se someten cada uno de los elementos de la estructura. Si el esfuerzo resulta positivo, el elemento está sujeto a **tensión**, o a compresión si resulta **negativo**.

### 2.2.5.3 REACCIONES:

La ventana se activa cuando se oprime el botón  de la barra de herramientas. En esta ventana el programa muestra los valores de las reacciones obtenidas en las tres direcciones x, y, y z. Estos valores permiten verificar el equilibrio estático de la estructura.



Nodo	Reacc. X	Reacc. Y	Reacc. Z
1	-1.463E+00	+1.667E+00	-5.915E-01
2	+0.000E+00	+0.000E+00	+0.000E+00
3	+0.000E+00	+0.000E+00	+0.000E+00
4	+0.000E+00	+0.000E+00	+0.000E+00
5	+0.000E+00	+0.000E+00	+0.000E+00

Fig. 55 : Ventana Reacciones.



# **ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE MARCOS**

**Programa Marcos.exe**

## Programa Marcos.exe

### 3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE VIGAS Y MARCOS PLANOS: Programa Marcos.exe

Para acceder al programa Marcos.exe puede emplearse el Explorador de Windows o el botón de "Inicio" de la pantalla general de Windows, eligiendo la opción "Programas" y "Colibrí". El icono que permitirá el acceso al programa es el siguiente:



Para iniciar la ejecución del programa , debe hacerse doble click sobre este icono.

Debido a que existe una gran similitud de operación entre los programas Arm2d.exe y Marcos.exe, en el desarrollo de esta sección se hará mayor énfasis en aquellas características o partes que conforman al programa Marcos.exe que lo hacen diferente del programa Arm2d.exe.

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PANTALLA PRINCIPAL

Al igual que el programa Arm2d.exe, para poder empezar a trabajar con el programa Marcos.exe debemos primeramente familiarizarnos con las partes de la pantalla que el programa muestra al inicio.

Cuando el usuario inicia una sesión con el programa, lo primero que aparece es la pantalla principal y de apertura, que a diferencia del programa anterior ahora muestra una imagen de un edificio a base de marcos.

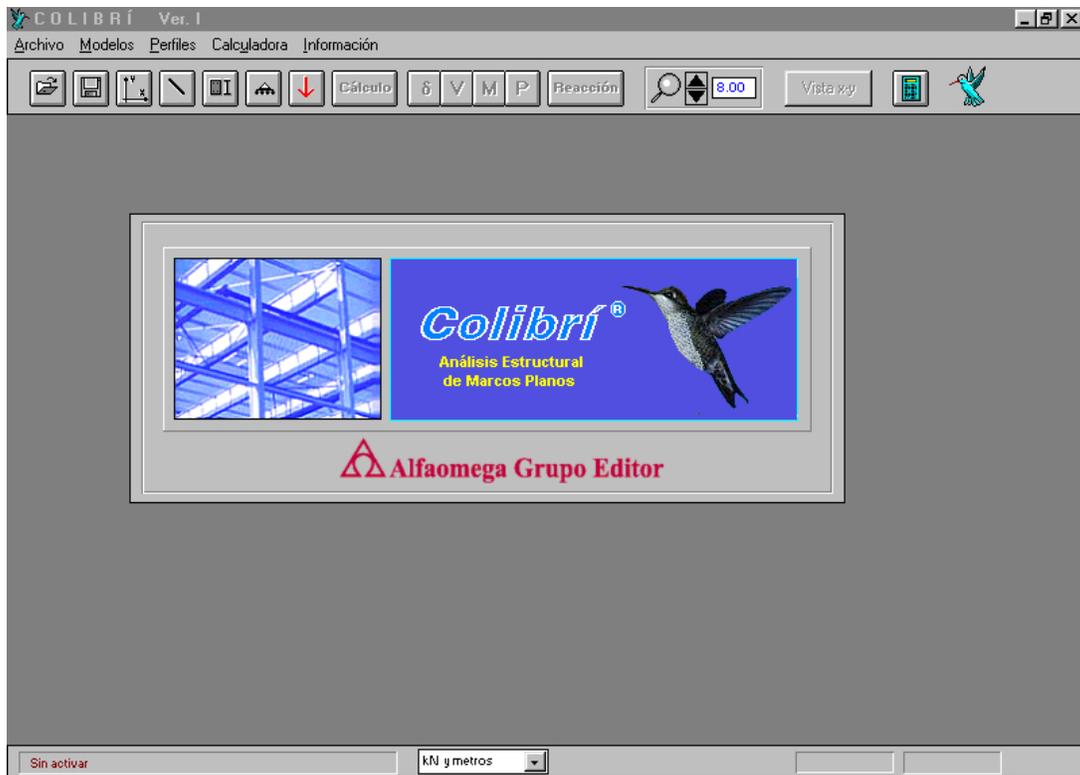


Fig. 56 : Pantalla principal y de apertura del programa Marcos.exe.

Al desaparecer dicha presentación queda la pantalla principal del programa, que permite al usuario iniciar una sesión de trabajo. El programa es muy similar al de armaduras planas y esta pantalla difiere únicamente en la barra de herramientas:



Fig. 57 : Barra de herramientas del programa Arm3d.exe

- **Barra de Herramientas:** Muestra dos nuevos botones que realizan las siguientes funciones:



Permite visualizar los cortantes resultantes.



Permite visualizar los momentos resultantes.

### 3.1.1 DESCRIPCIÓN DEL MENÚ PRINCIPAL

El menú principal, opera exactamente de la misma forma que en el programa Arm2d.exe y ofrece las mismas opciones. La opción "Modelos" presenta cambios debido a que ahora se ofrece la creación automática de armaduras tridimensionales.

### 3.1.1.1 MODELOS

*Función:* Genera automáticamente la geometría de algunos de los tipos más comunes de marcos planos. El usuario puede definir fácilmente las dimensiones de los mismos. Esta función permite una gran economía de tiempo.



Fig. 58 : Opción Modelos de la barra del menú principal.

