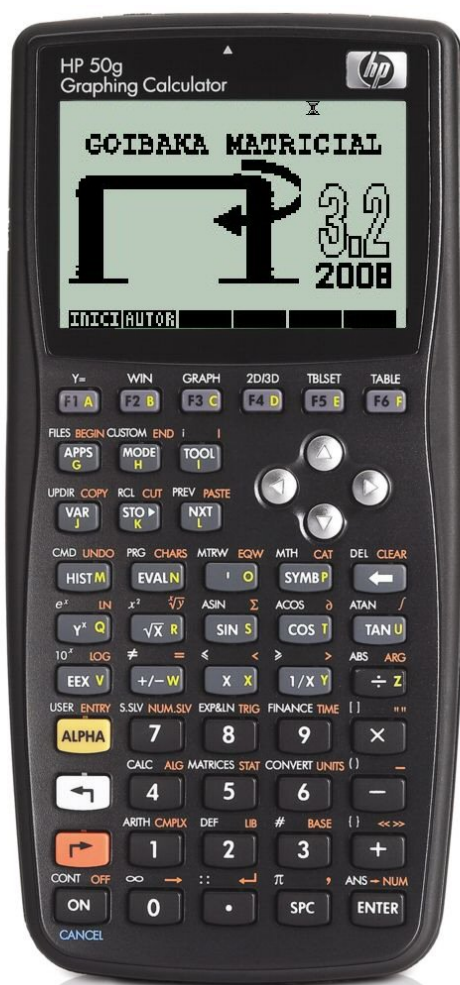


MAT32

VERSIÓN 3.2

CÁLCULO DE ESTRUCTURAS POR EL MÉTODO DE LA RIGIDEZ



He querido crear este programa como ayuda a la asignatura “Resistencia de materiales y cálculo de estructuras” cursada en la Universidad de Alicante. Tan solo se trata de cálculo de estructuras 2D por el conocido método de la rigidez matricialmente y automatizado presentando resultados de fuerzas en nudos de barras para que el alumno pueda ya fácilmente dibujar sus correspondientes leyes de esfuerzos.

Entre algunas de sus características destacar su sencillez intuitiva, facilitando la correcta introducción de datos del problema. Y por nombrar otras:

- Estructuras Articuladas y Reticuladas.
- Reticuladas con articulaciones
- Cargas térmicas
- Defectos de montaje
- Apoyos inclinados
- Apoyos elásticos
- Asientos en apoyos
- Visualización de resultados
- Esbozo (beta)

Espero que os sirva de ayuda.

Goibaka 2008

Compatible con:

**HP 49GX
HP 50G**

MANUAL DE INSTRUCCIONES



UNIVERSIDAD DE ALICANTE

INSTALACIÓN

MAT32 es una librería que deberemos de instalar en el puerto que más nos guste. En este caso elegiremos el puerto 0 (IRAM). Para ello debemos pasarnos la librería “MAT32” a la pila de nuestra calculadora bien mediante el correspondiente software para USB o bien mediante la tarjeta SD. Si se procede mediante la tarjeta SD debemos seleccionar MAT32



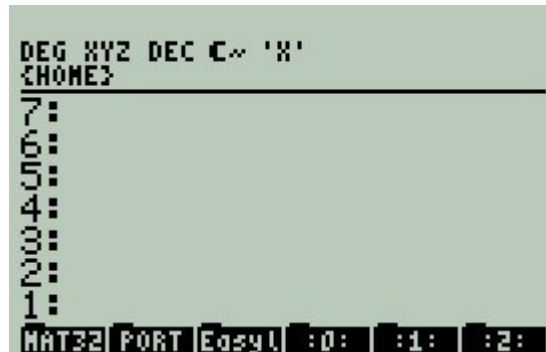
y pulsar el menú **RCL** para volcar a la pila. Ahora CANCELAMOS y nos aparecerá la pila así:



A continuación introducimos en la pila el número del puerto, en nuestro caso 0



Y pulsamos la tecla **STO** para meter en memoria la librería. La pantalla se limpiará y ahora resetearemos la calculadora para que nos aparezca la nueva librería instalada (entiéndase por resetear por releer las librerías disponibles en la HP). Para resetearla pulsamos a la vez **ON + F1 + F3**. **MAT32** ya está instalado. Pulsa **Flecha-derecha + 2** para comprobarlo.

