

300613  
4/24



**UNIVERSIDAD LA SALLE**

ESCUELA DE INGENIERIA  
INCORPORADA A LA U. N. A. M.

**ANALISIS LINEAL DE ESTRUCTURAS  
MURO-MARCO POR EL METODO  
DEL ELEMENTO FINITO**

**TESIS PROFESIONAL**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO CIVIL**  
**P R E S E N T A**  
**ALFREDO ATHIE GHANEM**

MEXICO, D. F.

**TESIS CON 1987**  
**FALLA DE ORIGEN**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INTRODUCCION

1.	ECUACIONES DE EQUILIBRIO DEL ELEMENTO BARRA.....	2
1.1	Características del elemento barra.....	2
1.2	Elementos cinemáticos y mecánicos.....	2
1.3	Ecuación matricial de equilibrio.....	5
1.4	Vector de fuerzas de fijación.....	15
1.4.1	Fuerza concentrada.....	15
1.4.2	Par concentrado.....	16
1.4.3	Carga lineal discontinua.....	16
1.5	Vector de fuerzas externas nodales.....	17
2.	ECUACIONES DE EQUILIBRIO DEL ELEMENTO MURO.....	18
2.1	Geometría del elemento rectángulo.....	18
2.2	Desplazamientos del elemento rectangular.....	18
2.3	Cálculo de la matriz de rigideces del elemento.....	21
2.4	Vector Fuerzas de cuerpo del elemento rectángulo.....	30
3.	ECUACIONES DE EQUILIBRIO DEL MURO-MARCO.....	33
3.1	Transformación de ejes del sistema local al sistema global.....	33
3.2	Transformación de la barra.....	35
3.3	Transformación de las fuerzas.....	37
3.4	Transformación de los desplazamientos.....	38
3.5	Obtención de la matriz de rigideces de la estructura.....	38
3.6	Obtención del vector de cargas.....	40
3.7	Obtención de los desplazamientos de la estructura.....	40
3.8	Fuerzas externas de las barras.....	42
3.9	Esfuerzos en el muro.....	42

4.	SOLUCION DE LAS ECUACIONES DE EQUILIBRIO.....	43
4.1	Arreglos matriciales.....	43
4.2	Método de Gauss.....	44
4.3	Obtención de las matrices triangulares.....	44
4.4	Arreglos cuadrados, en banda y unidimensionales.....	49
4.4.1	Arreglos cuadrados.....	49
4.4.2	Arreglos en banda.....	50
4.4.3	Arreglos unidimensionales.....	50
5.	CARACTERISTICAS DEL PROGRAMA.....	51
5.1	Organización del programa.....	51
5.2	Capacidades.....	54
5.3	Formas para captura de información.....	54
5.4	Instructivo del programa.....	55
6.	PROGRAMA DE COMPUTADORA.....	63
7.	EJEMPLOS DE APLICACION.....	95
	FIGURAS Y GRAFICAS.....	103
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
	REFERENCIAS	

## INTRODUCCION

Existen edificios que en la etapa de análisis, se idealizan como estructuras muro-marco cuyas características son:

- Los marcos, formados de vigas y columnas de secciones diversas.
- Los muros, formados de mampostería o de concreto.

Para resolver una estructura muro-marco, se han propuesto varias soluciones, desde la que considera al muro como una columna ancha hasta en la que el muro se considera una estructura formada por columnas y vigas de rigidez infinita.

Se presenta una idealización en donde el muro es un continuo ( Estado plano de esfuerzos ) , el marco se analiza como una estructura esquelética plana , y en la frontera donde se unen el muro y el marco, se hacen ciertas hipótesis para darle continuidad y compatibilidad en los desplazamientos y la solución se plantea siguiendo la metodología del método del elemento finito.

Las ecuaciones a resolver por el método propuesto resultan ser grandes y a veces extremadamente grandes por lo que se requiere el uso de la computadora para su solución.

El objetivo del trabajo es el desarrollar un programa de computadora para el análisis de estructuras muro-marco.

Además se pretende que este trabajo al presentar un tipo de modelo que no es objeto de estudio a nivel de licenciatura, puede servir para la comprobación o comparación de resultados obtenidos por otros métodos de análisis o bien para obtener los elementos de diseño.

1.- ECUACIONES DE EQUILIBRIO DEL ELEMENTO BARRA.

Se considera que cada marco está compuesto de un conjunto de barras planas (Estructura esquelética). Por lo que es necesario establecer el modelo matemático correspondiente al equilibrio de una barra plana.

1.1 CARACTERISTICAS DEL ELEMENTO BARRA.

Como se observa en la figura (1.a), en la barra prismática se considera un eje recto ( el cual está contenido en un plano ) ; una sección transversal constante, esto significa que conocidas las características geométricas de una sección , se puede definir de todas las secciones de la barra. El punto nodal i, en uno de los extremos indica el inicio de la barra y el final de ésta mediante el punto nodal j ; Puede tener cargas intermedias que están en un plano que contenga al eje de la barra.

1.2 ELEMENTOS CINEMATICOS Y MECANICOS.

Se considera en la barra un vector de desplazamientos el cual está formado por seis elementos:

$$U = \begin{bmatrix} u_{ix} \\ v_{iy} \\ w_{iz} \\ u_{jx} \\ v_{jy} \\ w_{jz} \end{bmatrix} \quad ( 1.2.1 )$$

en donde:

$u_{ix}$  es la componente de desplazamiento lineal paralelo al eje x del punto nodal i de la barra.

$v_{iy}$  es la componente de desplazamiento lineal paralelo al eje y del punto nodal i de la barra.

$w_{iz}$  es la componente de desplazamiento angular con respecto al eje z del punto nodal i de la barra.

$u_{jx}$  es la componente de desplazamiento lineal paralelo al eje x del punto nodal j de la barra.

$v_{jy}$  es la componente de desplazamiento lineal paralelo al eje y del punto nodal j de la barra.

$w_{jz}$  es la componente de desplazamiento angular con respecto al eje z del punto nodal j de la barra.

En la figura ( 1.b ) se muestran los componentes de éste vector.

Al definir el modelo matemático de la barra que relaciona los elementos mecánicos y los elementos cinemáticos es

$$\frac{dU}{dx} = \frac{NX}{AE} \quad ( 1.2.3 )$$

$$\frac{d^2 V_b}{dx^2} = - \frac{Mz}{EI_z} \quad ( 1.2.4 )$$

$$\frac{dV_s}{dX} = \frac{1}{12} @y L2 Vy \quad ( 1.2.5 )$$

en donde :

$N_x$ = Fuerza equilibrante resultante paralela al eje x, conocida como fuerza normal , para la sección transversal considerada.

$V_y$ = Fuerza equilibrante resultante paralela al eje y, conocida como fuerza cortante , para la sección transversal considerada.

$M_z$ = Momento equilibrante conocido como momento flexionante .

U = Componente del vector desplazamiento de los puntos del eje de la barra, paralelo al eje x .

Vb= Componente del vector desplazamiento de los puntos del eje de la barra, paralelo al eje y , debido al momento flexionante.

Vs= Componente del vector desplazamiento de los puntos del eje de la barra, paralelo al eje y , debido a la fuerza cortante.

A = Area de la sección transversal.

E = Módulo de young o de elasticidad.

L = Longitud de la barra.

$$e_y = \frac{12 F_y E I_z}{A g L^2}$$

es el factor de forma o de cortante , que se obtiene al multiplicar la fuerza cortante por el módulo de Young y por el momento de inercia entre el área de la sección transversal por el módulo de rigidez al cortante y por la longitud de la barra al cuadrado.

F<sub>y</sub>= Fuerza cortante equilibrante .

g = Módulo de rigidez al cortante.

$$= \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Nu= Coeficiente de Poisson.

Las ecuaciones 1.2.3 a 1.2.5 tienen las siguientes hipótesis :

Los desplazamientos a que va a estar sometida la barra son pequeños de tal manera que el tensor de deformaciones es infinitesimal.

Los puntos de la sección transversal se deforman conforme a la hipótesis de Navier.( Secciones planas)

La geometría está definida por un eje recto y sección constante .  
El material con que se construye la barra es un sólido, homogéneo elástico-lineal e isótropo.

### 1.3 ECUACION MATRICIAL DE EQUILIBRIO.

La condición de equilibrio en los puntos nodales de la barra plana se puede indicar como :

$$\underline{f}^o + \underline{F}^{iu} + \underline{F}^{iv} + \underline{F}^{iw} + \underline{F}^{ju} + \underline{F}^{jv} + \underline{F}^{jw} = \underline{f}^e \quad (1.3.1)$$

en donde el vector  $\underline{f}^o$  se le denomina vector de fuerzas de fijación de la barra, debido a que está formado con las fuerzas generalizadas de fijación en los puntos nodales frontera.

Posee seis componentes que dependen de las cargas externas que actúan en los puntos intermedios de la barra, así como la geometría de la misma .

$\underline{F}^{iu}$  representa la fuerza de una barra sometida al desplazamiento paralelo al eje x, en el punto nodal i.

$\underline{F}^{iv}$  representa la fuerza de una barra sometida al desplazamiento paralelo al eje y, en el punto nodal i.

$\underline{F}^{iw}$  representa la fuerza de una barra sometida al desplazamiento angular respecto al eje z en el punto nodal i.

$\underline{F}^{ju}$  representa la fuerza de una barra sometida al desplazamiento paralelo al eje x, en el punto nodal j.

$\underline{F}^{jv}$  representa la fuerza de una barra sometida al desplazamiento paralelo al eje y, en el punto nodal j.

$\underline{F}^{jw}$  representa la fuerza de una barra sometida al desplazamiento angular respecto al eje z en el punto nodal j.

El vector  $\underline{f}^e$  se le conoce con el nombre de fuerzas externas de la barra ya que está formado con los vectores de cargas generalizados actuando en los dos puntos frontera de la barra. Posee seis componentes y representa el equilibrio de las fuerzas en los extremos de la barra.

El vector de fuerzas equilibrantes,  $\underline{f}^e$ , formado por las acciones de nudo sobre barra se ordena de la manera siguiente :

$$\underline{f}^e = \begin{bmatrix} F_{ix}^e \\ F_{iy}^e \\ M_{iz}^e \\ F_{jx}^e \\ F_{jy}^e \\ M_{jz}^e \end{bmatrix} \quad \text{en donde:}$$

$F_{ix}^e$  representa la fuerza externa normal en el punto nodal i  
 $F_{iy}^e$  representa la fuerza externa cortante en el punto nodal i  
 $M_{iz}^e$  representa el momento flexionante en el punto nodal i.  
( 1.3.3 )  
 $F_{jx}^e$  representa la fuerza externa normal en el punto nodal j  
 $F_{jy}^e$  representa la fuerza externa cortante en el punto nodal j  
 $M_{jz}^e$  representa el momento flexionante en el punto nodal j

A continuación se integran las condiciones de equilibrio con las condiciones de frontera correspondientes a siete configuraciones cinemáticamente determinadas.

Barras con desplazamientos nulos sometida a la carga original

A las fuerzas equilibrantes asociadas a esta configuración cinemáticamente determinada se le conoce con el nombre de fuerzas de fijación o de empotramiento.

Aunque el sistema de cargas sea complejo, éste se puede descomponer en varios sistemas de cargas simples, debido a la linealidad del modelo matemático que los gobierna.

Por tanto para N sistemas de cargas simples , se tienen las expresiones siguientes.

$$\underline{f}^o = \left[ \begin{array}{l} \sum_{m=1}^N F_{ix}^{o(m)} \\ \sum_{m=1}^N F_{iy}^{o(m)} \\ \sum_{m=1}^N M_{iz}^{o(m)} \\ \hline \sum_{m=1}^N F_{jx}^{o(m)} \\ \sum_{m=1}^N F_{jy}^{o(m)} \\ \sum_{m=1}^N M_{jz}^{o(m)} \end{array} \right] \quad ( 1.3.4 )$$

En los incisos 1.4.1 a 1.4.3 se obtiene el vector de fuerzas de algunas cargas.

Barra sometida únicamente al desplazamiento paralelo al eje x, en el punto nodal i.

Esta configuración cinemáticamente determinada se indica con las siguientes condiciones frontera:

$$u^{iu} \Big|_{x=0} = u_i \quad ( 1.3.5 )$$

$$u^{iu} \Big|_{x=1} = 0 \quad ( 1.3.6 )$$

$$\frac{dv_b^{iu}}{dx} \Big|_{x=1} = \frac{dv_b^{iu}}{dx} \Big|_{x=1} = 0 \quad ( 1.3.7 )$$

$$v^{iu} \Big|_{x=0} = v^{iu} \Big|_{x=0} = 0 \quad ( 1.3.8 )$$

Al integrar las ecuaciones ( 1.2.3 a 1.2.5 ) con las condiciones de frontera anteriores se obtiene

$$\underline{F}^{iu} = \frac{AE}{l} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} U_i \quad ( 1.3.9 )$$

Barra sometida unicamente al desplazamiento paralelo al eje y, en el punto nodal i.

---

Esta configuración cinemáticamente determinada se indica con las siguientes condiciones frontera:

$$u^{iv} \Big|_{x=0} = u_i^{iv} \Big|_{x=1} = 0 \quad ( 1.3.10 )$$

$$v^{iv} \Big|_{x=0} = v_i^{iv} \quad ( 1.3.11 )$$

$$\frac{dv_b^{iv}}{dx} \Big|_{x=0} = \frac{dv_b^{iv}}{dx} \Big|_{x=1} = 0 \quad ( 1.3.12 )$$

$$v^{iv} \Big|_{x=1} = 0 \quad ( 1.3.13 )$$

Al integrar las ecuaciones ( 1.2.3 a 1.2.5 ) con las condiciones de frontera anteriores se obtiene

$$\frac{F^{iv}}{EI} = \frac{z}{(1+\theta y)L^3} \begin{matrix} 0 \\ 12 \\ 61 \\ 0 \\ -12 \\ 61 \end{matrix} v_i \quad (1.3.14)$$

Barra sometida únicamente al desplazamiento angular respecto al eje z en el punto nodal i.

---

Las condiciones de frontera correspondientes son :

$$u^{iw} \Big|_{x=0} = u_i^{iw} \Big|_{x=1} = 0 \quad (1.3.15)$$

$$v^{iw} \Big|_{x=0} = v^{iw} \Big|_{x=1} = 0 \quad (1.3.16)$$

$$\frac{dv^{iw}}{dx} \Big|_{x=0} = w_i \quad (1.3.17)$$

$$\frac{dv^{iw}}{dx} \Big|_{x=1} = 0 \quad (1.3.18)$$

Al integrar las ecuaciones ( 1.2.3 a 1.2.5 ) con las condiciones de frontera anteriores se obtiene

$$F_i^{iw} = \frac{EI}{(1+\theta y)L^2} \begin{bmatrix} 0 \\ 6 \\ (4+\theta y)l \\ 0 \\ -6 \\ (2-\theta y)l \end{bmatrix} W_i \quad (1.3.19)$$

Barra sometida únicamente al desplazamiento paralelo al eje x, en el punto nodal j.

---

Esta configuración cinemáticamente determinada se indica con las siguientes condiciones de frontera:

$$u^{ju} \Big|_{x=0} = 0 \quad (1.3.20)$$

$$u^{ju} \Big|_{x=1} = u_j \quad (1.3.21)$$

$$\frac{dv_b^{ju}}{dx} \Big|_{x=1} = \frac{dv_b^{ju}}{dx} \Big|_{x=1} = 0 \quad (1.3.22)$$

$$v^{ju} \Big|_{x=0} = v^{ju} \Big|_{x=1} = 0 \quad (1.3.23)$$

Al integrar las ecuaciones ( 1.2.3 a 1.2.5 ) con las condiciones de frontera anteriores se obtiene

$$\underline{F}^{ju} = \frac{AE}{l} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} U_j \quad ( 1.3.24 )$$

Barra sometida únicamente al desplazamiento paralelo al eje y, en el punto nodal j.

Esta configuración cinemáticamente determinada se indica con las siguientes condiciones frontera:

$$u^{jv} \Big|_{x=0} = u^{jv} \Big|_{x=1} = 0 \quad ( 1.3.25 )$$

$$v^{jv} \Big|_{x=0} = 0 \quad ( 1.3.26 )$$

$$\frac{dv^{jv}}{dx} \Big|_{x=0} = \frac{dv^{jv}}{dx} \Big|_{x=1} = 0 \quad ( 1.3.27 )$$

$$v^{jv} \Big|_{x=1} = v_j \quad ( 1.3.28 )$$

Al integrar las ecuaciones ( 1.2.3 a 1.2.5 ) con las condiciones de frontera anteriores se obtiene

$$F^{jv} = \frac{EI}{(1+\theta y)L^3} z \begin{bmatrix} 0 \\ -12 \\ -61 \\ 0 \\ 12 \\ -61 \end{bmatrix} v_j \quad (1.3.29)$$

Barra sometida únicamente al desplazamiento angular respecto al eje z en el punto nodal j.