IMPORTANTE: Al hacer click sobre esta opción, y si se ha creado una estructura con anticipación, ésta desaparece junto con todos sus datos. A continuación aparece la ventana "Modelos", la cual contiene ocho tipos diferentes de marcos planos predefinidos. Cada uno de estos tipos representan a una familia de marcos. Para tener acceso, el proceso es el siguiente:

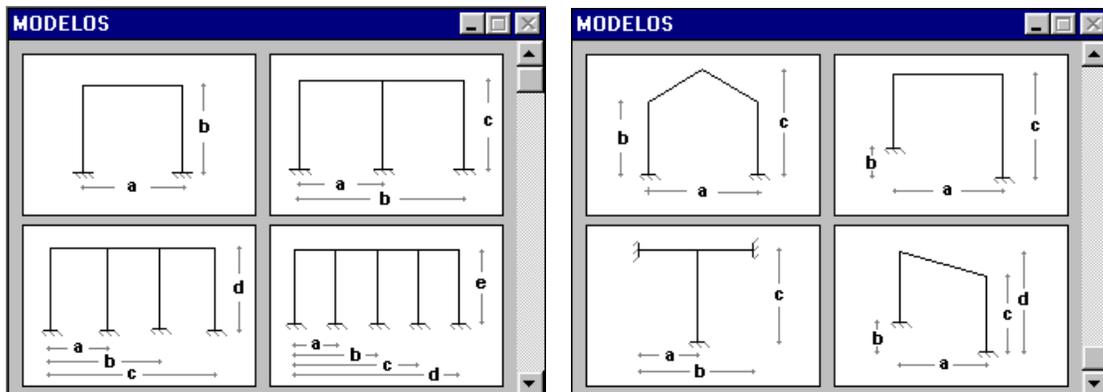


Fig. 59 : Ventana Modelos.

5. En la ventana Modelos se elige el marco que representa a la familia de marcos que se desea crear, haciendo un doble click.
6. Aparecerá una ventana que da al usuario la opción de elegir armaduras diferentes entre sí pero pertenecientes a la misma familia. En la tabla 4 se muestra el conjunto de marcos que el programa posee.

Para utilizar alguno de los tipos de marcos mostrados debe hacerse un doble click sobre la imagen del marco deseado; esta acción activa una nueva ventana (Fig. 60) donde se podrá dimensionar la estructura de acuerdo a las necesidades particulares. A continuación, bastará con activar el botón **Continuar** de dicha ventana para generar automáticamente la geometría de la estructura en la ventana "Gráfica" o el botón **Salir** para anular el procedimiento.

Tabla 4 : Marcos predefinidos disponibles.

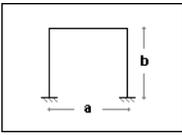
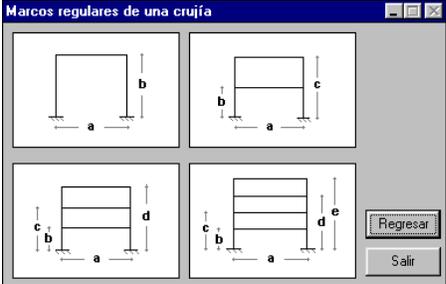
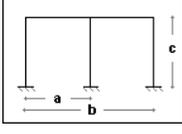
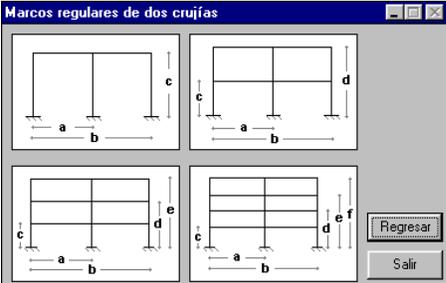
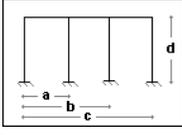
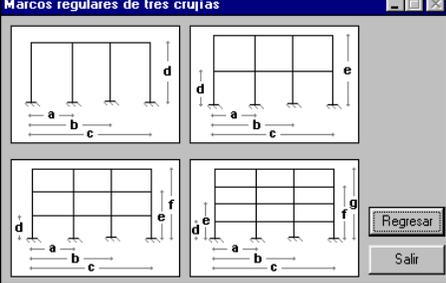
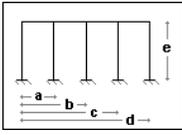
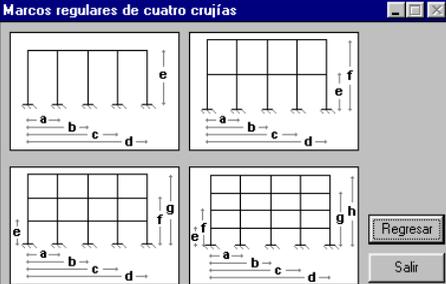
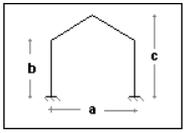
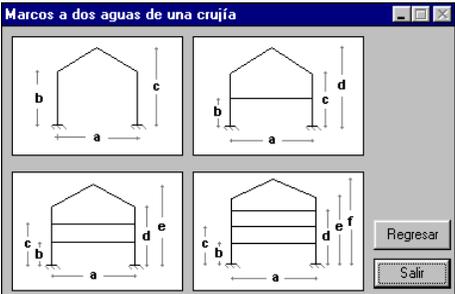
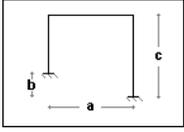
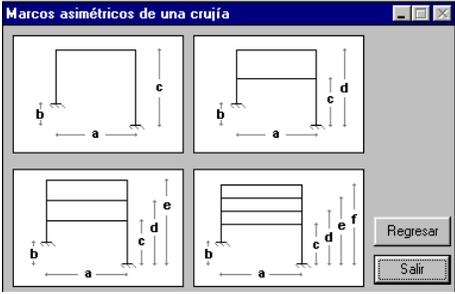
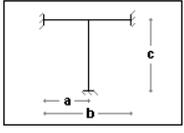
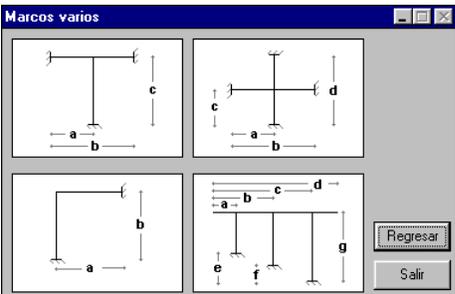
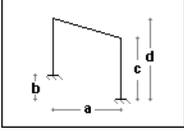
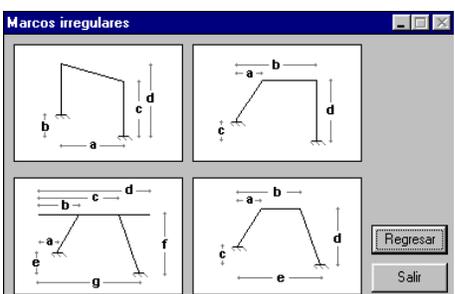
Tipo	Imagen	Familia
Una crujía		
Dos crujías		
Tres crujías		
Cuatro crujías		

Tabla 4 : Marcos predefinidos disponibles (continuación).