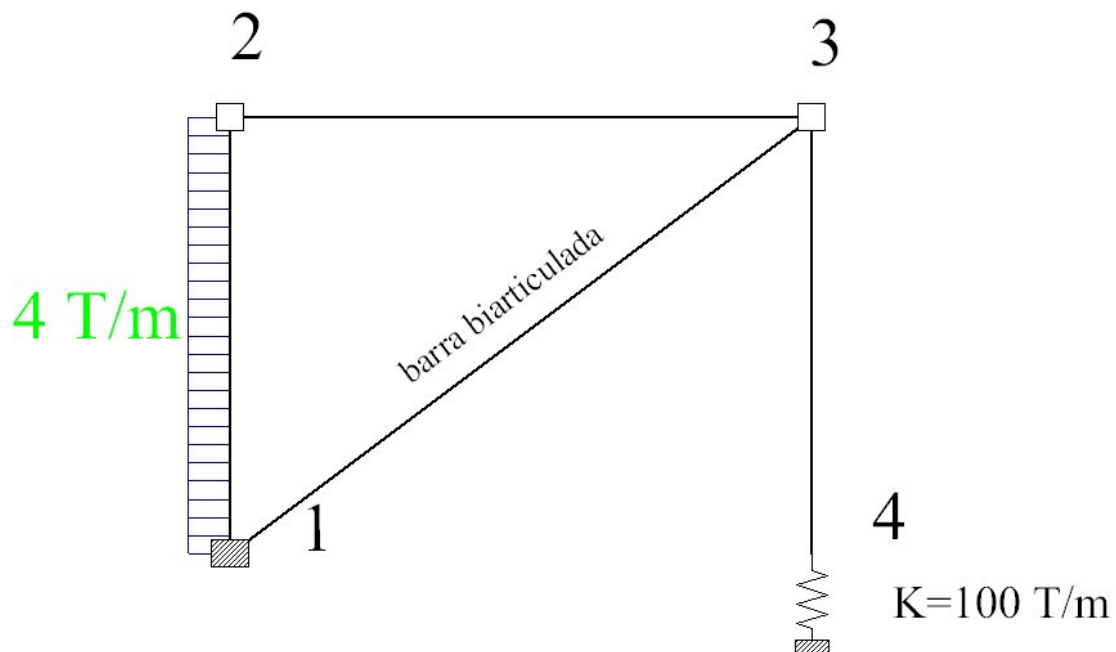


FUNCIONAMIENTO

Básicamente su funcionamiento se puede dividir en los siguientes pasos:

1. Introducción general de datos de la estructura
 - a. Nombre
 - b. Número de nudos
 - c. Número de barras
2. Introducción de datos geométricos y mecánicos
3. Introducción de cargas
4. Definición de apoyos
5. Resolución
6. Visualización de resultados

Resolvamos una estructura para comprender su funcionamiento. Será la siguiente a resolver:



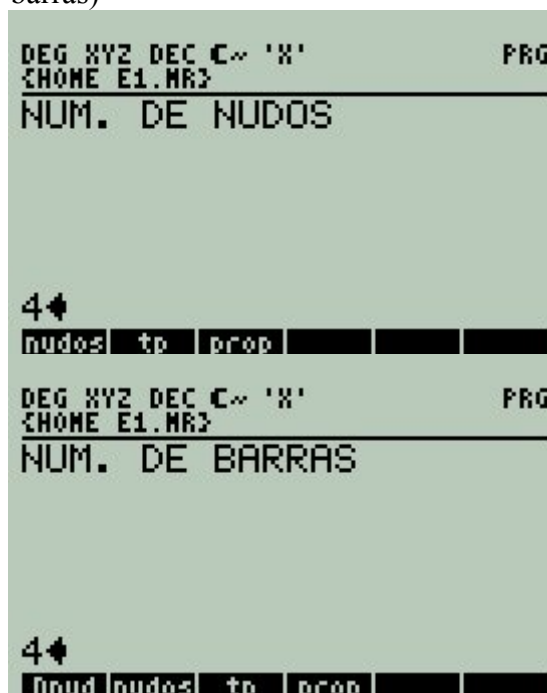
NOTA: Destacar que el apoyo 4 tiene coacción en X y Z(giro) pero es elástico en Y con una rigidez de $K=100 \text{ KN/}$. La barra 1-3 se podría considerar como un cable de inercia nula. Trabajaremos con las unidades del S.I. ($m, m^2, \text{Toneladas, T/m, } m^4$)

Paso 1. **INTRODUCCIÓN GENERAL DE DATOS**

Una vez instalada la librería MAT32 procedemos a arrancar el programa pulsando **Flecha-derecha + 2** y luego **MAT32/INICI.** en la primera pantalla que nos aparece le indicamos **NUEVO** dándole el nombre de "E1" (siempre entre comillas""")



A continuación nos pedirá el número de nudos y de barras que compondrá nuestra estructura. (4 nudos y 4 barras)



Seguidamente nos creará un menú con el que a partir de ahora será nuestra barra de herramientas siempre que se muestre visible tal y como muestra la imagen siguiente.

Los resultados de nuestra estructura quedarán reflejados en un directorio en HOME llamado "E1.MR" con una serie de variables donde quedarán grabados todos los resultados que se vayan obteniendo. El significado de cada una de estas variables viene recogido al final de este documento (Anejo).



NOTA: Siempre que perdamos este menú deberemos volver a ejecutar **MAT32/INICI** pero ahora con **Abrir** para proseguir nuestro cálculo. MAT32 graba además la fecha y hora de creación de la carpeta de la estructura.