---

Las condiciones de frontera correspondientes son :

$$u^{jw} \Big|_{x=0} = u_i^{jw} \Big|_{x=0} = 0 \quad (1.3.30)$$

$$v^{jw} \Big|_{x=0} = v^{jw} \Big|_{x=1} = 0 \quad (1.3.31)$$

$$\frac{dv^{jw}}{dx} \Big|_{x=0} = 0 \quad (1.3.32)$$

$$\frac{dv^{jw}}{dx} \Big|_{x=1} = w_j \quad (1.3.33)$$

Al integrar las ecuaciones ( 1.2.3 a 1.2.5 ) con las condiciones de frontera anteriores se obtiene

$$F_j^w = \frac{EI_z}{(1+\theta y)L^2} \begin{bmatrix} 0 \\ 6 \\ (2-\theta y)l \\ 0 \\ -6 \\ (4+\theta y)l \end{bmatrix} w_j \quad (1.3.34)$$

Al sustituir las ecuaciones 1.3.9 , 1.3.14, 1.3.19, 1.3.24 , 1.3.29 y 1.3.34 en la ecuación 1.3.1 y al agruparla en forma matricial se obtiene :

$\begin{bmatrix} F_{ix}^o \\ F_{iy}^o \\ M_{iz}^o \\ F_{jx}^o \\ F_{jy}^o \\ M_{jz}^o \end{bmatrix} + \frac{EI_z}{(1+\theta y)l}$	$\frac{A(1+\theta y)}{I_z}$	0	0	$-\frac{A}{I_z}(1+\theta y)$	0	0	$u_i$	$F_{ix}^e$
		$\frac{12}{l^2}$	$\frac{6}{l}$	0	$-\frac{12}{l^2}$	$\frac{6}{l}$	$v_i$	$F_{iy}^e$
		$4+\theta y$	0	$-\frac{6}{l}$	$2-\theta y$		$w_i$	$M_i^e$
				$\frac{A}{I_z}(1+\theta y)$	0	0	$u_j$	$F_{jx}^e$
					$\frac{12}{l^2}$	$-\frac{6}{l}$	$v_j$	$F_{jy}^e$
						$4+\theta y$	$w_j$	$M_{jz}^e$

S I M E T R I C A

( 1.3.35 )

La ecuación estandar de la barra se define como:

$$\underline{K} \underline{U} + \underline{F}^o = \underline{F}^e \quad ( 1.3.36 )$$

en donde

A la matriz  $\underline{K}$  que es un arreglo de 6 x 6 , se conoce con el nombre de matriz de rigideces de la barra. Es una matriz simétrica y sus componentes dependen de la geometría y del material de la barra y se define en la ecuacion ( 1.3.37 ) .

El vector  $\underline{U}$  se le conoce con el nombre de vector de desplazamientos de la barra, está formado con los desplazamientos generalizados de los puntos nodales i y j respectivamente.

Posee seis componentes y se define en la ecuacion ( 1.2.1 ) .

El vector  $\underline{F}^e$  se define en la ecuación ( 1.3.3 ) y el vector  $\underline{F}^o$  se define en la ecuación ( 1.3.4 ) .

$$k = \frac{E I_z}{(1+\theta y) l}$$

$\frac{A}{I_z} (1+\theta y)$	0	0	$-\frac{A}{I_z} (1+\theta y)$	0	0
	$\frac{12}{l^2}$	$\frac{6}{l}$	0	$-\frac{12}{l^2}$	$\frac{6}{l}$
		$4+\theta y$	0	$-\frac{6}{l}$	$2-\theta y$
			$\frac{A}{I_z} (1+\theta y)$	0	0
				$\frac{12}{l^2}$	$-\frac{6}{l}$
					$4+\theta y$

S  
I  
M  
E  
T  
R  
I  
C  
A

( 1.3.37 )

#### 1.4 VECTOR DE FUERZAS DE FIJACION

En las ecuaciones de equilibrio de una barra, se requiere la cuantificación del vector de fuerzas de fijación de la barra provocado por las cargas actuantes entre los puntos nodales de la barra. A tales cargas se les denomina cargas intermedias. Las cargas intermedias actúan únicamente en el plano xy, sin provocar fuerzas de fijación paralelas el eje x.

A continuación, se deducen tres de las fórmulas de las fuerzas de fijación y la configuración deformada de la barra, provocados por las cargas, más usuales en el análisis estructural.

Para la obtención de las fuerzas de fijación ante cargas se debe definir las ecuaciones de elementos mecánicos de la barra según el tipo de carga de condiciones frontera dependiente del tipo de carga y apoyo para resolver las ecuaciones ( 1.2.3 a 1.2.5 ) que son el modelo matemático de la barra.

##### 1.4.1 FUERZA CONCENTRADA

De acuerdo con la figura ( 1.4.a ), existe una discontinuidad en los elementos del modelo matemático, y la solución del modelo matemático resulta ser:

$$V_i = \frac{(L-a)^2 (L+2a)}{(1+\theta y)L^3} P + \theta y \frac{(L-a)}{(1+\theta y)L} \quad ( 1.4.1.1 )$$

$$M_i = \frac{a(L-a)^2}{(1+\theta y)L^2} P + \theta y \frac{a(L-a)}{2(1+\theta y)L} \quad ( 1.4.1.2 )$$

$$V_j = P - V_i \quad ( 1.4.1.3 )$$

$$M_j = V_i L - M_i - P(L-a) \quad ( 1.4.1.4 )$$

### 1.4.2 PAR CONCENTRADO

Como se observa en la figura ( 1.4.b ), existe una discontinuidad en los elementos del modelo matemático, y la solución del modelo matemático resulta ser:

$$V_i = 6a(L-a) \frac{M}{(1+\theta y)L^3} \quad ( 1.4.2.1 )$$

$$M_i = (L-a) (3a-L-\theta yL) \frac{M}{(1+\theta y)L^2} \quad ( 1.4.2.2 )$$

$$V_j = - V_i \quad ( 1.4.2.3 )$$

$$M_j = a(2L-3a-\theta yL) \frac{M}{(1+\theta y)L^2} \quad ( 1.4.2.4 )$$

### 1.4.3 CARGA LINEAL DISCONTINUA

Como se observa en la figura ( 1.4.c ), la solución del modelo matemático resulta ser:

$$V_i = V_i^u + V_i^l = \frac{(L-a-b)}{(1+\theta y)L^3} \left( \frac{1}{2} b^2 (3L-2b) (w_2 - w_1) + \frac{1}{4} (L-a-b) \right. \\ \left. [ L(L-a) (3w_1 + w_2) - b(L-6a+2b) w_1 + b(L+2a-2b) w_2 ] \right. \\ \left. - \frac{1}{10} (L-a-b)^3 (4w_1 + w_2) + \frac{1}{6} \theta y L^2 [ 2(L-a-2b)w_1 + (L-a+b)w_2 ] \right) \quad ( 1.4.3.1 )$$

$$M_i = M_i^u + M_i^l = \frac{(L-a-b)}{2(1+\epsilon y)L^2} \{ b^2 (L-b) (w_1 + w_2) + \frac{1}{6} (L-a-b) [ (L^2 - aL + 3ab) (3w_1 + w_2) - b(4L+3b)w_1 - 3b^2 w_2 ] - \frac{1}{10} (L-a-b)^3 (4w_1 + w_2) + \frac{1}{12} \epsilon y L [(L^2 - 10bL + 2aL + 2ab - 3a^2 - b^2)w_1 + (L^2 + 2ab - a^2 - 3b^2)w_2 ] \} \quad (1.4.3.2)$$

$$V_j = V_j^u + V_j^l = \frac{1}{2} (L-a-b) (w_1 + w_2) - V_i \quad (1.4.3.3)$$

$$M_j = V_i L - M_i - \frac{1}{6} (L-a-b) [(2L-2a+b)w_1 + (L-a+2b)w_2] \quad (1.4.3.4)$$

### 1.5 VECTOR DE FUERZAS EXTERNAS NODALES.

Existen fuerzas que actúan sobre los extremos de las barras o sea sobre los puntos nodales  $i$  y  $j$ . Estas fuerzas se les denomina fuerzas externas nodales. Las cargas externas actúan únicamente en el plano  $XY$ .

## 2.- ECUACIONES DE EQUILIBRIO DEL ELEMENTO MURO.

Para obtener las ecuaciones de un elemento rectángulo es necesario modelarlo en su geometría, material y cargas .

Las hipótesis que se consideran son:

- El material que lo constituye es homogéneo elástico lineal e isótropo.
- La geometría del muro es tal que posee dos dimensiones relativamente grandes , contenidas en un plano, y la restante es pequeña.
- Las cargas que soporta están contenidas en el plano del muro.

De acuerdo a lo anterior, la idealización corresponde a un estado plano de esfuerzos.

### 2.1 GEOMETRIA DEL ELEMENTO RECTANGULO:

El subdominio para el elemento finito muro es un rectángulo limitado por cuatro puntos nodales como se muestra en la figura ( 2.1.a ).

El espesor del elemento es constante y corresponde al espesor del muro.

### 2.2 DESPLAZAMIENTOS DEL ELEMENTO RECTANGULAR

El campo de desplazamiento en el dominio del elemento está dada por:

$$U = a_4 + a_7 X + a_6 y + a_{12} Xy + a_1 y^2 + a_{10} Xy^2 \quad ( 2.2.1 )$$

$$V = a_5 + a_8 X + a_2 y + a_3 Xy + a_9 X^2 + a_{11} X^2 y \quad ( 2.2.2 )$$

o bien

$$\underline{u} = \underline{U} \underline{\beta} \quad ( 2.2.3 )$$

donde

$$\underline{u} = [u \ U]^T \quad (2.2.4)$$

$$\underline{U} = \begin{bmatrix} y^2 & 0 & 0 & 1 & 0 & y & X & 0 & 0 & Xy^2 & 0 & Xy \\ 0 & y & Xy & 0 & 1 & 0 & 0 & X & X^2 & 0 & Xy & 0 \end{bmatrix} \quad (2.2.5)$$

$$\underline{\beta}^T = [a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ a_6 \ a_7 \ a_8 \ a_9 \ a_{10} \ a_{11} \ a_{12}]^T \quad (2.2.6)$$

Al derivar las ecuaciones de desplazamiento ( 2.2.1 Y 2.2.2 ) con respecto a X y Y respectivamente, se tiene

$$\frac{du}{dx} = A_7 + A_{12}y + A_{10}y^2 \quad (2.2.7)$$

$$\frac{dv}{dy} = A_2 + A_3X + A_{11}X^2 \quad (2.2.8)$$

$$\frac{du}{dy} = A_6 + A_{12}X + 2A_1y + 2A_{10}Xy \quad (2.2.9)$$

$$\frac{dv}{dX} = A_8 + A_3y + 2A_9X + 2A_{11}Xy \quad (2.2.10)$$

La compatibilidad en la frontera común entre los elementos muro se garantiza por las consideraciones siguientes:

1.- El desplazamiento horizontal en las fronteras horizontales es lineal.

Si  $y=K=\text{constante}$ , la ecuación (2.2.1) se reduce a :

$$U|_{y=\text{cte}} = (a_4 + Ka_6 + K^2a_1) + (a_7 + Ka_{12} + K^2a_{10})X \quad (2.2.11)$$

Las dos constantes de la recta dada por la ecuación (2.2.11) se obtienen con el desplazamiento horizontal de los dos puntos nodales.

2.- El desplazamiento vertical en las fronteras horizontales es cuadrático.

Si  $y=K=\text{constante}$ , la ecuación (2.2.2), se reduce a:

$$V \Big|_{y=\text{cte}} = (a_5 + Ka_2) + (a_8 + Ka_3)X + (a_9 + Ka_{11})X^2 \quad (2.2.12)$$

Las tres constantes que aparecen en la ecuación (2.2.12) se pueden calcular al especificar el desplazamiento vertical de los dos puntos nodales y la rotación en alguno de éstos.

Para los desplazamientos en las fronteras verticales, se tienen conclusiones completamente similares.

Al ser un elemento del estado plano, los componentes del vector desplazamiento son dos, el componente horizontal  $U=U(x,y)$  y el Vertical  $V=V(x,y)$ . La aproximación de los componentes de desplazamiento debe ser tal, que puedan quedar representados los giros en cada punto nodal del elemento, ya que, de acuerdo a la fig. (2.2.a), existen nudos comunes para los elementos barra y los elementos muro.

Además de los desplazamientos  $U$  y  $V$ , para considerar los giros y su compatibilidad en el elemento rectángulo se requieren dos tipos de elemento como los que se muestran en la fig. (2.2.b y 2.2.c). Para cada nodo se tienen dos grados de libertad, dos translaciones en dirección de los ejes coordenados. Es decir que los elementos tipo (1) y (2) son ensamblados de tal forma que en un par de elementos con un límite común no sean del mismo tipo y entonces alternando la posición de cada elemento, como se muestra en la figura (2.2.d), se tiene un grado de libertad único para el giro.

2.3 CALCULO DE LA MATRIZ DE RIGIDECES DEL ELEMENTO:

Para definir la matriz de rigideces se consideran las ecuaciones de equilibrio esfuerzo-deformación :

$$E_{xx} = \frac{du}{dx} \quad ( 2.3.1 )$$

$$E_{yy} = \frac{dv}{dy} \quad ( 2.3.2 )$$

$$G_{xy} = \frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx} \quad ( 2.3.3 )$$

al sustituir las ecuaciones (2.2.7 a 2.2.10) en las ecs. (2.31 a 2.33) y escribir en forma matricial , se tiene

$$\begin{bmatrix} E_{xx} \\ E_{yy} \\ G_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & y^2 & 0 & y \\ 0 & 1 & X & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X^2 & 0 \\ 2y & 0 & y & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 2X & 2Xy & 2Xy & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A1 \\ A2 \\ A3 \\ A4 \\ A5 \\ A6 \\ A7 \\ A8 \\ A9 \\ A10 \\ A11 \\ A12 \end{bmatrix} \quad ( 2.3.4 )$$

y en forma compacta por:

$$[E]=[B][\beta] \quad ( 2.3.5 )$$

en donde

- E representa el vector de deformaciones.
- B representa la matriz del campo de desplazamiento.
- β representa la matriz de coeficientes de las funciones de forma.

La relación de los esfuerzos con las deformaciones está dada por la ley de generalizada de Hooke, que dice:

$$V_{xx} = \frac{E}{(1-\nu^2)} ( E_{xx} + \nu E_{yy} ) \quad ( 2.3.6 )$$

$$V_{yy} = \frac{E}{(1-\nu^2)} ( \nu E_{xx} + E_{yy} ) \quad ( 2.3.7 )$$

$$T_{xy} = \frac{E}{(1-\nu^2)} \left( \frac{1+\nu}{2} \right) G_{xy} \quad ( 2.3.8 )$$

y en forma matricial se tiene:

$$C = \frac{E}{(1-\nu^2)}$$

$$\begin{bmatrix} V_{xx} \\ V_{yy} \\ T_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1C & \nu C & 0 \\ \nu C & 1C & 0 \\ 0 & 0 & \frac{C+\nu C}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{xx} \\ E_{yy} \\ G_{xy} \end{bmatrix} \quad ( 2.3.9 )$$

en forma compacta:

$$[v] = [C] (E) \quad ( 2.3.10 )$$

Para obtener la relación de los desplazamientos y el vector de coeficientes, se procede de la siguiente manera: Como se menciona en el inciso anterior, para los elementos tipo (1) y (2), los giros quedan definidos como:

Para el elemento tipo 1

$$\phi_i = \frac{dv}{dx} \Big|_i \quad ( 2.3.11 )$$

$$\phi_j = -\frac{du}{dy} \Big|_j \quad ( 2.3.12 )$$

$$\phi_k = \frac{dv}{dx} \Big|_k \quad ( 2.3.13 )$$

$$\phi_l = \frac{du}{dy} \Big|_l \quad ( 2.3.14 )$$

Para el elemento tipo 2

$$\phi_i = - \left. \frac{du}{dy} \right|_i \quad ( 2.3.15 )$$

$$\phi_j = \left. \frac{dv}{dx} \right|_j \quad ( 2.3.16 )$$

$$\phi_k = - \left. \frac{du}{dy} \right|_k \quad ( 2.3.17 )$$

$$\phi_l = \left. \frac{dv}{dx} \right|_l \quad ( 2.3.18 )$$

Al definir el vector desplazamientos nodales del muro se considera :

$$\underline{r}^e = [ u_i \ v_i \ \theta_i \ u_j \ v_j \ \theta_j \ u_k \ v_k \ \theta_k \ u_l \ v_l \ \theta_l ]^T \quad ( 2.3.19 )$$

Al tomar en cuenta que cualquier punto nodal del elemento muro puede coincidir con un punto nodal del elemento barra, se deben considerar tres grados de libertad a cada nodo.