<p>Dos aguas</p> 		
<p>Asimétrico una crujía</p> 		
<p>Varios</p> 		
<p>Irregulares</p> 		

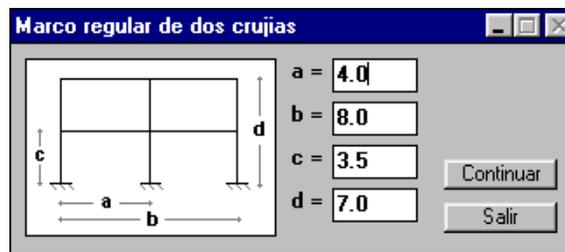


Fig. 60 : Ventana que permite dimensionar el marco elegido.

## 3.2 ETAPAS DE OPERACIÓN DEL PROGRAMA

De la misma manera que el programa Arm2d.exe, el programa Marcos.exe consta de **3** etapas en su operación.

- 1) **Preprocesamiento** (Introducción de datos).
- 2) **Procesamiento** (Ejecución del cálculo).
- 3) **Posprocesamiento** (Obtención de resultados).

### 3.2.1 PREPROCESAMIENTO

#### 3.2.1.1 COORDENADAS:

Si no se desea emplear los marcos predefinidos de la sección \*\*\*\*, se podrá generar cualquier estructura haciendo un click sobre el botón  de la barra de herramientas o haciendo un click en "Archivo" y "Nuevo" en la barra del menú principal. Esto mostrará simultáneamente las ventanas Coordenadas, Elementos y Gráfica.

La ventana Coordenadas (Fig. 61) muestra unas celdas en las cuales pueden introducirse las coordenadas de los nodos del marco que se desee analizar. Esta ventana opera de la misma manera en la que opera la ventana Coordenadas del programa Arm3d.exe. Basta con hacer un click sobre las celdas del nodo que se desee introducir, se escribe el valor numérico y se oprime la tecla <Enter> para que éste sea tomado en cuenta por el programa y se dibuje automáticamente en la ventana gráfica.

El usuario puede, si lo desea, introducir todas las coordenadas de los nodos y hacer <Enter> hasta el final para observar la estructura generada. Es importante mencionar que por razones prácticas, se aceptan únicamente coordenadas positivas y únicamente se permitirán las coordenadas (0, 0) en el nodo 1.

La ventana Coordenadas posee además el botón  que permite ocultar/visualizar la numeración de los nodos. También muestra en la etiqueta , el número total de nodos con los que cuenta el marco. Pueden introducirse hasta 200 nodos.

Nodo	X	Y	Z
1	0	1	0
2	0	1	1.25
3	.625	0	.625
4	1.25	1	0
5	0	1	2.5
6	.625	0	1.875
7	1.25	1	1.25

Ocultar      No. de Nodos: 41

Fig. 61 : Ventana Coordenadas.

Elem.	Inicio	Fin	Secc.
1	1	2	1
2	2	3	1
3	1	3	1
4	1	4	1
5	3	4	1
6	4	7	1
7	3	7	1

Elementos      No. de Elementos: 128

Fig. 62 : Ventana Elementos.

### 3.2.1.2 ELEMENTOS:

Se puede tener acceso a la ventana de la figura (Fig. 62) haciendo un click sobre el icono  de la barra de herramientas. Esta ventana no presenta ningún cambio; opera de la misma forma que en el programa Arm2d.exe; funciona de forma muy similar a la de coordenadas ya que pueden introducirse los datos en las celdas para indicar los elementos del marco, estableciendo las conexiones existentes entre los nodos.

Para definir un elemento, debe introducirse en esta ventana el número de nodo donde inicia y el número de nodo donde termina dicho elemento o miembro del marco. Es importante mencionar que el inicio del elemento corresponderá al nodo menor, y el fin del elemento deberá ser el nodo mayor.

Existe una tercera columna donde se indicará, con un número progresivo (1, 2 ...), el tipo de sección que tiene cada uno de los elementos que conformarán el marco.

La ventana Elementos también permite ocultar/visualizar la numeración de los elementos y el tipo de sección, ambas acciones se ejecutan activando con un click el botón . La etiqueta  muestra el número total de elementos que conforma el marco. Pueden introducirse hasta 200 elementos.

Es importante recordar que las etapas anteriores pueden omitirse si se elige trabajar con la opción de generación automática de modelos (opción "Modelos" en la barra del menú principal).

### 3.2.1.3 GRÁFICA:

La ventana Gráfica del programa Marcos.exe (Fig. 63) es idéntica a la del programa Arm2d.exe. Esta ventana permite mostrar en forma gráfica los valores que se introducen en las ventanas Coordenadas y Elementos.

Consulte la sección \*\*\* si desea recordar la descripción y propiedades de las partes que la conforman. Para reafirmar el conocimiento que el usuario debe tener al operar la ventana Gráfica, a continuación se describe nuevamente cada una de las propiedades que ésta posee.