Como información al usuario se informa que cada vez que se arranque MAT32, éste configurará la calculadora en los siguientes aspectos:

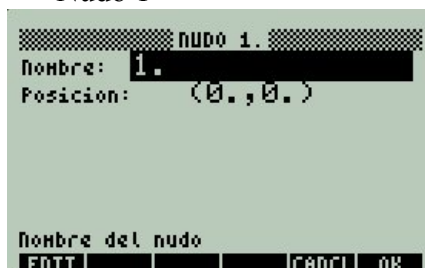
- Grados decimales
- Formato de números STANDARD
- Modo RPN
- Modo aproximado

Es importante tener en cuenta que MAT32 ha sido diseñado para que su utilización correcta sea siguiendo las pautas que indica (menús de izquierdas a derechas y dentro de cada menú de arriba abajo)

Paso 2. INTRODUCCIÓN DE DATOS GEOMÉTRICOS Y MECÁNICOS

Empezaremos introduciendo las coordenadas de todos los nudos pulsando en **NUDOS**

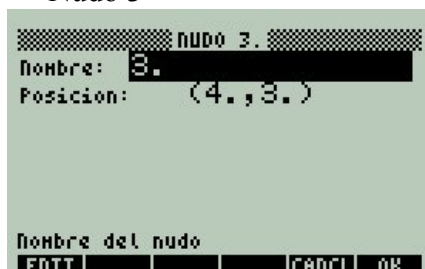
Nudo 1



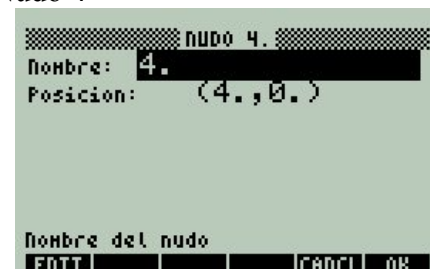
Nudo 2



Nudo 3



Nudo 4



A continuación pasamos a la definición de las barras mediante el botón **BARRA**.



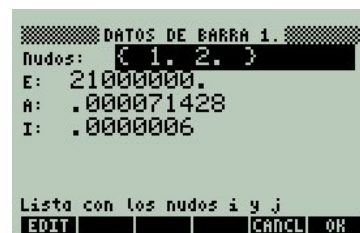
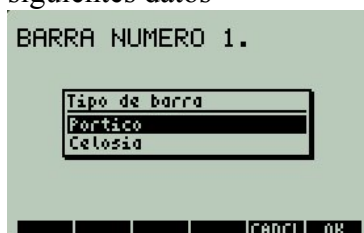
MAT32 tiene 4 modos de tratar barras:

- **Automática:** El programa nos irá pidiendo datos de barras consecutivas según nomenclaturas (Nudo inicial a Nudo final). Evita la repetición de datos similares.
- **Corregir:** (Modificar) Útil para la corrección de alguna barra en particular.
- **Añadir:** Como se intuye, añadir una barra nueva a la estructura.
- **Eliminar:** Elimina la barra que le indiquemos

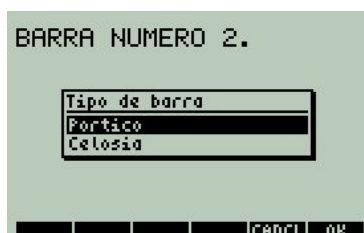
Respecto a las dos últimas opciones son para los siguientes fines:

- **Articulación:** Sirve para crear articulaciones en nudos ya que anteriormente en el caso de pórticos se habrían definido como nudos rígidos.
- **ENSAMBLADA:** Es muy importante, cada vez que se termine la modificación en este menú de BARRA, crear la matriz ensamblada general de la estructura (K)

Una vez descrito brevemente este menú BARRA procederemos a la continuación con nuestro ejercicio. Definamos las barras mediante el modo automático que al iniciar nos preguntará si estamos ante una estructura, en general, **Articulada** o **Reticulada/Pórtico**, en nuestro caso, Reticulada/Pórtico (todas las barras) y los siguientes datos



Siendo **i** (nudo inicial) y **j** (nudo final)



BARRA NUMERO 3.

Tipo de barra
Portico
Celosia

CANCEL OK

DATOS DE BARRA 3.

Nodos: (3. 4.)

E: 21000000.

A: .000071428

I: .0000006

Lista con los nudos i y j

EDIT CANCEL OK

para la barra 1-3 (cable) deberemos decirle a MAT32 que la trate como Pórtico también pues seguimos estando en estructura reticulada en general pero con una Inercia nula.

BARRA NUMERO 4.

Tipo de barra
Portico
Celosia

CANCEL OK

DATOS DE BARRA 4.

Nodos: (1. 3.)

E: 21000000.

A: .0000095238

I: 0.

Lista con los nudos i y j

EDIT CANCEL OK

Ya tenemos introducidas todas las barras. En el caso de que quisiéramos modificar una de las barras iríamos a **BARRA/Corregir** (ejemplo barra 1-2) “No modificar”

BARRA A CORREGIR

B1.2.
B1.3.
B2.3.
B3.4.

CANCEL OK

MODIFICANDO LA BARRA 'B1.2.'

Nodos: (1. 2.)

E: 21000000.

A: .000071428

I: .0000006

Lista con los nudos i y j

EDIT CANCEL OK

En el caso de que tuviéramos una articulación en el nudo 2 pasaríamos a crearla del siguiente modo (en nuestro caso no la tenemos pero veamos como se haría). En **BARRA/Articulación** definimos en la barra 1-2 en su nudo final con el valor 1 (0 indica NO articulado y 1 indica SI articulado), posteriormente hacemos lo mismo para la barra que une también con ese nudo, la barra 2-3 en su nudo inicial con el valor 1.