Dichos grados son enteramente similares a los del elemento barra. Por tanto, son dos desplazamientos lineales y un angular.

Al sustituir para cada elemento las ecuaciones (2.2.1 y 2.2.2) en las ecuaciones ( 2.3.11 a 2.3.18 ) , se tiene lo siguiente :

Para el elemento tipo 1 :

$$\phi_i = A_8 + A_3 y + 2A_9 x + 2A_{11} y \quad ( 2.3.20 )$$

$$\phi_j = - ( A_6 + A_{12} x + 2A_1 y + 2A_{10} xy ) \quad ( 2.3.21 )$$

$$\phi_k = A_8 + A_3 y + 2A_9 x + 2A_{11} y \quad ( 2.3.22 )$$

$$\phi_l = A_6 + A_{12} x + 2A_1 y + 2A_{10} xy \quad ( 2.3.23 )$$

Para el elemento tipo 2 :

$$\phi_i = - \left( \frac{A}{6} + \frac{A}{12} x + \frac{2A}{1} y + \frac{2A}{10} xy \right) \quad ( 2.3.24 )$$

$$\phi_j = A_8 + A_3 y + 2A_9 x + 2A_{11} y \quad ( 2.3.25 )$$

$$\phi_k = - \left( \frac{A}{6} + \frac{A}{12} x + \frac{2A}{1} y + \frac{2A}{10} xy \right) \quad ( 2.3.26 )$$

$$\phi_l = A_8 + A_3 y + 2A_9 x + 2A_{11} y \quad ( 2.3.27 )$$

Al sustituir las coordenadas mostradas en la fig. ( 2.3.a ) en las ecuaciones 2.2.1 , 2.2.2 y 2.3.20 a 2.3.23 , luego igualar a la ecuación ( 2.3.19 ) y agrupar en forma matricial , se obtiene:

Para el elemento tipo 1

$$\begin{matrix} \left[ \begin{matrix} u1 \\ v1 \\ \left(\frac{dv}{dx}\right)_1 \\ u2 \\ v2 \\ -\left(\frac{du}{dy}\right)_2 \\ u3 \\ v3 \\ \left(\frac{dv}{dx}\right)_3 \\ u4 \\ v4 \\ -\left(\frac{du}{dy}\right)_4 \end{matrix} \right] = \left[ \begin{matrix} b^2 & 0 & 0 & 1 & 0 & b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & a & a^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2a & 0 & 0 & 0 \\ b^2 & 0 & 0 & 1 & 0 & b & a & 0 & 0 & ab^2 & 0 & ab \\ 0 & b & ab & 0 & 1 & 0 & 0 & a & a^2 & 0 & a^2 b & 0 \\ -2b & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & -2ab & 0 & -a \end{matrix} \right] \left[ \begin{matrix} A1 \\ A2 \\ A3 \\ A4 \\ A5 \\ A6 \\ A7 \\ A8 \\ A9 \\ A10 \\ A11 \\ A12 \end{matrix} \right] \end{matrix}$$

Matriz de desplazamiento para elemento tipo 1  
( 2.3.28 )

Al sustituir las coordenadas mostradas en la fig. ( 2.3.a ) en en las ecuaciones 2.2.1 , 2.2.2 y 2.3.24 a 2.3.27 ,luego igualar a la ecuación ( 2.3.19 ) y agrupar en forma matricial, se obtiene

Para el elemento tipo 2

$$\begin{matrix}
 \left[ \begin{array}{c}
 u_1 \\
 v_1 \\
 -\left(\frac{du}{dy}\right)_1 \\
 u_2 \\
 v_2 \\
 \left(\frac{dv}{dx}\right)_2 \\
 u_3 \\
 v_3 \\
 -\left(\frac{du}{dy}\right)_3 \\
 u_4 \\
 v_4 \\
 \left(\frac{dv}{dx}\right)_4
 \end{array} \right] =
 \end{matrix}
 \begin{matrix}
 \begin{bmatrix}
 b^2 & 0 & 0 & 1 & 0 & b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & b & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -2b & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & a & a^2 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -a \\
 b^2 & 0 & 0 & 1 & 0 & b & a & 0 & 0 & ab^2 & 0 & ab \\
 0 & b & ab & 0 & 1 & 0 & 0 & a & a^2 & 0 & a^2 b & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2a & 0 & 2ab & 0
 \end{bmatrix}
 \end{matrix}
 \begin{matrix}
 \left[ \begin{array}{c}
 A_1 \\
 A_2 \\
 A_3 \\
 A_4 \\
 A_5 \\
 A_6 \\
 A_7 \\
 A_8 \\
 A_9 \\
 A_{10} \\
 A_{11} \\
 A_{12}
 \end{array} \right]
 \end{matrix}$$

Matriz de desplazamiento para elemento tipo 2  
( 2.3.29 )

La ecuación 2.3.28 en forma compacta se puede escribir:

$$r^e = [A] [\beta]$$

Ahora al invertir  $[A]$  dado que  $[\beta] = [A^{-1}] [r^e]$ . La  $[A^{-1}]$  inversión para la matriz del elemento 1 es dada por la siguiente tabla.

Para el elemento tipo 1.

$$[A]^{-1} = \begin{bmatrix} 1/b^2 & 0 & 0 & -1/b^2 & 0 & 1/b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/b & 0 & 0 & -1/b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/b & 0 & 2/ab & 0 & 0 & -2/ab & 1/b & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1/a & 0 & 0 & 1/a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2/a & 0 & 0 & 2/a & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/a^2 & 0 & 0 & -1/a^2 & 1/a & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1/ab^2 & 0 & 0 & 1/ab^2 & 0 & -1/ab & 1/ab^2 & 0 & 0 & -1/ab^2 & 0 & -1/ab & 0 \\ 0 & -1/a^2 b & -1/ab & 0 & -1/a^2 b & 0 & 0 & 1/a^2 b & -1/ab & 0 & 1/a^2 b & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/a & -2/ab & 0 & 0 & 2/ab & 0 & 1/a & 0 \end{bmatrix}$$

( 2.3.30 )

Matriz cuadrada obtenida en terminos del elemento de dimensiones ( a,b ).

La ecuación ( 2.3.29 ) en forma compacta se puede escribir :

$$r^e = [A] [\beta]$$

Ahora al invertir [A] dado que  $[\beta] = [A]^{-1} [r^e]$ . La  $[A]^{-1}$  inversión para la matriz del elemento 2 es dada por la siguiente tabla.

Para el elemento tipo 2, se tiene lo siguiente

$$[A]^{-1} = \begin{bmatrix} -1/b^2 & 0 & -1/b & 1/b^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1/b & 0 & 0 & -1/b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2/ab & 0 & 0 & 0 & -1/b & 0 & 0 & 0 & 0 & 2/ab & -1/b \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2/b & 0 & 1 & -2/b & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1/a & 0 & 0 & 1/a & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1/a^2 & -1/a & 0 & 1/a^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/ab^2 & 0 & 1/ab & -1/ab^2 & 0 & 0 & -1/ab^2 & 0 & 1/ab & 1/ab^2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/a^2 b & 0 & 0 & 1/a^2 b & 1/ab & 0 & -1/a^2 b & 0 & 0 & -1/a^2 b & 1/ab \\ -2/ab & 0 & -1/a & 2/ab & 0 & 0 & 0 & 0 & -1/a & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

( 2.3.31 )

Matriz cuadrada obtenida en terminos del elemento de dimensiones ( a,b ).

Por el principio del trabajo virtual, se tiene que la matriz K se define mediante la siguiente relación:

$$[P] = [K][r^e]$$

( 2.3.32 )

en donde  $[K] = [A]^{-1} [K] [A]$

La matriz  $[K]$  es dada por la expresión:  $[K] = \int_{Jv}^P [B]^T [C] [B] dx dy dz$  ( 2.3.33 )

en donde  $\underline{B} = \underline{b} \underline{A}$  ( 2.3.34 )

entonces, al sustituir la ecuación ( 2.3.34 ) en ( 2.3.33 ), se obtiene

$$\underline{K}e = \int_{Jv}^P \underline{A}^T \underline{b} \underline{C} \underline{b} \underline{A} dv \quad ( 2.3.35 )$$

y

$$s = \int_{Jv}^P \underline{b}^T \underline{C} \underline{b} dv \quad ( 2.3.36 )$$

Al sustituir en la expresión anterior:

$$C = \frac{E}{(1-\nu)^2}$$

$$[\underline{S}] = \int_{Jv}^P \begin{bmatrix} 0 & 0 & y \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & x & y \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 2x \\ y^2 & 0 & 2xy \\ 0 & x^2 & 2xy \\ y & 0 & x \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & GC & 0 \\ GC & C & 0 \\ 0 & 0 & \frac{C+GC}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & y^2 & 0 & y \\ 0 & 1 & x & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x^2 & 0 & 0 \\ 2y & 0 & y & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 2x & 2xy & 2xy & x \end{bmatrix} dv \quad ( 2.3.37 )$$

Efectuando operaciones se obtiene:

$$[\bar{S}] = \frac{E}{(1-G^2)} \int_V [P] [R]$$

La matriz [R], se representa en la ecuación ( 2.3.38 ) que se muestra a continuación: ( En esta matriz, se considera G=NU )

$4ay^2$	0	$2ay^2$	0	0	$2ay$	0	$2ay$	$4axy$	$4axy^2$	$4axy^2$	$2axy$
1	x	0	0	0	G	0	0	$Gy^2$	$x^2$	Gy	
	$x^2 + ay^2$	0	0	ay	Gx	ay	$2axy$	$xy^2 (G+2a)$	$x^3 + 2axy^2$	$xy(G+a)$	
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			0	0	0	0	0	0	0	0	
				a	0	a	$2ax$	$2axy$	$2axy$	ax	
					1	0	0	$y^2$	$Gx^2$	y	
						a	$2ay$	$2axy$	$2axy$	ax	
							$4ax^2$	$4ax^2y$	$4ax^2y$	$2ax^2$	
								$4y^2 + 4ax^2y^2$	$x^2y(G+4a)$	$y^3 + 2axy^2$	
								$x^4 + 4ax^2y^2$	$x^2y(G+2a)$	$x^2y(G+2a)$	
										$ax^2 + y^2$	

S  
I  
M  
E  
T  
R  
I  
C  
A

( 2.3.38 )

La forma de obtener la matriz de rigideces S del elemento muro, se muestra a continuación y se trata de integrar la ecuación ( 2.3.38 ).

$$[\bar{S}] = \int_V [P] [B]^T [C] [B] dv; \text{ donde } dv = dx dy dz$$

Para ilustrar la obtención de la matriz  $\bar{S}$  se dan los siguientes ejemplos.

Si  $dz = h =$  espesor del muro que se analiza

$$1.- \int_V^P 4ay^2 dv = h \int_0^a \int_0^b 4ay^2 dx dy = 4h \int_0^a \int_0^b ay^2 dx dy = 4ha \int_0^a dx \int_0^b dy =$$

$$4ah [x]_0^a \left[ \frac{y^3}{3} \right]_0^b = h \left( \frac{4a ab^3}{3} \right)$$

$$2.- \int_V^P dv = h \int_0^a \int_0^b dx dy = h \int_0^a dx \int_0^b dy = h [x]_0^a [y]_0^b = h (ab)$$

y así sucesivamente se obtienen todos los términos de la matriz  $[S]$  que es válida para los dos tipos de elementos.

Una vez obtenidos todos los valores se sustituyen en la ecuación ( 2.3.35 ) y se obtiene la matriz de rigideces para cada elemento

#### 2.4 VECTOR FUERZAS DE CUERPO DEL ELEMENTO RECTANGULO.

La ecuación de equilibrio estático del medio continuo resulta ser

$$\underline{\underline{K}}^e \underline{\underline{r}}^e = \underline{\underline{R}}^e \quad ( 2.4.1 )$$

en donde  $\underline{\underline{k}}^e$  recibe el nombre de matriz de rigideces,  $\underline{\underline{r}}^e$  vector que contiene las componentes del desplazamiento de todos los puntos nodales del subdominio, y  $\underline{\underline{R}}^e$  es el vector de cargas, definido de la siguiente forma ( la parte correspondiente a las fuerzas de cuerpo ) :

$$\underline{\underline{R}}^e = \int_V^P p N^T f_c dv \quad ( 2.4.2 )$$

en donde

V= volumen de la región comprendida en el elemento finito.

N= matriz de interpolación .

Permite conocer los desplazamientos de cualquier punto con sólo saber cuáles son los desplazamientos de los puntos nodales.

$f_c$  = Vector de fuerzas por unidad de masa que actúa en el volumen del cuerpo V .

La intensidad de fuerzas de cuerpo por unidad de masa  $f_c$ , se puede calcular de acuerdo con la figura (2.4.a)

$$f_c = g \begin{vmatrix} \cos b \\ \text{sen } b \end{vmatrix} \quad ( 2.4.3 )$$

La función de interpolación N, se obtiene mediante las ecuaciones 2.2.3, 2.2.5 y  $\underline{a} = A (d)$  es decir

$$\underline{u} = \underline{U} \underline{a} = \underline{U} \underline{A} (d) = N (d) \quad ( 2.4.4 )$$

de donde

$$\underline{N} = \underline{U} \underline{A} \quad ( 2.4.5 )$$

Al sustituir las ecs. ( 2.4.3 y 2.4.5 ) en la ec. ( 2.4.2 ) , se obtiene :

$$\begin{aligned} \frac{e}{R_c} &= \int_{Vc} \underline{P} \quad \underline{PgA}^T \quad \underline{U}^T \begin{vmatrix} \cos b \\ \text{sen } b \end{vmatrix} dv \\ &= \underline{pghA}^T \underline{F} \begin{vmatrix} \cos b \\ \text{sen } b \end{vmatrix} \end{aligned} \quad ( 2.4.6 )$$

donde la matriz F resulta ser:

$$F = \begin{bmatrix} \frac{ab^3}{3} & 0 & 0 & ab & 0 & \frac{ab^2}{2} & \frac{a^2b}{2} & 0 & 0 & \frac{a^2b^2}{6} & 0 & \frac{a^2b^2}{2} \\ 0 & \frac{ab^2}{2} & \frac{a^2b^2}{4} & 0 & ab & 0 & 0 & \frac{a^2b}{2} & \frac{a^3}{3} & 0 & \frac{a^2b^2}{6} & 0 \end{bmatrix} \quad (2.4.7)$$

Al sustituir la ec. 2.4.7 , en la ec. 2.4.6 , se puede calcular el vector de fuerzas de cuerpo que le corresponda a cada tipo de elemento.

### 3.- ECUACIONES DE EQUILIBRIO DEL MURO-MARCO

#### 3.1 TRANSFORMACION DE EJES DEL SISTEMA LOCAL AL SISTEMA GLOBAL

El sistema de referencia es una convención para ubicar los conceptos en dicho sistema.

La selección de la posición y orientación del sistema de referencia es arbitraria y el criterio de selección depende generalmente de la facilidad operativa.

Debido a que existen algunos conceptos que son fáciles de evaluar en una referencia, pero se necesita operarlas en otra, es necesario establecer el procedimiento que permita manipular de una referencia a otra, donde se definen los sistemas de referencia.

Se considera la acción de un vector  $\underline{F}$  y dos conjuntos de ejes coordenados ortogonales  $X, Y, Z$  y  $X', Y', Z'$  como se muestra en la figura ( 3.a ).

Sea  $a_{11}, a_{12}, a_{13}$  los cosenos directores del eje  $x$  local con respecto a los ejes  $X', Y', Z'$  respectivamente ; estos cosenos directores son los cosenos de los angulos formados entre el eje  $X$  y los ejes  $X', Y', Z'$  del sistema global de referencia . Sea tambien  $a_{21}, a_{22}, a_{23}$  los cosenos directores para el eje  $Y$  y  $a_{31}, a_{32}, a_{33}$  los correspondientes al eje  $Z$ .

La acción del vector  $\underline{F}$  se puede representar por los componentes ortogonales  $F_{x'}, F_{y'}, F_{z'}$  en las direcciones  $X', Y', Z'$  como se muestra en la figura ( 3.a ) ; alternatively la acción de este vector , también puede representarse por las componentes ortogonales  $F_x, F_y, F_z$  en las direcciones  $X, Y, Z$ .