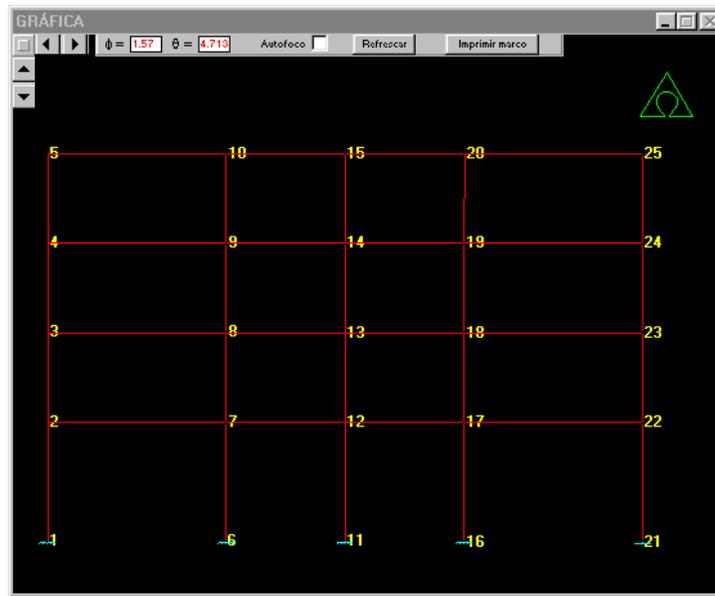


Fig. 63 : Ventana Gráfica.

Sus propiedades son:

- Permite acercarse o alejarse de la estructura; esto se logra presionando el botón derecho del ratón moviéndolo a la vez, sin dejar de presionarlo, hacia abajo o hacia arriba. Esta operación debe realizarse únicamente dentro de la ventana gráfica.

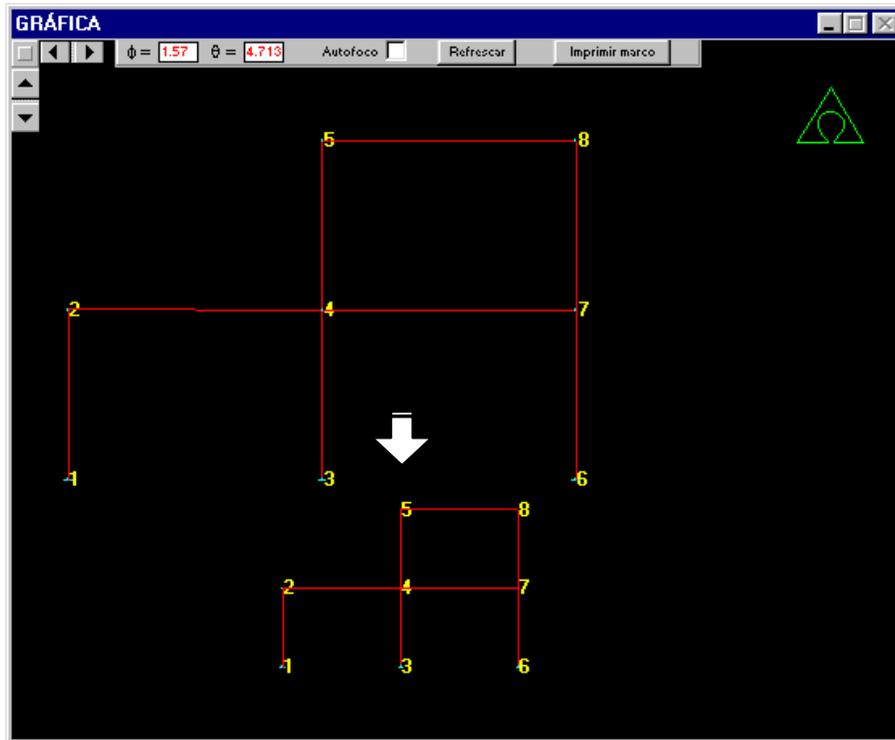


Fig. 64 : Propiedad que permite disminuir o aumentar el tamaño de la estructura.

- b) Permite trasladar la estructura a cualquier punto de la ventana Gráfica. Esto se logra manteniendo presionada la tecla <Control> o <Ctrl> al mismo tiempo que se oprime también el botón derecho del ratón desplazándolo a donde se desee, dentro de la misma ventana.

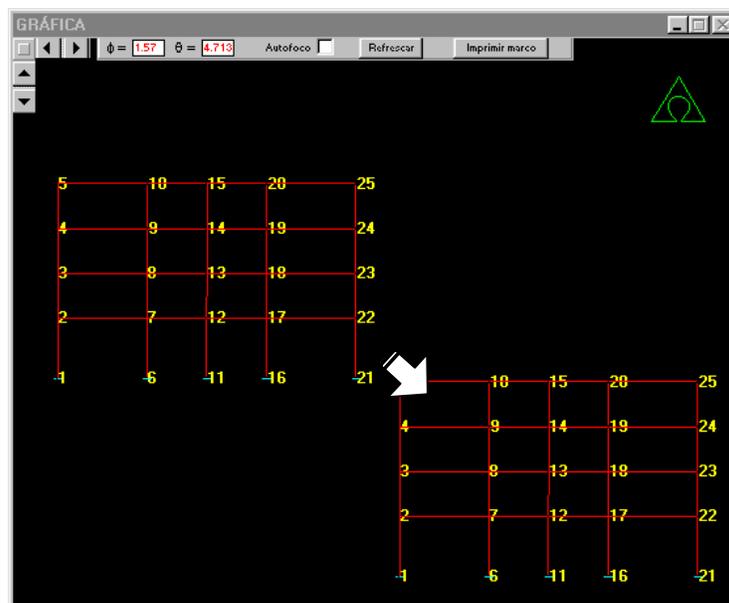


Fig. 65 : Propiedad que permite trasladar la estructura a cualquier punto de la ventana, conservando su tamaño original.

- c) Permite girar la estructura, para visualizarla desde cualquier punto en el espacio. Esto se logra manteniendo presionado el botón izquierdo del ratón, desplazándolo hacia arriba, abajo o a los lados para girar la estructura. Esta acción debe también realizarse dentro de la ventana gráfica.