DEG XYZ DEC C= 'X'

CHOME E1.MR3

Barra
B1.2.
B1.3.
B2.3.
B3.4.

CANCEL OK

Extremo articulado

Ni: 0

Nj: 1.

Nudo j articulado: 0(no);1(si)

EDIT CANCEL OK

Extremo articulado

Ni: 1.

Nj: 0

Nudo i articulado: 0(no);1(si)

EDIT CANCEL OK

Si se crea una articulación no se podrá anular su efecto hasta volver a crear de nuevo toda la estructura

una vez introducidas las barras y posibles articulaciones debemos crear la matriz Ensamblada General mediante la opción **BARRA/ENSAMBLADA** guardándose como **K**

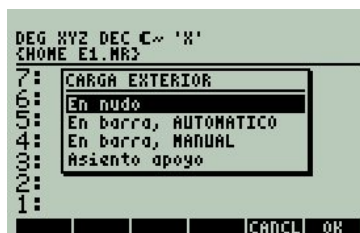


K la podremos encontrar en HOME/E1.MR/ así como todas las barras y datos introducidos.



Paso 3. **INTRODUCCIÓN DE CARGAS**

Es el momento de empezar a meter cargas externas a nuestra estructura. Para ello nos ayudaremos de **C.EX**



El menú **C.EX** nos mostrará 4 opciones de introducir las cargas, son las siguientes:

- **En nudo:** para introducir cargas puntuales en nudos concretos. El convenio de signos de cargas es hacia arriba positivo, hacia la derecha positivo y para los momentos será positivo para el sentido antihorario. .



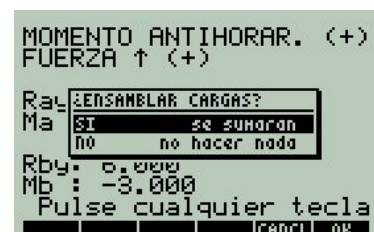
- **En barra, AUTOMÁTICO:** calcula las reacciones provocadas por las cargas que se encuentran sobre la barra, es decir, calcula las reacciones de empotramiento perfecto.



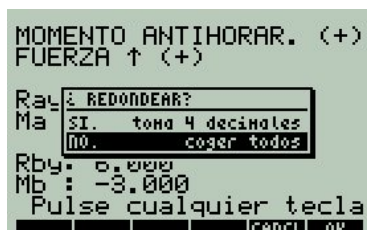
- **En barra, MANUAL:** para introducir directamente las reacciones que correspondan.
- **Asiento Apoyo:** para introducir movimientos conocidos en apoyos.



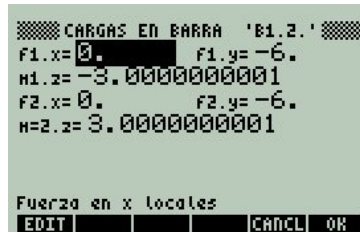
En el ejercicio que tratamos no hay cargas en nudos se dispone una carga uniformemente distribuida por la barra 1-2. Para introducirla recomendando emplear el **modo automático**



Si elegimos **SI se sumarán** se procederá a admitir esas reacciones, en caso contrario elegiremos **NO no hacer nada** y MAT32 no las considerará. En nuestro caso diremos **SI** y continuaremos



A continuación nos mostrará las cargas colocadas sobre los nudos de la barra



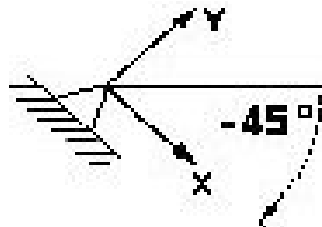
Y por fin tendremos las cargas exteriores introducidas. En caso de tener más cargas pues seguiríamos añadiendo según los menús.

Paso 4. DEFINICIÓN DE APOYOS

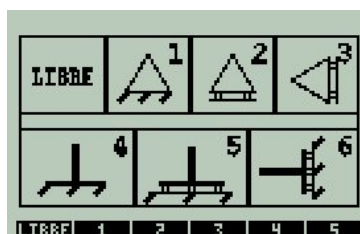
Llegamos a los apoyos. Pinchando en el menú **APOYO** podremos elegir entre:



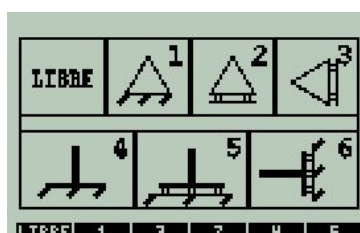
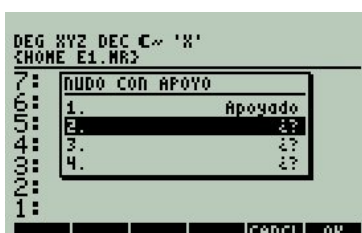
- **Definir apoyo:** indicando que tipo de coacciones tendrá.
- **Apoyo elástico:** definiendo la rigidez en la coacción deseada.
- **Apoyo inclinado:** asignándole un ángulo de giro. Este apoyo mostrará a partir de ahora los resultados en el nuevo sistema de referencia.