Estas ultimas componentes se pueden relacionar con las primeras de la siguiente forma.

$$\begin{aligned} F_x &= a_{11} F_x' + a_{12} F_y' + a_{13} F_z' \\ F_y &= a_{21} F_x' + a_{22} F_y' + a_{23} F_z' \\ F_z &= a_{31} F_x' + a_{32} F_y' + a_{33} F_z' \end{aligned} \quad (3.1.1)$$

Al expresar las expresiones anteriores en forma matricial resulta

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x' \\ F_y' \\ F_z' \end{bmatrix} \quad (3.1.2)$$

Si se propone que a sea una matriz de rotación de la forma

$$\underline{a} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \quad (3.1.3)$$

Al usar la expresion (3.1.3), la ecuación (3.1.1) resulta ser , en forma reducida como

$$\underline{(F)} = \underline{a} \underline{(F')} \quad (3.1.4)$$

donde a es la matriz de rotación

- (F) Contiene los componentes del vector F en el sistema local de referencia.
- (F') Contiene los componentes del vector F' en el sistema global de referencia

En forma semejante , las componentes  $F_x'$  ,  $F_y'$  ,  $F_z'$  se pueden relacionar con las componentes  $F_x$  ,  $F_y$  ,  $F_z$ ; resultando la siguiente ecuación:

$$\begin{bmatrix} F_x' \\ F_y' \\ F_z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} \quad (3.1.5)$$

que en forma compacta resulta :

$$\{F'\} = \underline{a}^T \{F\} \quad (3.1.6)$$

De las ecuaciones (3.1.4) a (3.1.6) se deduce que la transpuesta de la matriz de rotación  $\underline{a}$  ( $\underline{a}^T$ ) es igual a su inversa, por lo que  $\underline{a}$  es una matriz ortogonal.

Definidas las ecuaciones anteriores es posible obtener las expresiones para cambiar el vector de desplazamientos, fuerzas y matriz de rigideces de cada barra de una referencia local a la referencia de la estructura o vice versa.

### 3.2 TRANSFORMACION DE LA BARRA

Los terminos  $a_{11}$ ,  $a_{12}$ ,  $a_{13}$  son los cosenos directores del eje X local con respecto a los ejes globales de referencia ( X , Y , Z ) Estos elementos son determinados a partir de las coordenadas de los extremos del miembro, de la siguiente manera:

$$a_{11} = \frac{X_j - X_i}{L} \quad a_{12} = \frac{Y_j - Y_i}{L} \quad a_{13} = \frac{Z_j - Z_i}{L} \quad (3.2.1)$$

$$L = \sqrt{(X_j - X_i)^2 + (Y_j - Y_i)^2 + (Z_j - Z_i)^2} \quad (3.2.2)$$

donde  $L$  es la longitud del miembro.

$(X_i, Y_i, Z_i)$  son las coordenadas del extremo  $i$ , del miembro con respecto a los ejes  $X, Y, Z$

$(X_j, Y_j, Z_j)$  son las coordenadas del extremo  $j$ , del miembro con respecto a los ejes  $X, Y, Z$

La figura ( 3.b ) muestra la posición que guardan los dos sistemas de referencia cartesianos . En tal fig. , se puede observar que con solo conocer el angulo alfa, que forma el eje local  $X_1$  , se puede calcular los coeficientes de la ec. (3.1.1) en donde:

$$\underline{a} = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & a \end{bmatrix} \quad (3.2.3)$$

La matriz de los cosenos directores queda como:

$$\underline{a} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sen \alpha & 0 \\ -\sen \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2.4)$$

al sustituir la ecuación (3.2.4) en la ec. (3.2.3) y ésta en la ecuación ( 1.3.36 ) que es la ecuación de la matriz de rigidez de la barra en el sistema local de referencia, se obtiene lo siguiente

c= cos alfa

s= sen alfa

$$\begin{bmatrix}
 k_{11}^2 c^2 + k_{22}^2 s^2 & (k_{11} - k_{22})cs & -k_{23}s & k_{14}^2 c^2 + k_{25}^2 s^2 & (k_{14} - k_{25})cs & -k_{26}s \\
 (k_{11} - k_{22})cs & k_{11}^2 s^2 + k_{22}^2 c^2 & k_{23}c & k_{14}^2 s^2 + k_{25}^2 c^2 & k_{14}^2 c^2 + k_{25}^2 s^2 & k_{26}c \\
 -k_{32}s & k_{32}c & k_{33} & -k_{33}s & k_{35}c & k_{36} \\
 k_{14}^2 c^2 + k_{25}^2 s^2 & (k_{14} - k_{25})cs & -k_{53}s & k_{44}^2 c^2 + k_{55}^2 s^2 & (k_{44} - k_{55})cs & -k_{56}s \\
 (k_{41} - k_{52})cs & k_{41}^2 s^2 + k_{52}^2 c^2 & k_{53}c & (k_{44} - k_{55})cs & k_{44}^2 s^2 + k_{55}^2 c^2 & k_{56}c \\
 -k_{62}s & k_{62}c & k_{63} & -k_{65}s & k_{65}c & k_{66}
 \end{bmatrix}$$

( 3.2.5 ) Matriz de rigideces en el sistema global de referencia de un miembro en el plano .

### 3.3 TRANSFORMACION DE LAS FUERZAS

En forma analoga , para el caso de las fuerzas internas y externas se prosigue de la misma manera haciendo uso de la ecuación (3.1.6) A continuación se muestran las dos vectores en el sistema global de las fuerzas internas y externas respectivamente

$$\begin{matrix}
 \begin{matrix} -o \\ f \end{matrix} = \begin{matrix} -T \\ a \end{matrix} \begin{matrix} o \\ f \end{matrix} =
 \end{matrix}
 \begin{bmatrix}
 cF_{ix}^o - sF_{iy}^o \\
 sF_{ix}^o + cF_{iy}^o \\
 M_{jz}^o \\
 cF_{jx}^o - sF_{jy}^o \\
 sF_{jx}^o + cF_{jy}^o \\
 M_{jz}^o
 \end{bmatrix}$$

( 3.3.1 )

$$\begin{bmatrix}
 cF_{ix}^e - sF_{iy}^e \\
 sF_{ix}^e + cF_{iy}^e \\
 M_{jz}^e \\
 cF_{jx}^e - sF_{jy}^e \\
 sF_{jx}^e + cF_{jy}^e \\
 M_{jz}^e
 \end{bmatrix}$$

( 3.3.2 )

### 3.4 TRANSFORMACION DE LOS DESPLAZAMIENTOS

En forma analoga, de acuerdo a las ecuaciones 3.2.3 y 3.2.4 , para las componentes de los desplazamientos  $\underline{u}$  en las direcciones  $X, Y, Z$  se pueden expresar en terminos de las componentes del desplazamiento  $\underline{u}'$  en las direcciones  $X', Y', Z'$  y vice versa :

$$\underline{u} = \underline{a} \underline{u}' \quad (3.4.1)$$

$$\underline{u}' = \underline{a}^T \underline{u} \quad (3.4.2)$$

$$\underline{U}^o = \underline{a}^T \underline{U}^o = \begin{bmatrix} cU_{ix}^o + sU_{iy}^o \\ sU_{ix}^o - cU_{iy}^o \\ G_{jz}^o \\ cU_{jx}^o + sU_{jy}^o \\ sU_{jx}^o - cU_{jy}^o \\ G_{jz}^o \end{bmatrix} \quad (3.4.3)$$

### 3.5 OBTENCION DE LA MATRIZ DE RIGIDECES DE LA ESTRUCTURA

La formación de la matriz de rigideces de la Estructura a partir de las matrices de rigideces de cada uno de sus elementos ( barra o elemento muro ) , se conoce como ensamble de la matriz de rigideces de la Estructura.

La identificación de los puntos nodales locales con la numeración global juega un papel fundamental, ya que permite establecer la relación entre la numeración local de las ecuaciones de la barra y el elemento muro con la numeración de las ecuaciones de equilibrio de la estructura.

Para cada barra y cada elemento muro de la estructura, se construye un arreglo que contiene la relación entre la numeración de las ecuaciones de dicha barra o elemento con las de la estructura.

El arreglo se denomina indicador de ecuación (IE) de la barra o elemento según el caso, se construye con base en el ordenamiento de los elementos del arreglo  $\bar{K}$ , según se muestra a continuación:

$$\text{IE} = \begin{bmatrix} 3i-2 \\ 3i-1 \\ 3i \\ 3j-2 \\ 3j-1 \\ 3j \\ 3k-2 \\ 3k-1 \\ 3k \\ 3l-2 \\ 3l-1 \\ 3l \end{bmatrix} \quad \text{IE} = \begin{bmatrix} 3i-2 \\ 3i-1 \\ 3i \\ 3j-2 \\ 3j-1 \\ 3j \end{bmatrix} \quad ( 3.5.1 )$$

Indicadores de Ecuación de la barra

Indicadores de Ecuación del muro.

De acuerdo a la numeración de la estructura, se define el indicador de ecuación para el elemento barra o elemento muro. La matriz se forma con la contribución de la matriz de rigideces de la barra en su referencia global que corresponde a la ecuación ( 1.3.37 ) y la matriz de rigideces del muro en su referencia local, que corresponde a la ecuación ( 2.3.35 ).

La matriz de rigidez es una propiedad inherente de la Estructura y no depende del tipo de carga a que esta sujeta.

Esta matriz de rigidez de nodo se obtiene al sumar las contribuciones de las matrices de rigideces de los miembros. Se aplican las condiciones de frontera del problema en cuestión, resultando una matriz de orden igual al grado de libertad que define los movimientos posibles de la estructura, como se muestra en la figura (3.5.a).

### 3.6 OBTENCION DEL VECTOR DE CARGAS

A cada barra o elemento muro le corresponde un vector de cargas representado por la ecuación ( 1.3.4 ), así como un vector de indicadores de ecuación como se muestra en el inciso anterior. La construcción de la matriz de las fuerzas de fijación y externas se hace de la misma forma que la construcción de la matriz de rigideces , usando los mismos indicadores de ecuación como se define en la ecuacion (3.5.1).

Hecho lo anterior se resta el vector de fuerzas externas al de fijación obteniendose el vector de cargas, que se representa por P

### 3.7 OBTENCION DE LOS DESPLAZAMIENTOS DE LA ESTRUCTURA

Haciendo referencia a la ecuación (3.4.3) de los desplazamientos, donde los vectores  $u_i$ ,  $u_j$  son vectores formados con los desplazamientos generalizados de los puntos nodales i y j para el caso de la barra e i,j,k,l para el del elemento muro.

Al tomar en cuenta que a cada componente de desplazamiento de cada punto nodal le corresponde una ecuación de equilibrio también servirá para identificar al componente de un conjunto formado con los componentes de desplazamiento de cada uno de los puntos nodales de la estructura. A tal conjunto se le denomina vector de desplazamientos de la estructura, porque está formado con los vectores de desplazamiento de cada punto nodal de la misma.

Se tienen dos componentes de desplazamiento lineal, uno paralelo al eje X global y otro paralelo al eje Y global, del punto nodal N de la estructura.

Un tercer componente de desplazamiento angular, respecto al eje Z del punto nodal N de la estructura.

En la ecuación ( 1.3.36 ), las cantidades conocidas son el vector de fuerzas de fijación  $\underline{F}^o$ , el vector de fuerzas externas  $\underline{F}^e$  y la matriz de rigideces  $\underline{K}$ , mientras que el vector de desplazamientos  $\underline{U}$  es desconocido. Tal ecuación se representa como :

$$\underline{K} \underline{U} = \underline{P} \tag{3.7.1}$$

en donde el vector  $\underline{P}$  se le denomina vector de cargas de la estructura y está formado con las fuerzas actuantes sobre la misma.

El vector de desplazamiento de la estructura debe satisfacer los desplazamientos en los puntos nodales.

Si el conjunto de componentes de desplazamientos conocidos se representa por el vector  $\underline{U}^f$ , el modelo matemático de las ecs. de equilibrio de la estructura, se presenta de la forma de la ecuación (3.4.3)

$$\underline{U} \Big|_{\text{puntos de frontera}} = \underline{U}^f \tag{3.7.2}$$

Las condiciones de frontera de la ec. (3.7.2) se deben de introducir en la ec. (3.7.1) para poder resolver el modelo matemático de las ecuaciones de equilibrio de la estructura.

La forma de introducción de estas condiciones depende de si los valores son nulos o distintos a cero.

Una vez armado el modelo matemático, las ecuaciones de equilibrio de la estructura constituyen un sistema de ecuaciones algebraicas lineales que se resuelven por el método de Gauss que se usa en este trabajo y que viene explicado en el siguiente capítulo.

De esta forma se obtienen los desplazamientos de cada punto nodal de la estructura.

### 3.8 FUERZAS EXTERNAS DE LAS BARRAS

Una vez obtenidos los desplazamientos de cada punto nodal, y mediante los indicadores de ecuación de cada barra y de cada elemento se forma un vector multiplicado por la matriz de rigidez de la barra en cuestión y sumado a las fuerzas internas actuando sobre esta barra el vector de la suma de los elementos mecánicos correspondientes a esta barra o elemento, se obtiene un vector que contiene las fuerzas externas de la misma barra en la referencia global.

Es decir multiplicando la ecuación ( 3.2.5 ) que es la matriz de rigidez global por la ecuación ( 3.4.3 ) que es el vector de desplazamientos y sumado al vector de cargas , se obtienen las fuerzas externas de la barra en cuestión.

Para establecer el equilibrio de las barras conviene hacerlo en la referencia local . Al multiplicar lo obtenido con el vector de la ecuación ( 3.2.3 ) se pasa al sistema de referencia local

### 3.9 ESFUERZOS EN EL MURO

Los esfuerzos axial, cortante y la torsión se obtienen mediante el cálculo realizado para cada tipo de elemento, al multiplicar los resultados obtenidos de la relación de esfuerzos con las deformaciones generalizados por la ley de Hooke que es la ecuación ( 2.3.9 ), por las ecuaciones de derivación de las funciones de desplazamientos propuestas en las ecuaciones ( 2.2.1 ) y ( 2.2.2 ) por la matriz inversa cuadrada obtenida de las dimensiones del elemento rectángulo de cada tipo representadas en las ecuaciones (2.3.30) para el tipo 1 y (2.3.31) para el tipo 2 , por la matriz del campo de desplazamiento representada por la ecuación ( 2.3.4 ) y por el vector de desplazamientos del elemento en cuestión representado en la ecuación ( 2.3.19 ).

#### 4.- SOLUCION DE LAS ECUACIONES DE EQUILIBRIO.

##### 4.1 ARREGLOS MATRICIALES

Con base en los capítulos anteriores , las ecuaciones de equilibrio de cualquier estructura lineal sometida a cargas estáticas se puede escribir como:

$$\underline{K} \underline{U} = \underline{P} \quad (4.1.1)$$

donde  $\underline{K}$  es la matriz de rigideces de la Estructura,  $\underline{P}$  el vector de cargas correspondiente y  $\underline{U}$  el vector de desplazamientos de la Estructura, que es desconocido. La ecuación 4.1.1 corresponde al modelo matemático asociado al sistema de ecuaciones algebraicas lineales indicadas a continuación :

$$\underline{A} \underline{x} = \underline{b} \quad (4.1.2)$$

donde  $\underline{A}$  es una matriz cuadrada con n renglones y columnas , en tanto que  $\underline{x}$  y  $\underline{b}$  son vectores de n renglones.

Existen varios métodos para resolver la ecuación 4.1.2, los que se pueden agrupar en dos grandes ramas, que son :

- 1.- Métodos Directos.
- 2.- Métodos Iterativos.

De los métodos directos existen los llamados compactos que son los más adecuados para su utilización en computadora.

Estos métodos se basan en la eliminación gaussiana y se apoyan en un teorema del álgebra lineal que establece que :

" Toda matriz  $\underline{A}$  no singular, se puede descomponer en el producto de dos matrices triangulares, una inferior,  $\underline{L}$  , y otra superior,  $\underline{U}$  , como se indica en la ecuación siguiente:

$$\underline{A} = \underline{L} \underline{U} \quad (4.1.4)$$

con la condición de que alguna esté normalizada ."

Si la matriz triangular inferior está normalizada se tiene el método de Gauss ( el cual se usará para la solución de ecuaciones en este trabajo ).

El procedimiento de los métodos compactos consiste en sustituir la ecuación 4.1.4 en la ecuación 4.1.2 y resulta

$$\underline{L} \underline{U} \underline{x} = \underline{b} \quad (4.1.5)$$

Si se hace la siguiente sustitución

$$\underline{U} \underline{x} = \underline{y} \quad (4.1.6)$$

y al sustituir la ecuación 4.1.6 en la ecuación 4.1.5 se obtiene

$$\underline{L} \underline{y} = \underline{b} \quad (4.1.7)$$

Para la solución de un sistema de ecuaciones algebraicas lineales por los métodos compactos, el esquema general que se utiliza se resume a continuación :

- 1.- Obtención de las matrices triangulares  $\underline{L}$  y  $\underline{U}$  , mediante la ecuación 4.1.4 .
- 2.- Obtención del vector auxiliar  $\underline{y}$  . ( Sustitución hacia adelante ), mediante la ecuación 4.1.7 .
- 3.- Obtención del vector incógnita  $\underline{x}$  . ( Sustitución hacia atrás ), mediante la ecuación 4.1.6 .

#### 4.2 METODO DE GAUSS

Este método es general y se emplea para matrices no simétricas . La característica de este método consiste en utilizar la matriz triangular inferior, normalizada.