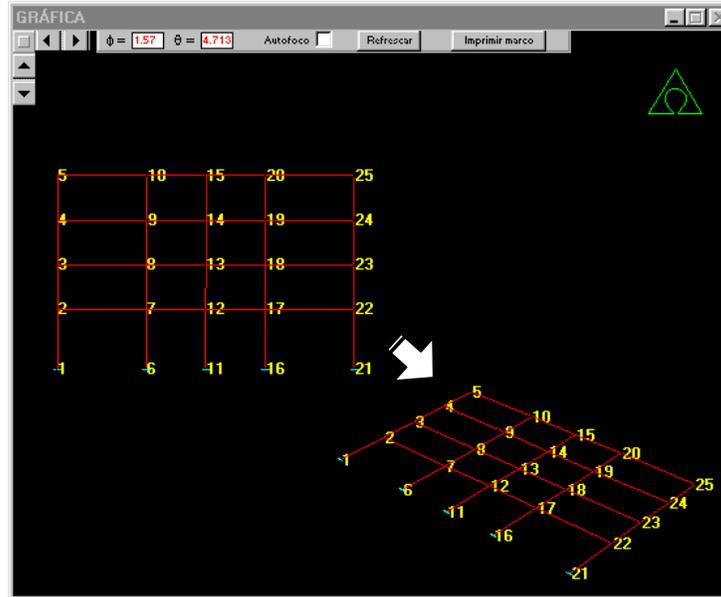


Fig. 66 : Propiedad que permite girar la estructura y observarla desde cualquier punto en el espacio.

### 3.2.1.4 SECCIONES

Se puede tener acceso a la ventana de la figura (Fig. 67) haciendo un click sobre el icono  de la barra de herramientas. Esta ventana opera de manera idéntica a la del programa Arm2d.exe. Muestra celdas donde se puede indicar, el área, el momento de inercia y el módulo de elasticidad de cada sección diferente definida en la ventana Elementos. Es importante mencionar que, con el fin de no escribir el enorme número que define al módulo de elasticidad, éste deberá teclearse habiéndolo dividido entre  $1 \times 10^{10}$ .



Fig. 67 : Ventana Secciones.

Por cada tipo de sección o de material diferente deberá definirse una sección introduciendo el área, el momento de inercia y el módulo de elasticidad respectivos. Debe pulsarse la tecla <Enter> cada vez que se tecleen los valores, con el fin de tomar en cuenta la información introducida. Debe verificarse que la etiqueta "No. de Secciones" muestre el número correcto de secciones. En caso de olvidar esta recomendación, podrían generarse errores.

La ventana Secciones permite también ocultar/visualizar, en la ventana Gráfica, el número que define el tipo de sección de cada elemento de la estructura. Esto se logra presionando el botón . La etiqueta  muestra el número total de secciones diferentes que se estén utilizando en la estructura. Pueden introducirse hasta 200 tipos de secciones diferentes.

### 3.2.1.5 APOYOS:

Se puede tener acceso a la ventana de la figura (Fig. 68) haciendo un click sobre el icono  de la barra de herramientas. La ventana Apoyos permite indicar las condiciones de apoyo que presenta el marco que se desea analizar. Para ello, esta ventana también cuenta con celdas, pero a diferencia de las ventanas anteriores, en éstas no se permite introducir valores numéricos, ya que opera de manera diferente:

- a) Primeramente, en la ventana "Apoyos" se selecciona la celda del nodo donde se requiere el apoyo, haciendo un click con el botón izquierdo del ratón. Es importante realizar esta acción pues en caso de no hacerlo se corre el riesgo de poner apoyos en lugares imprevistos.
- b) Se selecciona el apoyo deseado haciendo un click con el botón izquierdo y, manteniendo presionado este botón, se desplaza el puntero del ratón hasta la celda donde se requiere el apoyo, es decir, en donde se hizo click en el paso anterior (esto permite arrastrar el icono y colocarlo sobre la celda deseada).
- c) Una vez que el icono se arrastra y se coloca sobre la celda deseada, se deja de presionar el botón izquierdo del ratón, dando la impresión de que el icono se dejara caer sobre la celda. Esto permitirá dibujar el apoyo simultáneamente en la celda donde se deja caer y también en la estructura que se presenta en la ventana Gráfica

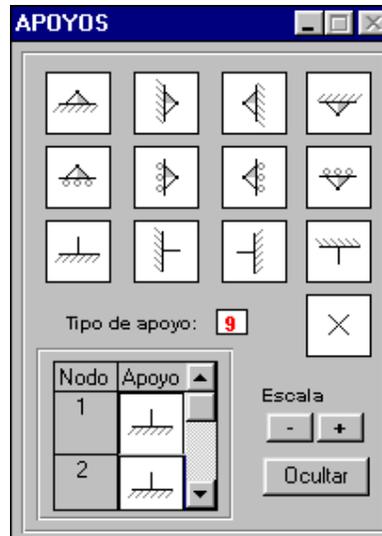


Fig. 68 : Ventana Apoyos.

En la figura 68 se muestra la ventana Apoyos indicando que los nodos 1 y 2 de una estructura determinada están empotrados. Esta ventana presenta las opciones para disminuir/incrementar el tamaño de los apoyos a través de los botones **- +**. Además, el botón **Ocultar** permite ocultar/mostrar los apoyos.

### 3.2.1.6 CARGAS:

En este programa, para introducir cargas debe hacerse un click sobre el botón  de la barra de herramientas. Esta acción permitirá visualizar la ventana Tipos de carga que se muestra en la Fig. 69.

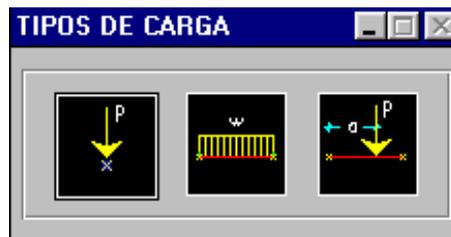


Fig. 69 : Ventana Tipos de Carga.

Esta ventana indica los tipos de carga que pueden ser aplicados a los marcos:

#### 3.2.1.6.1 CARGAS PUNTUALES SOBRE LOS NODOS

Si se requiere aplicar cargas concentradas sobre los nodos, haga doble click sobre el icono de la figura 70.a. Esta acción permitirá visualizar la ventana de la figura 70.b:



Fig. 70 : Cargas puntuales aplicadas en los nodos.

Se podrá entonces introducir en la ventana PUNTUAL/NODO la carga aplicada sobre el nodo, haciendo click sobre la celda del nodo que se desee cargar y tecleando el valor de la carga concentrada. No olvide pulsar <Enter> para dibujar automáticamente la carga en la ventana "Gráfica". Pueden introducirse, en un mismo nodo, cargas en la dirección x e y o en ambas direcciones. Los valores positivos se dibujarán en el sentido mostrado por las flechas rojas de esta ventana.