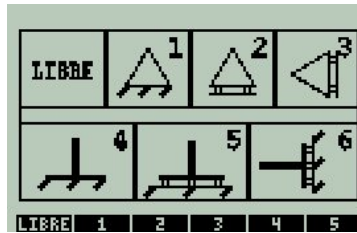
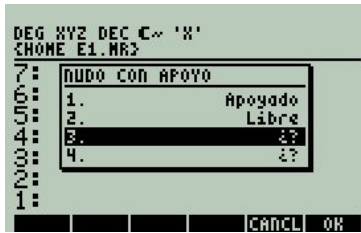
MAT32 necesita que se le asignen las coacciones de cada nudo para distinguir entre nudos libre y apoyos. Esto lo conseguiremos mediante el menú **APOYO/Definir apoyos**



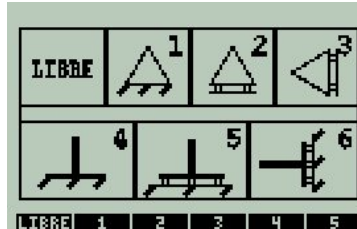
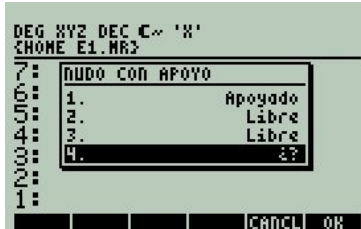
Pulsamos 4



Pulsamos LIBRE



Pulsamos LIBRE

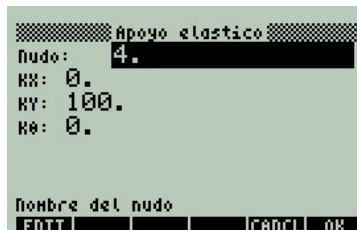
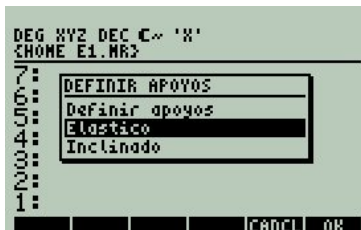


los apoyos elásticos en MAT32 se deberán de definir como libres en la dirección de la rigidez elástica. De esta manera el nudo 4 nos quedará como un apoyo con coacción en X

y Z (giro) mientras que en Y será libre. Por lo tanto el nudo 4 lo definiremos como 6 (la opción 6 no se visualiza en pantalla por lo que hemos de pulsar **NXT** en la calculadora y luego 6 en el menú)



Definamos ahora el apoyo elástico



En el nudo 4
 $K_y = 100 \text{ T/m}$

Ya tenemos el apoyo elástico introducido.

NOTA: En caso de tener en un nudo un asiento en Y deberemos colocar una coacción en Y a la hora de definir el apoyo y si ya la tiene pues se deja como estaba

Paso 5. **RESOLUCIÓN**

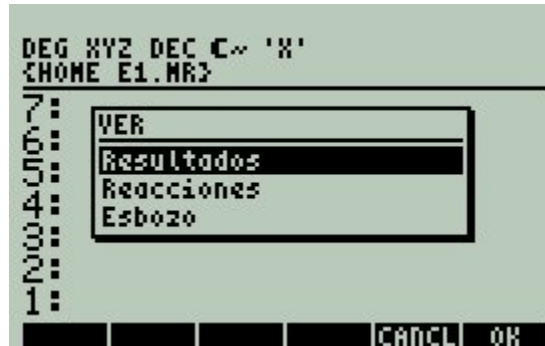
Para la resolución de nuestra estructura pulsaremos sobre **RESOL** que nos mostrará, antes de realizar ningún cálculo, las cargas e incógnitas que hay en cada nudo para aceptar los datos introducidos.

Una vez terminados los cálculos ya podremos hacer uso del menú **VER**.

NOTA: Hay que tener especial cuidado en el caso de que una vez ya resuelta la estructura modifiquemos algún dato de barras pues deberemos de nuevo generar la ENSAMBLADA y volver a RESOL para recalcular la estructura. Lo mismo ocurre si modificamos apoyos, apoyos elásticos, etc.,... (todo aquello que quede en menús anteriores) pues la estructura deberá resolverse para los nuevos datos.

Paso 6. VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS

MAT32 incorpora un módulo de visualización de los datos obtenidos en el cálculo que hacen la cosa se haga más amena.



En **resultados** elegimos la barra que queremos estudiar sus resultados y se nos mostrará otro menú preguntándonos que tipo de resultados queremos ver:



- **TOTAL, en ejes Generales:** nos mostrará las fuerzas en barra y desplazamientos de los nudos inicial y final referido a los **EJES GENERALES**. Se trata también de la suma de los estados I (Reacciones) y II (Cargas).
- **TOTAL, en ejes Locales:** nos mostrará las fuerzas en barra y desplazamientos de los nudos inicial y final referido a los **EJES LOCALES**. Se trata también de la suma de los estados I (Reacciones) y II (Cargas).
- **ESTADO II, en ejes Generales:** se trata de las reacciones de las cargas en la barra referidas a los **ejos generales**.
- **ESTADO II, en ejes Locales:** se trata de las reacciones de las cargas en la barra referidas a los **ejos locales**.
- **ESTADO I, en ejes Generales:** se trata de los resultados de cargas por el método de la rigidez en la barra referidas a los **ejos generales**.
- **ESTADO I, en ejes Locales:** se trata de los resultados de cargas por el método de la rigidez en la barra referidas a los **ejos locales**.