El desarrollo se indica a continuación.

#### 4.3 OBTENCION DE LAS MATRICES TRIANGULARES.

Al escribir la ecuación 4.1.4 en forma desarrollada se tiene la ecuación 4.3.1

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \dots A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \dots A_{2n} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \dots A_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & A_{n3} \dots A_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \dots 0 \\ L_{21} & 1 & 0 \dots 0 \\ L_{31} & L_{32} & 1 \dots 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ L_{n1} & L_{n2} & L_{n3} \dots 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} & U_{13} \dots U_{1n} \\ 0 & U_{22} & U_{23} \dots U_{2n} \\ 0 & 0 & U_{33} \dots U_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 \dots U_{nn} \end{bmatrix}$$

Al analizar el primer renglón, de A que es igual al producto del primer renglón de L por la matriz U, se tiene

$$A_{1j} = U_{1j} \quad j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4.3.2)$$

Al efectuar el producto de L por la primera columna de U se tiene

$$A_{i1} = L_{i1} \cdot U_{11} \quad i = 2 \dots n \quad (4.3.3)$$

y al despejar  $L_{i1}$  de ec. 4.3.3 se tiene

$$L_{i1} = \frac{A_{i1}}{U_{11}} \quad i = 2 \dots n \quad (4.3.4)$$

Al efectuar el producto del segundo renglón de L por la matriz U, se tiene

$$A_{22} = L_{21} U_{12} + U_{22} \quad (4.3.5)$$

$$A_{23} = L_{21} U_{13} + U_{23} \quad (4.3.6)$$

$$A_{2n} = L_{21} U_{1n} + U_{2n} \quad (4.3.7)$$

y al despejar los elementos de U, correspondiente al segundo renglón, de las ecuaciones 4.3.5 a 4.3.7 se tiene

$$A_{22} = A_{22} - L_{21} U_{12} \quad (4.3.8)$$

$$A_{23} = A_{23} - L_{21} U_{13} \quad (4.3.9)$$

$$A_{2n} = A_{2n} - L_{21} U_{1n} \quad (4.3.10)$$

Al obtener el producto de la matriz L por la segunda columna de U, se tiene

$$A_{32} = L_{32} U_{22} + L_{31} U_{12} \quad (4.3.11)$$

$$A_{42} = L_{42} U_{22} + L_{41} U_{12} \quad (4.3.12)$$

$$A_{n2} = L_{n2} U_{22} + L_{n1} U_{12} \quad (4.3.13)$$

y al despejar los elementos de L , asociados a la segunda columna de las ecuaciones 4.3.11 a 4.3.12 se tiene

$$L_{32} = ( A_{32} - L_{31} U_{12} ) / U_{22} \tag{4.3.14}$$

$$L_{42} = ( A_{42} - L_{41} U_{12} ) / U_{22} \tag{4.3.15}$$

$$\begin{matrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ L_{n2} = ( A_{n2} - L_{n1} U_{12} ) / U_{22} \end{matrix} \tag{4.3.16}$$

Al efectuar el producto del tercer renglón de L por la matriz U se tiene

$$A_{33} = L_{31} U_{13} + L_{32} U_{23} + U_{33} \tag{4.3.17}$$

$$A_{34} = L_{31} U_{14} + L_{32} U_{24} + U_{34} \tag{4.3.18}$$

$$\begin{matrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{3n} = L_{31} U_{1n} + L_{32} U_{2n} + U_{3n} \end{matrix} \tag{4.3.19}$$

que al despejar los elementos de U , correspondientes al tercer renglón, de las ecuaciones 4.3.17 A 4.3.19 se tiene

$$U_{33} = A_{33} - L_{31} U_{13} - L_{32} U_{23} \tag{4.3.20}$$

$$U_{34} = A_{34} - L_{31} U_{14} - L_{32} U_{24} \tag{4.3.21}$$

$$\begin{matrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ U_{3n} = A_{3n} - L_{31} U_{1n} - L_{32} U_{2n} \end{matrix} \tag{4.3.22}$$

Al realizar el producto de la matriz L por la tercera columna de U , se tiene

$$A_{43} = L_{41} U_{13} + L_{42} U_{23} + L_{43} U_{33} \tag{4.3.23}$$

$$\begin{matrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{n3} = L_{n1} U_{13} + L_{n2} U_{23} + L_{n3} U_{33} \end{matrix} \tag{4.3.24}$$

que al despejar los elementos de L , asociados a la tercera columna, de las ecuaciones 4.3.23 y 4.3.24, se tiene

$$L_{43} = ( A_{43} - L_{41} U_{13} - L_{42} U_{23} ) / U_{33} \tag{4.3.25}$$

$$\begin{matrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ L_{n3} = ( A_{n3} - L_{n1} U_{13} - L_{n2} U_{23} ) / U_{33} \end{matrix} \tag{4.3.26}$$

con base en lo hecho anterioremente , se pueden generalizar las expresiones del proceso de triangulación del método de Gauss y el resumen del algoritmo se indica a continuación :

$$U_{ij} = A_{ij} \quad \begin{matrix} i=1 \\ j= 1,2,3,\dots,n \end{matrix} \quad (4.3.27)$$

$$L_{i1} = \frac{A_{i1}}{U_{11}} \quad i=2,\dots,n \quad (4.3.28)$$

$$U_{ij} = A_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} L_{ik} U_{kj} \quad \begin{matrix} i=2,\dots,n \\ j=1,\dots,n \end{matrix} \quad (4.3.29)$$

$$L_{ij} = (A_{ij} - \sum_{k=1}^{j-1} L_{ik} U_{kj}) / U_{jj} \quad \begin{matrix} i=j+1,\dots,n \\ j=2,\dots,n \end{matrix} \quad (4.3.30)$$

Sustitución hacia adelante

Al expresar en forma explícita la ecuación 4.1.7 se tiene

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ L_{21} & 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ L_{31} & L_{32} & 1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ L_{n1} & L_{n2} & L_{n3} & 0 & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \vdots \\ b_n \end{bmatrix} \quad (4.3.31)$$

Al efectuar el producto de la matriz L por el vector y se obtienen las siguientes expresiones :

$$y_1 = b_1 \quad (4.3.32)$$

$$L_{21} y_1 + y_2 = b_2 \quad (4.3.33)$$

$$L_{31} y_1 + L_{32} y_2 + y_3 = b_3 \quad (4.3.34)$$

$$L_{41} y_1 + L_{42} y_2 + L_{43} y_3 + y_4 = b_4 \quad (4.3.35)$$

$$\begin{matrix} \vdots \\ L_{n1} y_1 + L_{n2} y_2 + L_{n3} y_3 + y_n = b_n \end{matrix} \quad (4.3.36)$$

y al despejar los valores desconocidos de  $\underline{y}$  a partir del primer valor,  $y_1$ , se obtienen las expresiones siguientes :

$$y_1 = b_1 \quad (4.3.37)$$

$$y_2 = b_2 - L_{21} y_1 \quad (4.3.38)$$

$$y_3 = b_3 - L_{31} y_1 - L_{32} y_2 \quad (4.3.39)$$

$$y_4 = b_4 - L_{41} y_1 - L_{42} y_2 - L_{43} y_3 \quad (4.3.40)$$

⋮

$$y_n = b_n - L_{n1} y_1 - L_{n2} y_2 - L_{n3} y_3 \quad (4.3.41)$$

con base en las ecuaciones 4.3.37 a 4.3.41 se puede resumir el algoritmo de sustitución hacia adelante, indicados a continuación

$$y_1 = b_1 \quad (4.3.42)$$

$$y_i = b_i - \sum_{k=1}^{i-1} L_{ik} y_k \quad i=2\dots n \quad (4.3.43)$$

### Sustitución hacia atrás

Al expresar en forma explícita la ecuación 4.1.6 se tiene

$$\begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} & U_{13} & U_{14} & \dots & U_{1n} \\ 0 & U_{22} & U_{23} & U_{24} & \dots & U_{2n} \\ 0 & 0 & U_{33} & U_{34} & \dots & U_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & U_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad (4.3.44)$$

Al desarrollar el producto de la matriz  $\underline{U}$  por el vector  $\underline{x}$  y ordenar las ecuaciones de atrás hacia adelante se obtienen las siguientes expresiones :

$$U_{nn}x_n = Y_n \quad (4.3.45)$$

⋮

$$U_{44}x_4 + U_{4n}x_n = Y_4 \quad (4.3.46)$$

$$U_{33}X_3 + U_{34} X_4 + U_{3n} X_n = Y_3 \quad (4.3.47)$$

$$U_{22}X_2 + U_{23} X_3 + U_{24} X_4 + U_{2n} X_n = Y_2 \quad (4.3.48)$$

$$U_{11}X_1 + U_{12} X_2 + U_{13} X_3 + U_{14} X_4 + U_{1n} X_n = y_1 \quad (4.3.49)$$

y al despejar los valores desconocidos de  $x$  a partir del último valor,  $X_n$ , se obtienen las siguientes expresiones:

$$X_n = Y_n / U_{nn} \quad (4.3.50)$$

⋮

$$X_4 = (Y_4 - U_{4n} X_n) / U_{44} \quad (4.3.51)$$

$$X_3 = (Y_3 - U_{3n} X_n - U_{34} X_4) / U_{33} \quad (4.3.52)$$

$$X_2 = (Y_2 - U_{2n} X_n - U_{24} X_4 - U_{23} X_3) / U_{22} \quad (4.3.53)$$

$$X_1 = (Y_1 - U_{1n} X_n - U_{14} X_4 - U_{13} X_3 - U_{12} X_2) / U_{11} \quad (4.3.54)$$

Con base en las ecuaciones 4.3.50 a 4.3.54 se puede obtener el siguiente resumen del algoritmo de sustitución hacia adelante.

$$X_n = Y_n / U_{nn} \quad (4.3.55)$$

$$X_i = (Y_i - \sum_{k=i+1}^n U_{ik} X_k) / U_{ii} \quad i = n-1, \dots, 1 \quad (4.3.56)$$

#### 4.4 ARREGLOS CUADRADOS, EN BANDA Y UNIDIMENSIONALES

Los coeficientes de la matriz de rigideces, en principio dan lugar a arreglos cuadrados bimidimensionales, pero éstos coeficientes se pueden almacenar en otros arreglos con lo que se logra eficiencia tanto en el uso de la capacidad del procesador central como en el número de operaciones asociadas a los algoritmos correspondientes a los métodos de solución.

##### 4.4.1 ARREGLOS CUADRADOS

El almacenamiento de la matriz K es un arreglo cuadrado, es decir de N renglones por N columnas.

Debido a que dichos métodos son generales, no resultan ser los más eficientes para la Estructura.

Existe desperdicio de la capacidad del procesador central y muchas operaciones con ceros que también se pueden evitar y por lo tanto también existe desperdicio de tiempo de máquina.

La figura ( 4.4.1.a ) muestra lo explicado.

#### 4.4.2 ARREGLOS EN BANDA.

Los coeficientes normales de la matriz  $K$  se encuentran alojados a lo largo de una franja paralela a la diagonal principal , limitado por el control de banda. La franja limitada por el contorno de banda se puede almacenar en un arreglo rectangular con el número de columna igual al ancho de banda.

Se obtiene de ésta forma una nueva localidad para cada elemento en donde el renglón  $i$  no se modifica y la columna  $j$  se cambia.

Se puede decir que los arreglos en banda conducen a un ahorro significativo de memoria en el procesador central, pero aún existe desperdicio de memoria rápida y también pueden conducir a operaciones innecesarias. La figura (4.4.2.a) muestra lo explicado

#### 4.4.3 ARREGLOS UNIDIMENSIONALES

Es posible almacenar la matriz  $K$  en un arreglo unidimensional compacto, con las siguientes características :

Se define un contorno de silueta que se forma a partir del primer elemento de ceros de cada columna que define los coeficientes que se van a guardar en un arreglo unidimensional.

Además , se forma un vector con las localidades que ocupan los elementos de la diagonal principal.

En este arreglo, no hay localidades desperdiciadas. Puesto que en el contorno de silueta se eliminan ceros que reflejan operaciones no realizadas , se puede afirmar que estos arreglos conducen a ahorros en el tiempo de procesamiento.

Como conclusión éste método es más eficiente de los dos anteriores. La figura ( 4.4.3.a ) muestra lo explicado.

## 5.- CARACTERISTICAS DEL PROGRAMA

El Sistema de Muro-Marco ha sido diseñado para ser utilizado en computadoras HP-1000 y con algunos tipos de terminales e impresoras .

Se necesita una configuración mínima de 512K RAM ( Random Access Memory ) en la unidad central de proceso, una terminal de video y teclado y una impresora de 132 columnas .

En general , la efectividad en el uso del Sistema tiene dos aspectos muy importantes : Un conocimiento exacto de sus funciones y la organización metódica de toda la información que utiliza y produce .

De esta manera se asegura que los datos pueden alimentarse al sistema rápida y eficientemente , y que la información que produce es exacta y confiable .

### 5.1 ORGANIZACION DEL PROGRAMA

De acuerdo a la figura ( 5.a ) que presenta la organización del programa, éste último se efectúa a través de 16 subrutinas básicas que se detallan a continuación:

Capt : Trata sobre la captura de los datos iniciales, hace llamada a todas las subrutinas de captura como son los de las coordenadas de los puntos nodales, las propiedades geométricas de las secciones transversales, los datos de cada barra, el tipo de material que constituye cada barra, las condiciones frontera de los puntos nodales y los datos de cada elemento muro, sus puntos nodales , tipo de elemento, material que lo constituye.

**Rigbar:** Efectúa la preparación de las matrices de rigideces de las barras.

Renúmera las condiciones frontera diferentes de cero en forma secuencial para conocer el número de renglones y columnas que constituyen la matriz de la estructura y los vectores de carga.

Calcula la matriz de rigidez local de cada barra del marco, así como la global.

**Rigmur:** Efectúa la preparación de las matrices de rigideces de los muros.

Calcula la matriz inversa [A] de los elementos tipo 1 y 2 así como el cálculo de la matriz S.

Calcula la matriz de rigidez del elemento tipo 1 y 2 en el sistema local así como en el global.

**Ensmar:** Realiza el ensamble de las matrices de rigideces de las barras en el sistema global de referencia.

**Ensmur:** Ensambla las matrices de los elementos del muro en la referencia local con el ensamble de las matrices de rigideces del marco.

**Tgauss:** Realiza la triangulación de la matriz de la estructura ya ensamblada.

**Cargas:** Captura el número de barras y nodos cargados en la Estructura.

**Carnud:** Lee las cargas de los nodos cargados y calcula sus elementos mecánicos.

**Carbar:** Lee las cargas intermedias de las barras cargadas y calcula sus elementos mecánicos, dependiendo del tipo de fuerzas que pueden ser, lineal continua o discontinua no lineal continua o discontinua, par concentrado y fuerza concentrada.

Además de cambiar estas fuerzas de fijación del sistema local al global.

**Ensfzn:** Realiza el ensamble de los elementos mecánicos de los nodos cargados.

**Fzacul:** Calcula las fuerzas externas de cuerpo del elemento 1

**Fzacu2:** Calcula las fuerzas externas de cuerpo del elemento 2

**Ensfzb:** Realiza el ensamble de los elementos mecánicos de las barras cargadas con los de los nodos cargados.

**Sgauss:** Realiza la sustitución hacia adelante y hacia atrás de la matriz de la estructura, encontrando los desplazamientos de cada nodo.

**Calfza:** Calcula las fuerzas internas de las barras en el sistema local y en el sistema global.

**Esfmur:** Calcula los esfuerzos del muro, usando la relación de los esfuerzos - deformaciones por la ley generalizada de Hooke y la matriz del campo de desplazamientos de los esfuerzos.

## 5.2 CAPACIDADES

El número de puntos nodales, barras del marco y número de elementos del muro depende de la capacidad del disco duro que está conectado a la computadora y el tamaño de la memoria. En el caso de la minicomputadora para la cual se desarrolla el trabajo, tiene capacidad para manejar una combinación de siete mil nodos entre barras y elementos para formar una matriz cuadrada de 21000 x 21000 aproximadamente, trabajando a una velocidad de tres millones de operaciones por segundo.

El trabajo está estructurado y desarrollado de tal forma que es fácil trasladarlo a microcomputadoras. La diferencia es en la capacidad como en la velocidad de proceso, ya que la capacidad es menor y el tiempo de respuesta es mayor.

## 5.3 FORMAS PARA CAPTURA DE INFORMACION

Al final del trabajo, se anexan las formas para captura de información que sirven para una mejor organización del proceso administrativo.

El objetivo de estas formas es el de agilizar el proceso de captura y el de llevar un control riguroso sobre el mismo, esto es, tener un documento que registre la información que se capturó en el Sistema de Muro-Marco, así como informar sobre datos incorrectos que se hayan tratado de capturar.