### 3.2.1.6.2 CARGAS REPARTIDAS SOBRE LOS ELEMENTOS

Si se requiere aplicar cargas repartidas sobre los elementos, haga doble click sobre el icono de la figura 71.a. Esta acción permitirá visualizar la ventana de la figura 71.b:



Fig. 71 : Cargas repartidas aplicadas sobre los elementos.

Se podrá entonces introducir en la ventana REPARTIDA/ELEMENTO la carga repartida aplicada sobre el elemento, haciendo click sobre la celda del elemento que se desee cargar y tecleando el valor de la misma. No olvide dar un <Enter> para dibujar automáticamente la carga en la ventana "Gráfica". Un valor negativo dibujará una carga repartida hacia abajo en un elemento horizontal, mientras que un valor positivo la dibujará hacia arriba. Solamente se puede introducir una carga repartida por elemento. En caso de tener tramos con cargas repartidas diferentes sobre un mismo elemento, puede dividirse

en tramos el elemento para considerar elementos diferentes, cada uno con su carga repartida respectiva.

### 3.2.1.6.3 CARGAS CONCENTRADAS SOBRE LOS ELEMENTOS

Si se requiere aplicar cargas concentradas sobre los elementos, haga doble click sobre el icono de la figura 72.a. Esta acción permitirá visualizar la ventana de la figura 72.b:

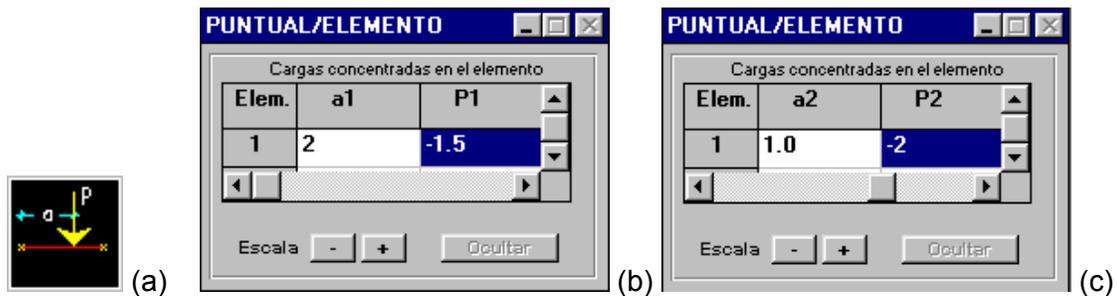


Fig. 72 : Cargas puntuales aplicadas sobre los elementos.

Se podrá entonces introducir en la ventana PUNTUAL/ELEMENTO la carga concentrada aplicada sobre el elemento, haciendo click sobre la celda del elemento que se desee cargar y tecleando la distancia ( $a_1$ ) a la que la carga se encuentra del inicio del elemento y el valor de la carga concentrada ( $P_1$ ). No olvide hacer un <Enter> para dibujar automáticamente la carga en la ventana "Gráfica". Se pueden tener hasta dos cargas por elemento. Para introducir una segunda carga utilice la barra horizontal que se encuentra bajo las celdas de la ventana PUNTUAL/ELEMENTO (Fig. 72.c) y teclee la distancia ( $a_2$ ) a la que se encuentra la segunda carga y teclee también su valor ( $P_2$ ). No olvide hacer <Enter>. En caso de tener más de dos cargas sobre un mismo elemento, divida el elemento en los tramos necesarios para tomar en cuenta todas las cargas concentradas que se encuentren sobre el mismo.

Todas las ventanas para la introducción de cargas cuentan con el botón  que permiten ocultar/visualizar las cargas aplicadas en la ventana Gráfica, o bien, se pueden utilizar los botones  si se desea modificar el tamaño de estas cargas.

Una vez definidas las cargas, el programa activará las opciones "Grabar" e "Imprimir" de la barra de herramientas y también del menú principal (en la opción Archivos).

### 3.2.2 CONSIDERACIONES IMPORTANTES.

La etapa de preprocesamiento termina aquí. Es importante recalcar que el orden correcto de ejecución de esta etapa es el siguiente:

1. Introducción de coordenadas ().
2. Definición de la conectividad de los elementos y del tipo de sección de cada uno de los mismos ().
3. Definición del o de los tipos de sección: área, momento de inercia y módulo de elasticidad ().
6. Introducción de los apoyos ().
7. Introducción de las cargas ().

### 3.2.3 CONSULTA/MODIFICACIÓN DE DATOS

No presione los botones , , , ,  para modificar o consultar información previamente capturada ya que éstos sirven para generar nuevos datos y podrían borrar los datos que ya se hayan introducido. Recuerde que durante el preprocesamiento, al ir introduciendo datos, las ventanas precedentes se van minimizando de manera automática y se colocan en la parte inferior de la pantalla. Para consultar/modificar datos en forma correcta se debe:

1. Elegir la ventana minimizada en la que desea realizar la consulta o modificación, y
2. Hacer doble click sobre la misma. Esto permitirá devolverle su tamaño original y podrán entonces modificarse o consultarse los datos respectivos.

### 3.2.4 PROCESAMIENTO:

#### 3.2.4.1 CÁLCULO:

El botón  del menú principal es el más importante del programa ya que permite ejecutar el análisis de la estructura. Al activar este botón el programa ejecuta una serie de acciones basadas en el método de rigideces.

El avance del cálculo se presenta en una ventana (Fig. 73) y en la barra de información, mostrando el porcentaje de avance del mismo. La ventana se despliega muy rápidamente y puede apreciarse bien en estructuras grandes, con una gran cantidad de elementos y nodos.

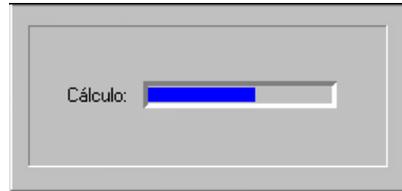


Fig. 73 : Ventana que indica el avance del cálculo.

Si aparece algún mensaje de error, posiblemente no se definieron valores en la ventana Secciones (recuerde teclear <Enter> cada vez que introduzca los valores del área, momento de inercia y del módulo de elasticidad) o posiblemente exista una inestabilidad en la estructura (revise los apoyos).