Por ejemplo, si quisiésemos ver la barra 1-2 nos mostraría los siguientes resultados

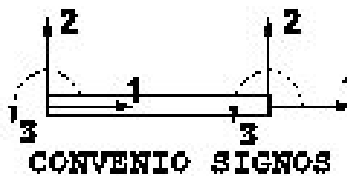
TOTAL, Generales

'B1.2.'	N.ini	'B1.2.'	N.fin	U movimiento horizontal
Fx= -7.6435		Fx= -4.3565		V movimiento vertical
Fy= .0063		Fy= -.0063		Θ giro en radianes
M= 5.2139		M= -.2834		
U= 0.		U= .2037		
V= 0.		V= 0.		
θ= 0.		θ= .05984		
NUDOS BARRA C EX APOYO RESOL VER		NUDOS BARRA C EX APOYO RESOL VER		

TOTAL, Locales

'B1.2.'	N.ini	'B1.2.'	N.fin
Fx= .0063		Fx= -.0063	
Fy= 7.6435		Fy= 4.3565	
M= 5.2139		M= -.2834	
U= 0.		U= 0.	
V= 0.		V= -.2037	
0= 0.		0= .05984	
NIDOS[BARRA C. EX APOYO[RESOL WEB		NIDOS[BARRA C. EX APOYO[RESOL WEB	

La interpretación de los signos positivos se hará según el siguiente convenio adoptado durante todo el programa:



En cambio, si lo que buscamos son las reacciones en los apoyos nos vamos a **Reacciones** donde MAT32 nos desplegará una lista de los apoyos existentes donde deberemos elegir uno de ellos. Por ejemplo el nudo 1

REACCIONES APOYO		REACCIONES EN 1.	
<div>ELIGE APOYO</div> <div>1.</div> <div>4.</div>		<div>Fx= -11.6161</div> <div>Fy= -2.9732</div> <div>Mz= 5.2139</div>	

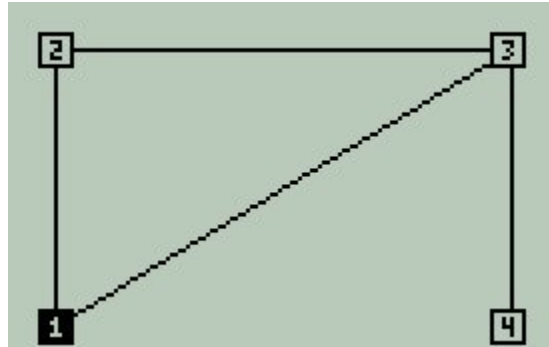
En los casos particulares donde un apoyo sea elástico, MAT32 no mostrará reacción en la dirección elástica. Veamos el nudo 4

<p>REACCIONES APOYO</p> <p>ELIGE APOYO</p> <p>1.</p> <p>4.</p>	<p>REACCIONES EN 4.</p> <p>.....</p> <p>$F_x = -.3839$</p> <p>$F_y = 0.$</p> <p>$M_z = .8933$</p>
--	--

En realidad la reacción en Y no es nula sino que tendremos que calcularla a parte utilizando la ley de Hooke.

$$F_y = k \cdot v = 100 \cdot (-0.0297) = -2.97T$$

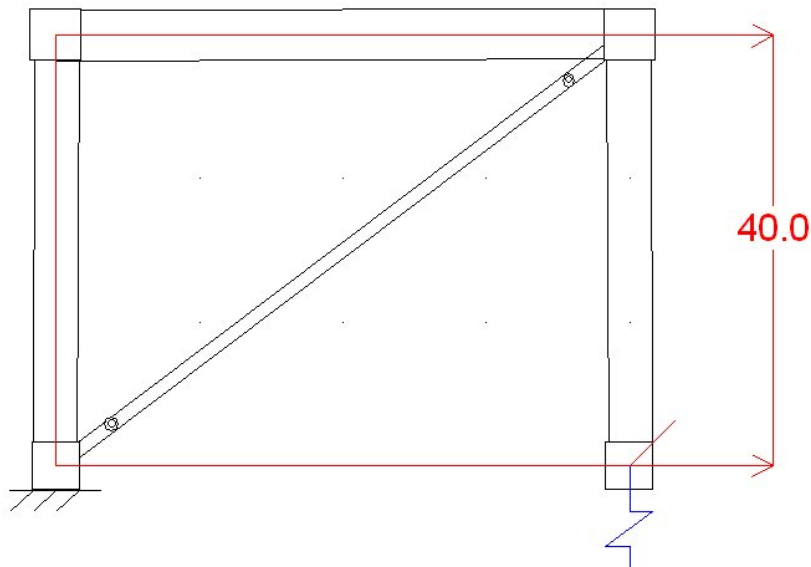
Respecto a la opción **Esbozo** es una herramienta de dibujo que permite realizar un pequeño esbozo a pantalla completa de la estructura en cuestión.