El Sistema de Muro-Marco contiene programas "guiados" por Menus. Un Menu es simplemente una lista de actividades que la computadora puede desempeñar en cualquier paso. El usuario opera los programas efectuando selecciones en sus Menus.

## 5.4 INSTRUCTIVO DEL PROGRAMA.

### 1.- Datos generales:

### Notas

Espesor del muro	: .....	(1)
# de elementos del muro	: .....	(2)
# de nodos	: .....	(3)
# de nodos cargados	: .....	(4)
# de barras	: .....	(5)
# de barras cargadas	: .....	(6)
# de condiciones de carga	: .....	(7)
# de tipos de materiales	: .....	(8)
# de secciones transversales	: .....	(9)
Angulo de cargas de cuerpo	: .....	(10)
Peso volumetrico	: .....	(11)
Módulo de elasticidad	: .....	(12)
Relación de Poisson (Marco)	: .....	
Relación de Poisson (Muro )	: .....	

### Notas:

- 1.- Este valor no puede ser nulo. La unidad utilizada es el metro.
- 2.- El número de elementos finitos queda definido al número en forma secuencial , los elementos en que se dividió la geometría de la estructura plana. Este valor no puede ser nulo.
- 3.- El conjunto de puntos nodales en que se idealiza la estructura plana , que permite definir a los elementos finitos y a las barras del marco define el número de puntos nodales. Este valor no puede ser nulo.
- 4.- Define el número de nodos cargados de la Estructura .

- 5.- Define el número de barras que forman la parte del marco de la estructura muro-marco.
- 6.- Define el número de barras cargadas de la Estructura
- 7.- La Estructura puede estar sometida a una o más condiciones de carga. Cada condición de carga puede estar formada por cargas debidas al peso propio , por concentraciones en los puntos nodales o combinaciones de ambos
- 8.- A cada elemento finito y a cada barra se corresponde uno y puede utilizarse para uno o varios elementos. El conjunto de materiales que permite construir a la estructura plana define una tabla cuyo número de elementos es el que se graba.
- 9.- La división de la geometría plana se puede llevar a cabo mediante elementos finitos rectangulares y la de la barra de diferentes formas como se indica más adelante.
- 10.-Viene definido en grados centígrados.
- 11.-Se relaciona con los elementos del Muro y la unidad utilizada es ton/m3
- 12.-La unidad del módulo de elasticidad o de Young utilizada es la ton/m2

2.-CAPTURA DE COORDENADAS DE LOS PUNTOS NODALES:

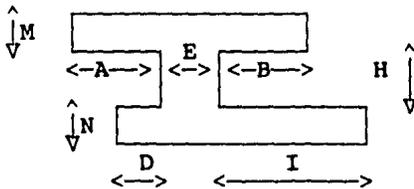
<u># del punto nodal</u>	<u>X</u>	<u>Y</u>
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
...	...	...
Notas: (1)	(2)	(3)

Notas

- 1.- Se deben definir las coordenadas para todos los puntos nodales que definen la estructura.
- 2.- Es la abscisa del punto nodal que está asociada a un sistema de referencia cartesiano cuya selección es arbitraria . La unidad utilizada es el metro.
- 2.- Es la ordenada del punto nodal que está asociada a un sistema de referencia cartesiano cuya selección es arbitraria . La unidad utilizada es el metro.

3.- TIPO Y DIMENSIONES DE LA SECCION TRANSVERSAL.

TIPO SECCION :



- 1.- I
- 2.- T
- 3.- CANAL
- 4.- Z
- 5.- RECTANGULAR
- 6.- U

<u>TIPO</u>	<u>M</u>	<u>H</u>	<u>A</u>	<u>E</u>	<u>B</u>	<u>N</u>	<u>D</u>	<u>I</u>
..	...	...	...	...	...	...	...	...
..	...	...	...	...	...	...	...	...
..	...	...	...	...	...	...	...	...

Esta figura es una forma general que puede tomar los siguientes casos particulares como son :

- I.- Se capturan todos los campos señalados
- T.- Se capturan los campos M A E B H
- Canal.- Se capturan los campos E B H I N
- Z.- Se capturan los campos M A E N I H
- Rectangular.- Se capturan los campos M A
- U.- Se capturan los campos M E B H N I
- H.- Se capturan todos los campos señalados

4.- DATOS DE LAS BARRAS

<u># de la barra</u>	<u># tipo de seccion</u>	<u>Tipo material</u>	<u>Nodo I</u>	<u>Nodo J</u>
....	....	....	...	...
....	....	....	...	...
....	....	....	...	...
....	....	....	...	...

Cada barra puede tener igual o diferente tipo de sección constante, igual para los tipos de materiales.

5.- TIPOS DE MATERIALES

<u># TIPO DEL MATERIAL</u>	<u>MODULO DE ELASTICIDAD</u>	<u>RELACION DE POISSON</u>
...	.....	.....
...	.....	.....
...	.....	.....
...	.....	.....
...	.....	.....

Cada tipo de material tendrá su propio módulo de elasticidad así como su propia relación de poisson ; En ésta tabla se clasifican todos los tipos necesarios para la estructura.

6.- CONDICIONES DE FRONTERA DE LOS PUNTOS NODALES.

<u># del punto nodal</u>	<u>Factor de frontera</u>		
	<u>X</u>	<u>Y</u>	<u>@</u>
....	...	...	...
....	...	...	...
....	...	...	...
....	...	...	...
Notas	(1)	(2)	(3)

Notas:

Las condiciones de frontera de la estructura en cuestión quedan definidas al especificar los valores conocidos de uno o más componentes de desplazamiento de algunos puntos nodales. El total de puntos nodales que tengan al menos, un componente no nulo define el número de nudos con desplazamientos.

- 1.- Diferente de Cero implica un desplazamiento .
- 2.- Diferente de Cero implica un desplazamiento.
- 3.- Diferente de Cero implica un giro .

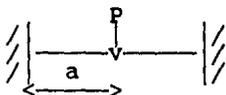
7.- CAPTURA DE FUERZAS SOBRE LOS NODOS.

# del nodo cargado	Fuerzas ( Ton )		
	X	Y	θ
....	.....	.....	.....
....	.....	.....	.....
....	.....	.....	.....

8.- CAPTURA DE FUERZAS INTERMEDIAS

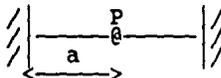
# de barra cargada	Tipo de fuerza	TIPOS DE FUERZAS
...	.	1.- Fuerza Concentrada
...	.	2.- Par Concentrado
...	.	3.- Carga Uniforme continua
...	.	4.- Carga Lineal continua
...	.	5.- Carga Uniforme discontinua
...	.	6.- Carga Lineal discontinua

Si tipo 1



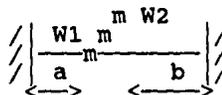
P(Ton)	a(m)
.....	.....
.....	.....

Si tipo 2



P(Ton)	a(m)
.....	.....
.....	.....

>= tipo 3



W1(T)	W2(T)	a(m)	b(m)
.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....

LISTA DE ARCHIVOS USADOS.

<u>NOMBRE</u>	<u>CONTENIDO</u>
CORDEN	: # del punto nodal. Coordenada en x del punto nodal. Coordenada en y del punto nodal.
PROPIE	: # del tipo de la sección transversal. Area de la sección transversal. Momento de inercia de la sección transversal. Factor de forma de la sección transversal.
FRONTE	: # del punto nodal. Condición de frontera en x . Condición de frontera en y . Condición de frontera al giro.
MATEST	: Matriz en el sistema global de la barra. Indicadores de ecuación de la barra. Longitud de la barra. Factor de cortante de la barra.
DATOA	: # de la barra. Nodo I de la barra. Nodo J de la barra. # de la sección transversal de la barra. Tipo del material de la barra.
CARGNU	: # del nodo cargado. Fuerza axial sobre el nodo cargado. Fuerza cortante sobre el nodo cargado. Giro sobre el nodo cargado. Condición de frontera en x del nodo. Condición de frontera en y del nodo. Condición de frontera al giro del nodo.
TIMATE	: # del tipo de material. Módulo de Elasticidad. Relación de Poisson. Factor de Forma.
BARCAR	: # de la barra cargada. Elementos mecánicos del nodo I en el sistema local. Elementos mecánicos del nodo J en el sistema local. Elementos mecánicos del nodo I en el sistema global. Elementos mecánicos del nodo J en el sistema global. Indicadores de ecuación de la barra.

COSENO : # de la barra.  
Senó del ángulo que forma la barra con los ejes  
de referencia.  
Coseno del ángulo que forma la barra con los ejes  
de referencia.

ELEMUR : # del elemento del muro.  
Nodo I.  
Nodo J.  
Nodo K.  
Nodo L.  
Tipo del material.  
Tipo del elemento.  
Ancho del elemento.  
Largo del elemento.

DISTRIBUCION DE LAS SUBROUTINAS

CAPT	[ COORD PROP TIPMAT FRONT DATBAR CAPELE	PANT  SECC			
RIGBAR	[ RENUM PREMAT	[ RIGIDL RIGIDG			
RIGMUR	[ PREMA1	[ RIGI1G  RIGI2G	[ COSDI1 TRANSP RIGI1L MULT	- [ AINV1 TRANSP RIGID MULT	
			[ COSDI1 TRANSP RIGI2L MULT	- [ AINV2 TRANSP RIGID MULT	
ENSMAR	[ CEROS				
ENSMUR					
TGAUSS					
CARGAS					
CARNUD					

CARBAR [ PANT1  
FZAFI1—PANT3  
FZAFI2—PANT2  
FZAFI3—PANT4  
CARLIN  
PARCON  
FZFILG

ENSFZN

FZACU1 [ TRANSP  
CAPFZA

FZACU2 [ TRANSP  
CAPFZA

ENSFZB

SGAUSS

CALFZA [ FZFID

ESFMUR [ HOOK  
VECB  
AINV1  
AINV2

Fig. ( 5.a )

6.- PROGRAMA DE COMPUTADORA

```
FTN7X
$SEMA (MAT,0)
$FILES (0,9)
PROGRAM MURMAR
IMPLICIT NONE

REAL*8 MD(1500), FZABAR(6), ESPES, ANG, GAMA, NU, E, F1(12), F, MATEST,
* MATA(12,12), FCUER(12)
INTEGER N1, N2, N3, N4, N5, N6, N7, N8, N9, N10, I, J, V, W, IK, SINO, NUMELE,
* NBARR, NP, MATIP, SECTRA, NODMAX, MEMORI, NODCAR, BARCAR, CONCAR,
* P6(6), TIPELE, NUDOS(10), IE(12), ARCH(3)
COMMON /MAT/MATEST(1500,1500), F(1500)

MEMORI=1000
CALL EN CAB
WRITE(1, '( /20X, "CAPTURA DE DATOS INICIALES" )' )
10 CALL GTRC(10,1)
WRITE(1, '( " CUANTAS BARRAS SON : _" )' )
READ(1, '( I2 )' ) NBARR
20 CALL GTRC(11,1)
WRITE(1, '( " CUANTOS PUNTOS NODALES SON : _" )' )
READ(1, '( I2 )' ) NP
30 CALL GTRC(12,1)
WRITE(1, '( " CUANTAS CONDICIONES DE CARGA SON : _" )' )
READ(1, '( I2 )' ) CONCAR
40 CALL GTRC(13,1)
WRITE(1, '( " CUANTOS TIPOS DE MATERIALES SON : _" )' )
READ(1, '( I2 )' ) MATIP
50 CALL GTRC(14,1)
WRITE(1, '( " CUANTAS SECCIONES TRANSVERSALES SON : _" )' )
READ(1, '( I2 )' ) SECTRA
N1=1
N2=N1+NP
N3=N2+NP
N4=N3+3*MATIP
N5=N4+NBARR
N6=N5+NBARR
N7=N6+SECTRA
N8=N7+NBARR
N9=N8+NBARR
N10=N9+3*NP
CALL SALE(MEMORI, N10)
CALL EN CAB
WRITE(1, '( "INGRESA EL ESPESOR DEL MURO: _" )' )
READ(1, '( F10.2 )' ) ESPES
WRITE(1, '( "EXISTEN FUERZAS DE CUERPO (SI/NO) : _" )' )
READ(1, '( A2 )' ) SINO
WRITE(1, '( "INGRESA EL ANGULO DE CARGAS DE CUERPO: _" )' )
READ(1, '( F10.2 )' ) ANG
ANG=ANG*3.141592654/180.00
51 WRITE(1, '( "INGRESA EL # DE ELEMENTOS DEL MURO : _" )' )
READ(1, '( I3 )' ) NUMELE
WRITE(1, '( "INGRESA EL PESO VOLUMETRICO : _" )' )
READ(1, '( F10.2 )' ) GAMA
WRITE(1, '( "INGRESA EL MODULO DE ELASTICIDAD : _" )' )
READ(1, '( F10.2 )' ) E
WRITE(1, '( "INGRESA LA RELACION DE POISSON: _" )' )
READ(1, '( F10.2 )' ) NU
CALL CAPT(MD(N1), MD(N2), MD(N3), MD(N4), MD(N5), MD(N6), MD(N7), MD(N8),
* NBARR, NP, MATIP, SECTRA, NODMAX, MD(N9), NUMELE)
CALL RIGBAR(MD(N1), MD(N2), MD(N3), MD(N4), MD(N5), MD(N6), MD(N7),
* MD(N8), NBARR, NP, MATIP, SECTRA, NODMAX, MD(N9))
```

ARCH(1)=2HFR \$ ARCH(2)=2HON \$ ARCH(3)=2HTE \$ CALL ABRN(72,ARCH)  
ARCH(1)=2HEL \$ ARCH(2)=2HEM \$ ARCH(3)=2HUR \$ CALL ABRN1(90,ARCH)  
ARCH(1)=2HMA \$ ARCH(2)=2HTM \$ ARCH(3)=2HUR \$ CALL ABRN1(91,ARCH)

CALL RIGMUR(NUMELE, GAMA, E, NU, ANG, ESPES)  
ARCH(1)=2HCA \$ ARCH(2)=2HRG \$ ARCH(3)=2HNU \$ CALL ABRN(75,ARCH)  
CALL CARGAS(NODCAR, BARCAR)  
CALL CARNUD(NODCAR, NUDOS)  
ARCH(1)=2HMA \$ ARCH(2)=2HTE \$ ARCH(3)=2HST \$ CALL ABRN1(73,ARCH)  
ARCH(1)=2HBA \$ ARCH(2)=2HRC \$ ARCH(3)=2HAR \$ CALL ABRN(77,ARCH)  
ARCH(1)=2HCO \$ ARCH(2)=2HSE \$ ARCH(3)=2HNO \$ CALL ABRN(80,ARCH)  
CALL CARBAR(BARCAR)  
ARCH(1)=2HCO \$ ARCH(2)=2HED \$ ARCH(3)=2HEN \$ CALL ABRN(70,ARCH)  
ARCH(1)=2HMA \$ ARCH(2)=2HTE \$ ARCH(3)=2HST \$ CALL ABRN1(73,ARCH)

CALL ENSMAR(NBARR, NODMAX)  
CALL ENSMUR(NUMELE, NODMAX)  
CALL TGAUSS(NODMAX)  
CALL ENSFZN(NODCAR, NODMAX, NUDOS)  
CALL ENSFZB(BARCAR, NODMAX)  
IF(SINC.EQ.2HSI) THEN  
  ANG=270.00\*3.141592654/180.00  
  DO I=1, NUMELE  
    READ(90, REC=I) P6, TIPELE  
    DO J=1, 12  
      F1(J)=0.00  
    END DO  
    IF(TIPELE.EQ.1) THEN  
      CALL FZACU1(I, ESPES, GAMA, ANG, F1)  
    ELSE  
      CALL FZACU2(I, ESPES, GAMA, ANG, F1)  
    ENDIF  
    READ(91, REC=I) MATA, IE  
    DO 100 J=1, 12  
      IK=IE(J)  
      IF(IK.LE.0) GOTO 100  
      F(IK)=F(IK)+F1(J)  
  CONTINUE  
END DO  
ENDIF  
CALL SGAUSS(NODMAX)  
CALL CALFZA(NBARR, NODMAX, FZABAR)  
CALL ESFMUR(NUMELE, NODMAX, E, NU)  
END