Al finalizar el cálculo aparece automáticamente la ventana de la figura 74. Esta ventana permite consultar la matriz de rigidez de cualquiera de los elementos que conforman la estructura. Haga clic sobre los botones más o menos para elegir el elemento deseado. Pulse el botón Salir si desea cerrar la ventana.

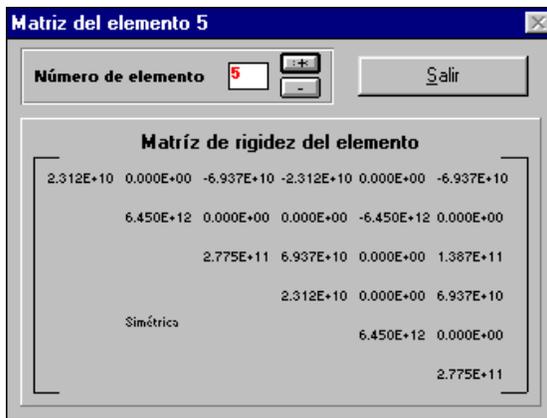


Fig. 74 : Matriz de rigidez de un elemento.



Fig. 75 : Ventana Desplazamientos.

### 3.2.5 POSPROCESAMIENTO.

#### 3.2.5.1 DESPLAZAMIENTOS:

La ventana Desplazamientos se visualiza activando el botón  de la barra de herramientas. En ella se muestran los desplazamientos las direcciones x, y así como la

rotación (en radianes) a los que se somete cada uno de los nodos de la estructura por efecto de las cargas aplicadas.

Además, en la etiqueta Escala=  puede teclearse una escala adecuada, y presionar el botón  para apreciar gráficamente la estructura original y la deformada. Este botón realiza 3 acciones diferentes independientes entre ellas cada vez que se hace un click:

<input type="button" value="Mostrar ambas"/>	Muestra la estructura original y la deformada.
<input type="button" value="Ocultar original"/>	Muestra únicamente la estructura deformada.
<input type="button" value="Mostrar original"/>	Muestra únicamente la estructura sin deformarse.

Existe también la barra   que permite mostrar la deformada por etapas.

La figura 76 muestra una estructura deformada. La deformada es simplificada y se dibuja únicamente el desplazamiento de los nodos y no el desplazamiento de los elementos con curvas cúbicas.

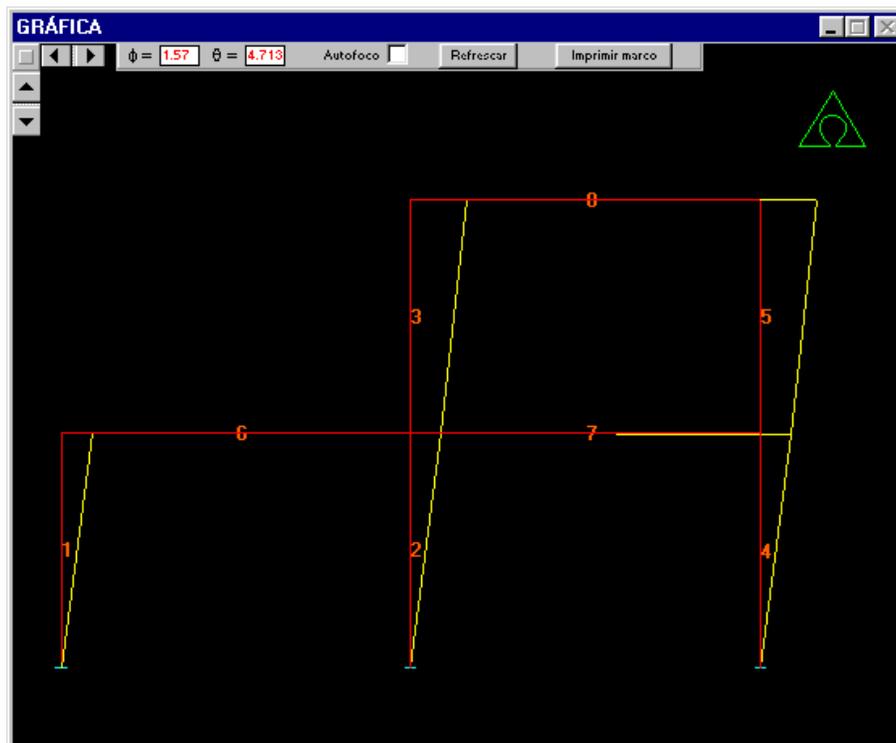


Fig. 76 : Ventana de desplazamientos.

### 3.2.5.2 CORTANTES:

La ventana de la figura 77 se activa cuando se oprime el botón  de la barra de herramientas. En esta ventana el programa muestra los valores de los cortantes obtenidos en el inicio y fin de cada elemento.

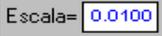


La ventana 'CORTANTES' muestra una tabla con los siguientes datos:

Elem.	Inicio	Fin
1	+2.766	- 2.766
2	+4.556	- 4.556
3	- 0.533	+0.533
4	+6.178	- 6.178
5	+5.033	- 5.033

Debajo de la tabla, se encuentra un campo 'Escala=' con el valor '0.01' y un botón 'Borrar'.

Fig. 77 : Ventana Cortantes.

Además, en la etiqueta  Escala= 0.0100 puede teclearse una escala adecuada, y presionando el botón  se pueden apreciar gráficamente el diagrama de cortantes de la estructura. La figura 78 muestra los diagramas de corte de un marco dado.