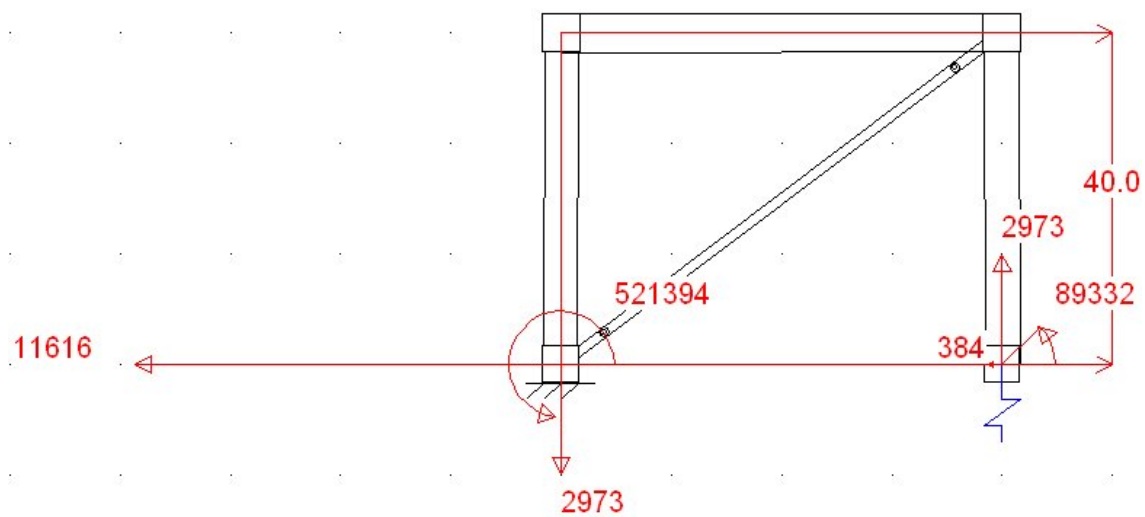
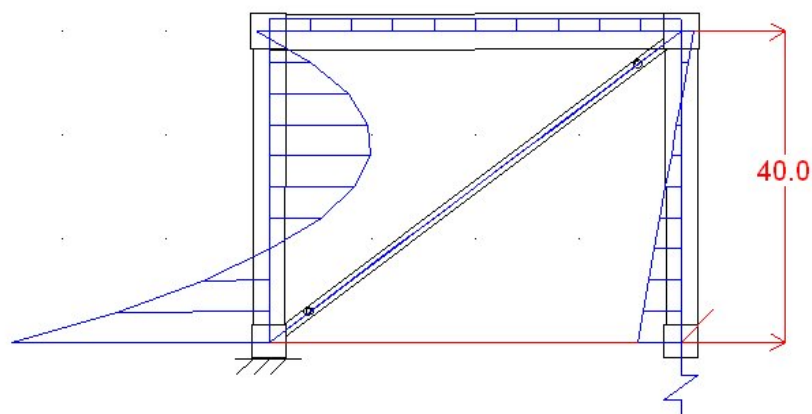
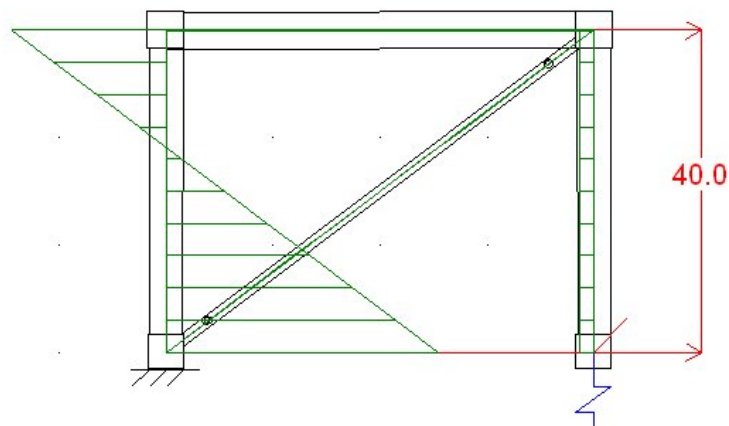
Esbozo se trata de una herramienta beta todavía sin acabar y es de vital importancia hacer saber que puede mostrar en dibujo una barra más de las que hay en realidad. Por ello, no se le debe dar una mayor relevancia a lo que muestre.