100

```
* SUBROUTINE CAPT(X,Y,MATTIP,NODOI,NODOJ,NUMSEC,NUMCAR,MATFRO,  
NBARR, NP, MATIP, SECTRA, NODMAX, MATERT, NUMELE)
```

```
IMPLICIT NONE  
* INTEGER NBARR, NP, MATIP, SECTRA, NODMAX, MATFRO(3, NP), NODOJ(NBARR),  
* NODOI(NBARR), NUMSEC(SECTRA), NUMCAR(NBARR), MATERT(NBARR),  
* NUMELE  
REAL*8 X(NP), Y(NP), MATTIP(3, MATIP)
```

```
CALL COORD(X, Y, NP)  
CALL PROP(SECTRA, NUMSEC)  
CALL TIPMAT(MATIP, MATTIP)  
CALL FRONT(MATFRO, NP)  
CALL DATBAR(NBARR, NODOI, NODOJ, NUMSEC, NUMCAR, SECTRA, MATERT)  
CALL CAPELE(NUMELE)  
RETURN  
END
```

```
* SUBROUTINE RIGBAR(X, Y, MATTIP, NODOI, NODOJ, NUMSEC, NUMCAR, MATFRO,  
NBARR, NP, MATIP, SECTRA, NODMAX, MATERT)
```

```
IMPLICIT NONE  
* INTEGER NBARR, NP, MATIP, SECTRA, NODMAX, MATFRO(3, NP), I,  
* N, J, IE(6), NODOJ(NBARR), NODOI(NBARR), NUMSEC(SECTRA),  
* NUMCAR(NBARR), MATERT(NBARR), NUMELE  
* REAL*8 XJ1, YJ1, X(NP), Y(NP), XL, S, C, MODELA, AREA, LONG, FI, MI,  
* MATRIL(6, 6), MATRIG(6, 6), MATTIP(3, MATIP), G  
* INTEGER ARCH(3), BUF74(5), ISTAT  
REAL*8 BUF71(4), BUF76(4)
```

```
ARCH(1)=2HMA $ ARCH(2)=2HTE $ ARCH(3)=2HST $ CALL ABRN1(73, ARCH)  
CALL RENUM(MATFRO, NP, NODMAX)  
ARCH(1)=2HCO $ ARCH(2)=2HSE $ ARCH(3)=2HNO $ CALL ABRN(80, ARCH)
```

```
DO I=1, NBARR  
CALL LEE1(74, BUF74, 5, I)  
CALL LEE(71, BUF71, 4, BUF74(4))  
AREA=BUF71(2) $ MI=BUF71(3) $ FI=BUF71(4)  
CALL LEE(76, BUF76, 4, BUF74(5))  
MODELA=BUF76(2) $ G=BUF76(4)  
CALL PREMAT(I, SECTRA, MATFRO, NP, NODMAX, MODELA, AREA,  
FI, MI, MATRIG, X, NODOJ, Y, NODOI, IE, G)
```

```
99 * END DO  
RETURN  
END
```

```
SUBROUTINE COORD(X, Y, NP)  
IMPLICIT NONE  
* INTEGER NP  
* REAL*8 X(NP), Y(NP)  
* INTEGER ARCH(3), I  
* REAL*8 BUF70(3)
```

```
CALL ENCB  
WRITE(1, '(//, 20X, "CAPTURA DE COORDENADAS"//)')  
ARCH(1)=2HCO $ ARCH(2)=2HRD $ ARCH(3)=2HEN $ CALL ABRN(70, ARCH)  
DO I=1, NP  
WRITE(1, '(2X, "INGRESA X(", I2, " ) m =_")') I  
READ(1, '(F5.2)') X(I)  
WRITE(1, '(2X, "INGRESA Y(", I2, " ) m =_")') I  
READ(1, '(F5.2)') Y(I)  
END DO
```

```
DO I=1,NP
  BUF70(1)=I $ BUF70(2)=X(I) $ BUF70(3)=Y(I)
  CALL ESC(70, BUF70, 3, I)
END DO
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE PROP(SECTRA, NUMSEC)
IMPLICIT NONE
INTEGER SECTRA, NUMSEC (SECTRA)
REAL*8 A, E, B, M, H, N, D, I, FI, O, R, P, S, L, G, Y
INTEGER ARCH(3), K
REAL*8 BUF71(4)
```

```
ARCH(1)=2HPR $ ARCH(2)=2HOP $ ARCH(3)=2HIE $ CALL ABRN(71, ARCH)
DO K=1, SECTRA
```

```
  CALL PANT
  CALL GTRC(15, 2) $ WRITE(1, ('INGRESA EL VALOR DE A (m) : _'))
  READ(1, '(F5.2)) A
  CALL GTRC(16, 2) $ WRITE(1, ('INGRESA EL VALOR DE E (m) : _'))
  READ(1, '(F5.2)) E
  CALL GTRC(17, 2) $ WRITE(1, ('INGRESA EL VALOR DE B (m) : _'))
  READ(1, '(F5.2)) B
  CALL GTRC(18, 2) $ WRITE(1, ('INGRESA EL VALOR DE M (m) : _'))
  READ(1, '(F5.2)) M
  CALL GTRC(19, 2) $ WRITE(1, ('INGRESA EL VALOR DE H (m) : _'))
  READ(1, '(F5.2)) H
  CALL GTRC(20, 2) $ WRITE(1, ('INGRESA EL VALOR DE N (m) : _'))
  READ(1, '(F5.2)) N
  CALL GTRC(21, 2) $ WRITE(1, ('INGRESA EL VALOR DE D (m) : _'))
  READ(1, '(F5.2)) D
  CALL GTRC(22, 2) $ WRITE(1, ('INGRESA EL VALOR DE I (m) : _'))
  READ(1, '(F5.2)) I
```

```
R=M+N+H
P=A+E+B
O=D+E+I
```

```
A=(O*N)+(E*H)+(P*M)
Y=(0.5*(N**2)*O+(E*H)*(N+0.5*H)+(P*M)*(N+H+0.5*M))/A
I=(1./12.)*(O*N**3+E*H**3+P*M**3)+(O*N)*((Y-0.5*N)**2)
* +(E*H)*((Y-N-0.5*H)**2)+(P*M)*((Y-N-H-0.5*M)**2)
```

```
R=R-Y
S=R-M
```

```
L=P/2.*R**2
```

```
M=P/2.*(2.*R*M-M**2)+E/2.*(R-M)**2
```

```
FI=2.*A/I**2*(L**2*M-L*P/3.*R**3+L*P/3.*S**3+P**2/20.*R**5-P*
* **2/20.*S**5)/P+2*A/I**2*(M**2*S-M*E/3.*S**3+E**2/20.*S**5)/E
```

```
BUF71(1)=NUMSEC(K)
BUF71(2)=A
BUF71(3)=I
BUF71(4)=FI
CALL ESC(71, BUF71, 4, NUMSEC(K))
```

```
END DO
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE DATBAR(NBARR, NODOI, NODOJ, NUMSEC, NUMCAR, SECTRA, MATERT)
IMPLICIT NONE
INTEGER NBARR, SECTRA, NODOI (NBARR), NODOJ (NBARR), NUMSEC (SECTRA),
* NUMCAR (NBARR), MATERT (NBARR)
INTEGER I, J, ARCH(3), BUF74(5)
```

```
ARCH(1)=2HDA $ ARCH(2)=2HTO $ ARCH(3)=2HBA $ CALL ABRN(74,ARCH)
CALL EN CAB
WRITE(1,'(/,20X,"CAP TURA DE DATOS DE BARRAS",//)')
```

```
DO I=1,NBARR
  CALL GTRC(7,1)
  WRITE(1,'{"'')
  DO J=1,5
    BUF74(J)=2H
  END DO
  WRITE(1,'("INGRESA EL NODO I DE LA BARRA (" ,I2," ) :_)')I
  READ(1,'(I2)')NODOI(I)
  WRITE(1,'("INGRESA EL NODO J DE LA BARRA (" ,I2," ) :_)')I
  READ(1,'(I2)')NODOJ(I)
  CALL SECC
  WRITE(1,'("INGRESA EL # DE SECCION (TIPO) :_)')
  READ(1,'(I1)')NUMSEC(I)
  WRITE(1,'("INGRESA EL TIPO DE MATERIAL :_)')
  READ(1,'(I2)')MATERT(I)
END DO
```

10

```
DO I=1,NBARR
  BUF74(1)=I
  BUF74(2)=NODOI(I)
  BUF74(3)=NODOJ(I)
  BUF74(4)=NUMSEC(I)
  BUF74(5)=MATERT(I)
  CALL ESC1(74,BUF74,5,I)
END DO
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE TIPMAT(MATIP,MATTIP)
IMPLICIT NONE
INTEGER MATIP
REAL*8 MATTIP(3,MATIP)
INTEGER ARCH(3),I
REAL*8 BUF76(4)
```

```
CALL EN CAB
ARCH(1)=2HTI $ ARCH(2)=2HMA $ ARCH(3)=2HTE $ CALL ABRN(76,ARCH)
```

```
DO I=1,MATIP
  CALL GTRC(10,1)
  WRITE(1,'{"'')
  WRITE(1,'("INGRESA EL MODULO DE ELASTICIDAD DE LA BARRA ("I2
  * " (KG/CM) :_)')I
  READ(1,'(F10.2)')MATTIP(1,MATIP)
  WRITE(1,'("INGRESA EL NU DE LA BARRA ("I2"):_)')I
  READ(1,'(F10.2)')MATTIP(2,MATIP)
  MATTIP(3,MATIP)=MATTIP(1,MATIP)/(2*(1+MATTIP(2,MATIP)))
END DO
```

```
DO I=1,MATIP
  BUF76(1)=I
  BUF76(2)=MATTIP(1,MATIP)
  BUF76(3)=MATTIP(2,MATIP)
  BUF76(4)=MATTIP(3,MATIP)
  CALL ESC(76,BUF76,4,I)
END DO
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE FRONT(MATFRO,NP)
IMPLICIT NONE
INTEGER MATFRO(3,NP),NP
INTEGER BUF72(4),ARCH(3),I
```

```
CALL EN CAB
WRITE(1, '(/,10X,"CAPTURA DE LAS CONDICIONES FRONTERA"/)')
```

```
ARCH(1)=2HFR $ ARCH(2)=2HON $ ARCH(3)=2HTE $ CALL ABRN(72,ARCH)
DO I=1,NP
```

```
  * WRITE(1, '(I3)=")',I
10  * READ(1, '(I3)',MATFRO(1,I))
    IF(MATFRO(1,I).LT.-1.OR.MATFRO(1,I).GT.1)GOTO 10
    WRITE(1, '(I3)=")',I
20  * READ(1, '(I3)',MATFRO(2,I))
    IF(MATFRO(2,I).LT.-1.OR.MATFRO(2,I).GT.1)GOTO 20
    WRITE(1, '(I3)=")',I
30  * READ(1, '(I3)',MATFRO(3,I))
    IF(MATFRO(3,I).LT.-1.OR.MATFRO(3,I).GT.1)GOTO 30
END DO
```

```
DO I=1,NP
  BUF72(1)=I
  BUF72(2)=MATFRO(1,I)
  BUF72(3)=MATFRO(2,I)
  BUF72(4)=MATFRO(3,I)
  CALL ESC1(72,BUF72,4,I)
END DO
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE RENUM(MATFRO,NP,NODMAX)
IMPLICIT NONE
INTEGER NODMAX,MATFRO(3,NP),NP
INTEGER I,J,BUF72(4)
```

```
DO I=1,3
  DO J=1,NP
    CALL LEE1(72,BUF72,4,J)
    MATFRO(I,J)=BUF72(1+I)
  END DO
END DO
NODMAX=1
DO I=1,NP
  DO J=1,3
    IF(MATFRO(J,I).EQ.1)THEN
      MATFRO(J,I)=0
    ELSE
      MATFRO(J,I)=NODMAX
      NODMAX=NODMAX+1
    ENDIF
  END DO
END DO
NODMAX=NODMAX-1
```

```
DO I=1,NP
  BUF72(1)=I
  BUF72(2)=MATFRO(1,I)
  BUF72(3)=MATFRO(2,I)
```

```

          BUF72(4)=MATFRO(3,I)
          CALL ESC1(72,BUF72,4,I)
99  END DO
      RETURN
      END

SUBROUTINE RIGIDL(MODELA, AREA, LONG, FI, MI, MATRIL)
      IMPLICIT NONE
      INTEGER J, K, M, I
      REAL*8  MODELA, AREA, LONG, MI, FI, MATRIL(6,6)

      DO J=1,6
        DO K=1,6
          MATRIL(J,K)=0.0
        END DO
      END DO

      MATRIL(1,1)=MODELA*AREA/LONG
      MATRIL(1,4)=-MODELA*AREA/LONG
      MATRIL(2,2)=12.*MODELA*MI/((1.+FI)*(LONG**3))
      MATRIL(2,3)=6.*MODELA*MI/((1.+FI)*(LONG**2))
      MATRIL(2,5)=-12.*MODELA*MI/((1.+FI)*(LONG**3))
      MATRIL(2,6)=6.*MODELA*MI/((1.+FI)*(LONG**2))
      MATRIL(3,3)=(4.+FI)*MODELA*MI/((1.+FI)*LONG)
      MATRIL(3,5)=-6.*MODELA*MI/((1.+FI)*(LONG**2))
      MATRIL(3,6)=(2.-FI)*MODELA*MI/((1.+FI)*LONG)
      MATRIL(4,4)=MODELA*AREA/LONG
      MATRIL(5,5)=12.*MODELA*MI/((1.+FI)*(LONG**3))
      MATRIL(5,6)=-6.*MODELA*MI/((1.+FI)*(LONG**2))
      MATRIL(6,6)=(4.+FI)*MODELA*MI/((1.+FI)*LONG)

      M=0
      DO J=1,6
        M=M+1
        DO K=M,6
          MATRIL(K,J)=MATRIL(J,K)
        END DO
      END DO

      RETURN
      END

SUBROUTINE RIGIDG(COS, SEN, MATRIL, MATRIG)
      IMPLICIT NONE
      INTEGER J, K, M, I
      REAL*8  MATRIG(6,6), MATRIL(6,6), COS, SEN

      MATRIG(1,1)={{(COS**2)*MATRIL(1,1)}+{(SEN**2)*MATRIL(2,2)}}
      MATRIG(1,2)={COS*SEN*(MATRIL(1,1)-MATRIL(2,2))}
      MATRIG(1,3)=-SEN*(MATRIL(2,3))
      MATRIG(1,4)={{(COS**2)*MATRIL(1,4)}+{(SEN**2)*MATRIL(2,5)}}
      MATRIG(1,5)={COS*SEN*(MATRIL(1,4)-MATRIL(2,5))}
      MATRIG(1,6)=-SEN*(MATRIL(2,6))
      MATRIG(2,2)={{(SEN**2)*MATRIL(1,1)}+{(COS**2)*MATRIL(2,2)}}
      MATRIG(2,3)=COS*(MATRIL(2,3))
      MATRIG(2,4)={SEN*(COS*(MATRIL(1,4)-MATRIL(2,5)))}
      MATRIG(2,5)={{(SEN**2)*MATRIL(1,4)}+{(COS**2)*MATRIL(2,5)}}
      MATRIG(2,6)=COS*(MATRIL(2,6))
      MATRIG(3,3)=MATRIL(3,3)
      MATRIG(3,4)=-SEN*(MATRIL(3,5))
      MATRIG(3,5)=COS*(MATRIL(3,5))
      MATRIG(3,6)=MATRIL(3,6)