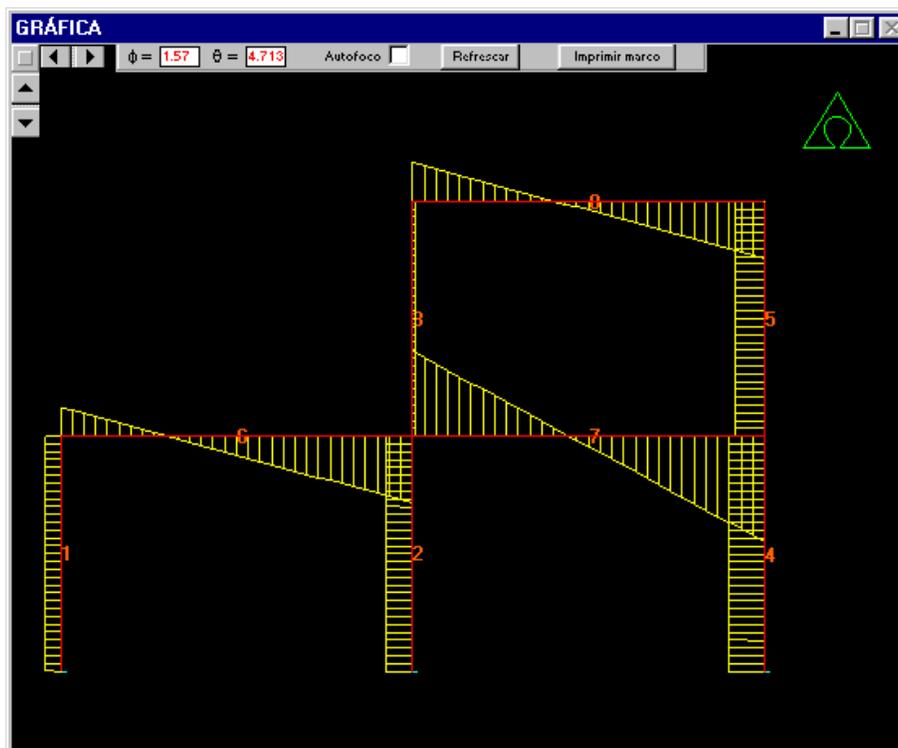


Fig. 78 : Diagrama de cortantes.

### 3.2.5.3 MOMENTOS:

Esta ventana (Fig. 79) se activa al oprimir el botón  de la barra de herramientas. En ella se muestran los momentos de flexión desarrollados en cada uno de los elementos de la estructura.



La ventana 'MOMENTOS' muestra una tabla con los siguientes datos:

Elem.	Inicio	Fin
1	- 12.900	- 3.696
2	- 16.446	- 10.888
3	+0.657	+2.539
4	- 19.685	- 17.385
5	- 13.710	- 16.485

Debajo de la tabla, se encuentra un campo 'Escala = 0.05' y un botón 'Dibujar'.

Fig. 79 : Ventana Momentos.

Además, en la etiqueta  puede teclearse una escala adecuada, y presionando el botón  se pueden apreciar gráficamente el diagrama de momentos de la estructura. La figura 80 muestra los diagramas de momento de un marco dado.

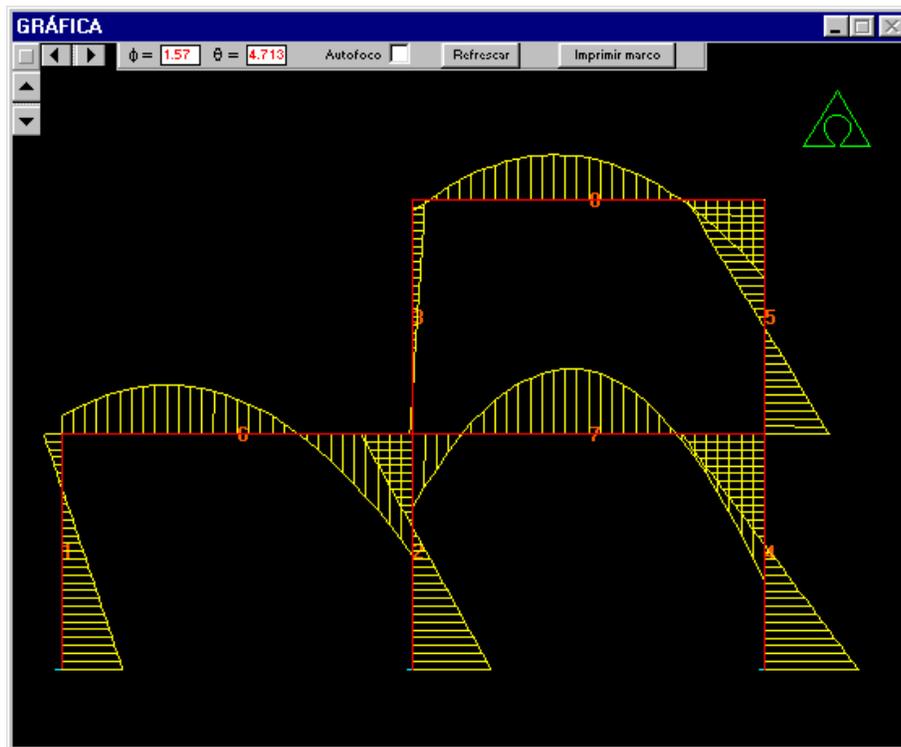


Fig. 80 : Diagrama de momentos.

## REFERENCIAS

1. **Arroyo Matus, R.**, "3D FEM for Spatial Trusses", Final technical training report, Building Research Institute, Tsukuba Science City, Japan, 1991.
2. **Arroyo Matus, R.**, "Developpement d'un nouveau connecteur por les poutres mixtes acier-béton: Étude expérimentale et simulation numérique du comportement", Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Francia, 1997.
3. **Arroyo Matus, R., Jullien, J. F.**, "A new shear connector for composite steel-concrete beams", Composite Construction IV, American Society of Civil Engineers (ASCE), Germany, 1996.
4. **Chandrupatla, T. R., Belegundu, A. D.**, "Introduction to Finite Elements in Engineering", Prentice-Hall, USA, 1992.
5. **McCormac, J., Elling, R.**, "Análisis de Estructuras, Método Clásico y Matricial", Alfaomega, México, 1994.
6. **Miramontes de León, D.**, "Modèle Global pour l'Analyse des Poutres en Béton Armé", Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Francia, 1996.
7. **Rockey, K., Evans, H., Griffiths, D., Nethercot, D.**, "Finite Element Method", Eyrolles, Paris, 1989.
8. **Zienkiewicz, O. C., Y. K. Cheung.**, "The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics". McGraw-Hill, London, 1967.

Video de Colibrí: Cortesía de The New Grolier Multimedia Encyclopedia, Release 6.  
Copyrigh ©, Grolier Inc.