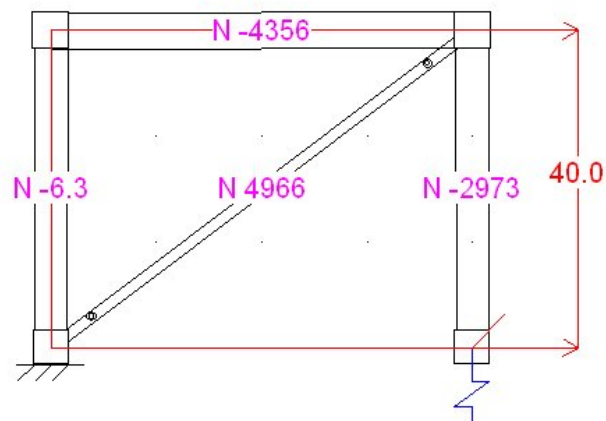
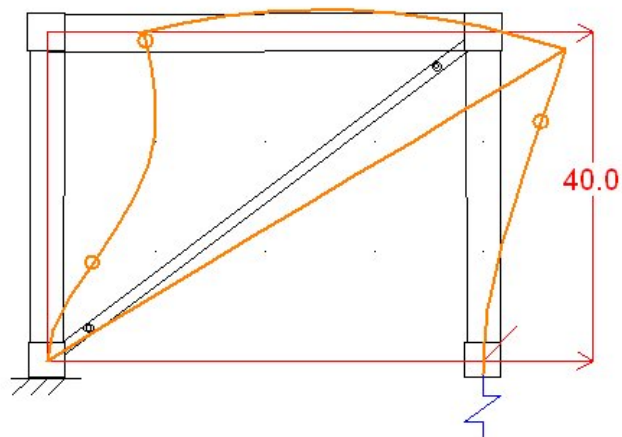
MAT32 no calcula ni dibuja las leyes de esfuerzos ya que se trata de un cálculo más digno de otros programas como VigasG. Eso sí, con los resultados obtenidos gracias a MAT32 las leyes de esfuerzos no deben presentar problemas para su representación. Por ejemplo, si quisiéramos dibujar las leyes de esfuerzos para una de las barras tan solo deberíamos adoptar como cargas puntuales en extremos los resultados obtenidos.

Si calculásemos las leyes de cada barra por separado nos quedaría lo siguiente:



NOTA: los resultados de estas imágenes se representan con las unidades en kp, kp/cm y kpcm

Reacciones**Ley de Momentos Flectores****Ley de Cortantes**

Lev de Axiles**Deformada****ANEJO (Variables)**

MAT32 genera multitud de variables en el directorio de la estructura que a continuación se pretenden describir:

VARIABLES DE BARRAS

K	Matriz de rigidez de la barra en ejes Generales.
KL	Matriz de rigidez de la barra en ejes locales según sentido de nudos.
F	Vector de fuerzas de la barra en ejes Generales.
F'	Vector de fuerzas de la barra en ejes locales.
F _{tot}	Vector de fuerzas de la barra en ejes Generales + reacciones de las cargas.
F' _{tot}	Vector de fuerzas de la barra en ejes locales + reacciones de las cargas.
U	Vector desplazamiento de la barra en ejes Generales.
U'	Vector desplazamiento de la barra en ejes locales.
K _{rot}	Matriz de rotación de ejes.
α	Ángulo de giro de los ejes. Positivo sentido antihorario.
L	Matriz de rigidez sin en ejes Generales 'E*A/L'
n _{ij}	Lista que contiene los GDL de cada nudo de la barra.
C _{bar} '	Cargas en la barra en ejes locales.

Cbar	Cargas en las barras en ejes Generales.
E	Módulo de elasticidad
A	Área de la sección
I	Momento de inercia de la sección.

VARIABLES DE LA ESTRUCTURA

elim Las columnas y filas que se eliminarán para la reducida bien por haber coacciones o movimientos de apoyos.

Asiento Columna/fila perteneciente a la coacción donde se produce un movimiento impuesto.

Fntabla Tabla donde se recogen todas las cargas de las barras concentradas en los nudos. Las filas son los nudos y las columnas son X Y Z. En ejes Generales.

Fctabla Tabla donde se recogen las sumas de todas las cargas en barras y nudos concentradas en los nudos. En Filas tenemos número de nudo y en Columna tenemos XYZ. Es la suma de $Cnudo + Fntabla$. Son las fuerzas que compondrán el Vector de Fuerzas.

Actabla Tabla donde se recogen los asientos, si los hay. Filas es el número de nudo y Columnas XYZ.

Rtabla Tabla donde se recogen las reacciones en los apoyos. Las filas son los nudos y las columnas son XYZ.

Ltabla Tabla donde se recogen las ligaduras de los apoyos.

Utabla Tabla de movimiento de los nudos incluidos los asientos.

Cnudo Tabla de las cargas en los nudos en ejes Generales

K Matriz de Rigidez Ensamblada en ejes Globales

Kred Matriz Reducida

Fred Vector de Fuerzas reducido en ejes Globales para hacer $F = K \times U$

U2 Vector Desplazamiento resuelto de $Fred = Kred \times Ured$

GDL Lista donde vienen los nudos y sus respectivas filas y columnas de sus coacciones.

Barras Lista de las barras que existen.

aux Lista variables recordatorio para automatizar la introducción de barras.

Nnudo Número total de nudos de la estructura.

- Elem** Número total de barras en la estructura.
- nudos** Lista de los nudos con sus respectivas coordenadas.
- apoyos** Lista de los nudos que tienen algún apoyo.
- libres** Lista de los nudos definidos como libres.

CREDITOS

Autor: Goibaka 2008

Para cualquier consulta Goibaka@hotmail.com

UNIVERSIDAD DE ALICANTE

Herramienta para la asignatura “Resistencia de Materiales y Cálculo de estructuras”