```

```
MATRIG(4,4) = ((COS**2)*MATRIL(4,4)) + ((SEN**2)*MATRIL(5,5))
MATRIG(4,5) = (COS*SEN)*(MATRIL(4,4)-MATRIL(5,5))
MATRIG(4,6) = -SEN*(MATRIL(5,6))
MATRIG(5,5) = ((SEN**2)*MATRIL(4,4)) + ((COS**2)*MATRIL(5,5))
MATRIG(5,6) = COS*(MATRIL(5,6))
MATRIG(6,6) = MATRIL(6,6)
```

```
M=0
DO J=1,6
  M=M+1
  DO K=M,6
    MATRIG(K,J)=MATRIG(J,K)
  END DO
END DO
```

```
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE FZAFI2(W1,W2,A,B)
IMPLICIT NONE
REAL*8 W1,W2,A,B
```

```
CALL EN CAB
CALL PANT2
CALL GTRC(10,1)
WRITE(1, '( " " )')
```

```
WRITE(1, '( "INGRESA EL VALOR DE W1 (TON) : _" )')
READ(1, '(F10.2)') W1
WRITE(1, '( "INGRESA EL VALOR DE W2 (TON) : _" )')
READ(1, '(F10.2)') W2
WRITE(1, '( "INGRESA EL VALOR DE A ( m ) : _" )')
READ(1, '(F10.2)') A
WRITE(1, '( "INGRESA EL VALOR DE B ( m ) : _" )')
READ(1, '(F10.2)') B
```

```
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE FZAFI1(A,M)
IMPLICIT NONE
REAL*8 A,M
```

```
CALL EN CAB
CALL PANT3
10 CALL GTRC(15,1)
```

```
WRITE(1, '( " " )')
WRITE(1, '( "INGRESA EL VALOR DEL PAR CONCENTRADO: _" )')
READ(1, '(F15.2)') M $ IF(M.EQ.0) GOTO 10
WRITE(1, '( "INGRESA EL VALOR DE A : _" )')
READ(1, '(F10.2)') A
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE FZAFI3(L,A,B,W1,W2)
IMPLICIT NONE
REAL*8 L,A,B,W1,W2
```

```
CALL EN CAB
CALL PANT4
```

```
10 CALL GTRC(15,1)
WRITE(1,1,'{"":}')
WRITE(1,1,'INGRESA EL VALOR DE LA FUERZA CONCENTRADA:_"')
READ(1,1,(F15.2))W1 $ IF(W1.EQ.0)GOTO 10
WRITE(1,1,'INGRESA EL VALOR DE A :_"')
READ(1,1,(F10.2))A
W2=W1
IF(A.LE.0.05)THEN
  A=0.00
  B=L-0.10
  RETURN
ENDIF
IF(A.GE.L-0.05)THEN
  B=0.00
  A=L-0.10
  RETURN
ENDIF
B=L-A
A=A-0.05
B=B-0.05
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE FZFILG(FZFIL,FZFIG,SEN,COS)
REAL*8 FZFIL(6),FZFIG(6),SEN,COS
```

```
FZFIG(1)=COS*FZFIL(1)-SEN*FZFIL(2)
FZFIG(2)=SEN*FZFIL(1)+COS*FZFIL(2)
FZFIG(3)=FZFIL(3)
FZFIG(4)=COS*FZFIL(4)-SEN*FZFIL(5)
FZFIG(5)=SEN*FZFIL(4)+COS*FZFIL(5)
FZFIG(6)=FZFIL(6)
```

```
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE FZFID(FZFIL,FZFIG,SEN,COS)
REAL*8 FZFIL(6),FZFIG(6),SEN,COS
```

```
FZFIG(1)=COS*FZFIL(1)+SEN*FZFIL(2)
FZFIG(2)=COS*FZFIL(2)-SEN*FZFIL(1)
FZFIG(3)=FZFIL(3)
FZFIG(4)=COS*FZFIL(4)+SEN*FZFIL(5)
FZFIG(5)=COS*FZFIL(5)-SEN*FZFIL(4)
FZFIG(6)=FZFIL(6)
```

```
RETURN
END
```

```
$EMA (MAT,0)
SUBROUTINE ENSMAR(NBARR,NODMAX)
IMPLICIT NONE
INTEGER NBARR,NODMAX,N,I,J,IK,IJ,IE(6)
REAL*8 MATEST,MATRIG(6,6),BB(300),XL,FIY,F
COMMON /MAT/MATEST(1500,1500),F(1500)

CALL LGBUF(BB,300)
CALL CEROS(NODMAX)
```

```
DO 400 N=1,NBARR
  READ(73,REC=N)MATRIG,IE,XL,FIY
  DO 200 I=1,6
    IK=IE(I)
    IF(IK.LE.0)GOTO 200
    DO 150 J=1,6
      IJ=IE(J)
      IF(IJ.LE.0)GOTO 150
      MATEST(IK,IJ)=MATEST(IK,IJ)+MATRIG(I,J)
150    CONTINUE
200    CONTINUE
400  CONTINUE

99  RETURN
    END
```

```
$EMA (MAT,0)
SUBROUTINE CEROS(NODMAX)
IMPLICIT NONE
INTEGER NODMAX,I,J
REAL*8 MATEST,F
COMMON /MAT/MATEST(1500,1500),F(1500)

DO I=1,NODMAX
  DO J=1,NODMAX
    MATEST(I,J)=0.0
  END DO
END DO
RETURN
END
```

```
$EMA (MAT,0)
SUBROUTINE TGAUSS(N)
IMPLICIT NONE
INTEGER N,I,KS,J,IC,K
REAL*8 A,XX,B
COMMON /MAT/A(1500,1500),B(1500)

DO I=2,N
  A(I,1)=A(I,1)/A(1,1)
END DO
DO I=2,N
  KS=I-1
  DO J=I,N
    IC=I+1
    XX=0.0
    DO K=1,KS
      XX=XX+A(I,K)*A(K,J)
    END DO
    A(I,J)=A(I,J)-XX
  END DO
  IF(I.EQ.N)GOTO 900
  DO J=IC,N
    XX=0.0
    DO K=1,KS
      XX=XX+A(J,K)*A(K,I)
    END DO
    A(J,I)=(A(J,I)-XX)/A(I,I)
  END DO
END DO
900 CONTINUE
RETURN
END
```

```
$EMA (MAT,0)
SUBROUTINE SGAUSS(N)
IMPLICIT NONE
INTEGER N,I,KS,K,IS,IA,KI
REAL*8 A,B,XX
COMMON /MAT/A(1500,1500),B(1500)

DO I=2,N
  KS=I-1
  XX=0.0
  DO K=1,KS
    XX=XX+A(I,K)*B(K)
  END DO
  B(I)=B(I)-XX
END DO
B(N)=B(N)/A(N,N)
IS=N-1
DO I=1,IS
  IA=N-I
  KI=IA+1
  XX=0.0
  DO K=KI,N
    XX=XX+A(IA,K)*B(K)
  END DO
  B(IA)=(B(IA)-XX)/A(IA,IA)
END DO
RETURN
END

SUBROUTINE PREM(AT,NBARR,SECTRA,MATFRO,NP,NODMAX,MODELA,AREA,
* FI,MI,MATRIG,X,NODOJ,Y,NODOI,IE,G)
IMPLICIT NONE
INTEGER N,J,NBARR,MATFRO(3,NP),NODMAX,IE(6),NODOJ,NODOI,SECTRA,NP,
* BUF74(5)
REAL*8 XJI,YJI,X(NP),Y(NP),XL,S,C,MODELA,AREA,FI,MI,
* MATRIL(6,6),MATRIG(6,6),G,FIY
INTEGER I,ARCH(3)
REAL*8 BUF70(3),BB(300),BUF80(3)

CALL LGBUF(BB,300)

CALL LEE(74,BUF74,5,NBARR) $ NODOI=BUF74(2) $ NODOJ=BUF74(3)
CALL LEE(70,BUF70,3,NODOI) $ X(NODOI)=BUF70(2) $ Y(NODOI)=BUF70(3)
CALL LEE(70,BUF70,3,NODOJ) $ X(NODOJ)=BUF70(2) $ Y(NODOJ)=BUF70(3)

XJI=X(NODOJ)-X(NODOI)
YJI=Y(NODOJ)-Y(NODOI)

XL =SORT ( (XJI**2) + (YJI**2) )
S =YJI/XL
C =XJI/XL
BUF80(1)=NBARR $ BUF80(2)=S $ BUF80(3)=C
CALL ESC(80,BUF80,3,NBARR)
FIY=FI*12.*MODELA*MI/(AREA*G*(XL**2))
CALL RIGIDL(MODELA,AREA,XL,FIY,MI,MATRIL)
CALL RIGIDG(C,S,MATRIL,MATRIG)
CALL LEE1(74,BUF74,5,NBARR)
NODOI=BUF74(2) $ NODOJ=BUF74(3)
DO J=1,3
  IE(J) =MATFRO(J,NODOI)
  IE(J+3)=MATFRO(J,NODOJ)
END DO
```

```
99 WRITE(73,REC=NBARR)MATRIG,IE,XL,FIY
RETURN
END

SUBROUTINE SALE(MEMORI,N10)
IMPLICIT NONE
INTEGER N10,MEMORI

IF(N10.LE.MEMORI)RETURN
CALL ENCARB
WRITE(1,'(5//),10X,"LO SIENTO MUCHO PERO LA MEMORIA EXISTENTE"
* 10X,"NO ALCANZA PARA LA EJECUCION DEL PROGRAMA"')
WRITE(1,'(//,10X,"LA MEMORIA QUE NECESITA ES : ",15)')N10
STOP
END

SUBROUTINE CARGAS(NODCAR, BARCAR)
IMPLICIT NONE
INTEGER NODCAR, BARCAR

CALL ENCARB
CALL GTRC(10,1)
100 WRITE(1,'(10//)," CUANTOS NODOS CARGADOS SON : _"')
READ(1,'(I2)')NODCAR
110 CALL GTRC(11,1)
WRITE(1,'(//)," CUANTAS BARRAS CARGADAS SON : _"')
READ(1,'(I2)')BARCAR
RETURN
END

SUBROUTINE CARNUD(NODCAR,NUDOS)
IMPLICIT NONE
INTEGER NODCAR,NODOC,NUDOS(10)
REAL*8 MATNP(4)
INTEGER I,ARCH(3),BUF72(4)
REAL*8 BUF75(4)

CALL ENCARB
WRITE(1,'(//,20X,"CAPTURA DE CARGAS INTERMEDIAS",//)')

DO I=1,NODCAR
WRITE(1,'("INGRESA EL # DEL NODO CARGADO : ")')
READ(1,'(I2)')NODOC $ MATNP(1)=NODOC $ NUDOS(I)=NODOC
CALL LEE1(72,BUF72,4,NODOC)
WRITE(1,'("INGRESA LA FUERZA EN X DEL NODO("I2"): _"')NODOC
READ(1,'(F10.2)')MATNP(2)
WRITE(1,'("INGRESA LA FUERZA EN Y DEL NODO("I2"): _"')NODOC
READ(1,'(F10.2)')MATNP(3)
WRITE(1,'("INGRESA EL GIRO DEL NODO("I2"): _"')NODOC
READ(1,'(F10.2)')MATNP(4)
* WRITE(75,REC=NODOC)MATNP(1),MATNP(2),MATNP(3),MATNP(4)
, BUF72(2),BUF72(3),BUF72(4)
END DO
RETURN
END

SUBROUTINE CARBAR(BARCAR,MATBAR)
IMPLICIT NONE
INTEGER BARCAR,NUMCAR,I,J,K,TIPO(3),IE(6),MATBAR(10)
REAL*8 A,L,M,FIY,VI,MI,VJ,MJ,W1,W2,B,MATRIG(6,6),V1,V2,M1,M2,
* S,C,FZFIL(6),FZFIG(6)
REAL*8 BUF77(1),BB(300),PASO
INTEGER ARCH(3)
```

```
CALL LGBUF(BB,300) $ BUF77=0.0
DO I=1,6
  FZFIG(I)=0.0 $ IE(I)=0
END DO
DO I=1,50
  WRITE(77,REC=I)BUF77,FZFIG,IE
END DO
DO I=1,BARCAR
  V1=0.0 $ M1=0.0 $ V2=0.0 $ M2=0.0
  CALL EN CAB $ CALL PANT1
  CALL GTRC(I+16,1)
  WRITE(1,'(I2) / "INGRESA EL # DE LA BARRA CARGADA : _"')
  READ(1,(I2))MATBAR(I) $ J=MATBAR(I)
  READ(73,REC=J)MATRIG,IE,L,FIY
  READ(80,REC=J)PASO,S,C
  WRITE(1,'(I2) / "INGRESA EL # DE CARGAS DE LA BARRA ("I2"):_")')J
  READ(1,(I2))NUMCAR
  DO J=1,NUMCAR
    WRITE(1,'(I1) / "INGRESA EL TIPO DE LA FZA. ("I1"):_")')J
    READ(1,(I2))TIPO(J)
    IF(TIPO(J).LT.1.OR.TIPO(J).GT.6)GOTO 15
    IF(TIPO(J).EQ.3)THEN
      CALL FZAF13(L,A,B,W1,W2)
      CALL CARLIN(L,A,B,FIY,W1,W2,VI,MI,VJ,MJ)
      GOTO 16
    ENDIF
    IF(TIPO(J).EQ.4)THEN
      CALL FZAF11(A,M)
      CALL PARCON(A,L,M,FIY,VI,MI,VJ,MJ)
    ELSE
      CALL FZAF12(W1,W2,A,B)
      CALL CARLIN(L,A,B,FIY,W1,W2,VI,MI,VJ,MJ)
    ENDIF
  END DO
  V1=V1+VI $ M1=M1+MI $ V2=V2+VJ $ M2=M2+MJ
  BUF77(1)=MATBAR(I) $ FZFIL(1)=0.0 $ FZFIL(2)=V1 $ FZFIL(3)=M1
  J=MATBAR(I) $ FZFIL(4)=0.0 $ FZFIL(5)=V2 $ FZFIL(6)=M2
  CALL FZFILG(FZFIL,FZFIG,S,C)
  WRITE(77,REC=J)BUF77,FZFIG,IE
END DO
RETURN
END

SUBROUTINE PARCON(A,L,M,FIY,VI,MI,VJ,MJ)
  IMPLICIT NONE
  REAL*8 A,L,M,FIY,VI,MI,VJ,MJ
  VI=6.*A*(L-A)*(M/(1+FIY))*(L*L*L)
  MI=(L-A)*(3.*A)-L-(FIY*L)*(M/(1+FIY))*(L*L))
  VJ=-VI
  MJ=A*(2.*L-3.*A-FIY*L)*(M/(1+FIY))*(L*L)
  RETURN
END

SUBROUTINE CARLIN(L,A,B,FIY,W1,W2,VI,MI,VJ,MJ)
  IMPLICIT NONE
  REAL*8 L,A,B,FIY,W1,W2,VI,MI,VJ,MJ
  REAL*8 V1,V2,V3,V4,V5,V6,V7

  V1=L-A-B $ V2=1.+FIY
  V3=V1/(V2*L*L*L)
  V4=L*(L-A)*(3.*W1+W2)-B*(L-6.*A+2.*B)*W1+B*(L+2.*A-2.*B)*W2
  V5=(0.1*V1*V1*V1)*(4.*W1+W2)
  V6=(1./6.)*FIY*L*L*(2.*(L-A-2.*B)*W1+(L-A+B)*W2)
  VI=V3*((0.5*B*B)*(3.*L-2.*B)*(W1+W2)+(0.25*V1)*V4-V5+V6)
```

```

V3=V1/(2.*V2*L*L)
V4=(B*B)*(L-B)*(W1+W2)
V5=(1./6.)*V1*((L*L)-A*L+3.*A*B)*(3.*W1+W2)-B*(4.*L+3.*B)*W1
-3.*B*B*W2)
V6=.1*(V1*V1*V1)*(4.*W1+W2)
V7=(1./12.)*FIY*L*((L*L-10.*B*L+2.*A*L+2.*A*B-3.*A*A-B*B)*W1+
(L*L+2.*A*B-A*A-3.*B*B)*W2)
MI=V3*(V4+V5-V6+V7)

VJ=0.5*V1*(W1+W2)-VI
MJ=VI*L-MI-(1./6.)*V1*((2.*L-2.*A+B)*W1+(L-A+2*B)*W2)
RETURN
END

```

```

$EMA (MAT,0)
SUBROUTINE ENSFZN(NODCAR,NODMAX,NUDOS)
IMPLICIT NONE
INTEGER NODCAR,NODMAX,IE(3),IK,NUDOS(10)
REAL*8 F,FNOD(3),PASO,MATNP(4),MATEST
INTEGER I,J,ARCH(3)
COMMON /MAT/MATEST(1500,1500),F(1500)

DO I=1,NODMAX
  F(I)=0.0
END DO
DO I=1,NODCAR
  J=NUDOS(I)
  READ(75,REC=J)PASO,FNOD,IE
  DO 100 J=1,3
    IK=IE(J)
    IF(IK.LE.0)GOTO 100
    F(IK)=F(IK)+FNOD(J)
100 CONTINUE
END DO
RETURN
END

```

```

$EMA (MAT,0)
SUBROUTINE ENSFZB(BARCAR,NODMAX,MATBAR)
IMPLICIT NONE
INTEGER BARCAR,NODMAX,IE(6),IK,MATBAR(10)
REAL*8 F,FBAR(6),PASO,MATEST,PASO1(6)
INTEGER I,J,ARCH(3),M
COMMON /MAT/MATEST(1500,1500),F(1500)

DO I=1,6
  PASO1(I)=0.0
END DO

DO I=1,BARCAR
  M=MATBAR(I)
  READ(77,REC=M)PASO,FBAR,IE
  DO 100 J=1,6
    IK=IE(J)
    IF(IK.LE.0)GOTO 100
    F(IK)=F(IK)-FBAR(J)
100 CONTINUE
END DO

RETURN
END

```

```

$EMA (MAT, 0)
SUBROUTINE CALFZA(NBARR, NODMAX, FZABAR)
IMPLICIT NONE
INTEGER NBARR, I, J, UR, IE(6), NODMAX, K, L, R
REAL*8 U(6), F, MATRIG(6,6), XL, FIY, FZAI(6), MATANG(6,6), MATEST,
* S, C, FZABAR(6)
REAL*8 BB(300), PASO
COMMON /MAT/MATEST(1500,1500), F(1500)

```

```

CALL LGBUF(BB, 300)
DO I=1, NBARR
  READ(77, REC=1) PASO, FZAI, PASO
  READ(73, REC=1) MATRIG, IE, XL, FIY
  READ(80, REC=1) PASO, S, C
  DO 200 J=1, 6
    UR=IE(J)
    IF(UR.LE.0) GOTO 150
    U(J)=F(UR)
    GOTO 200
    U(J)=0.0
  CONTINUE
  DO K=1, 6
    DO L=1, 6
      FZAI(K)=FZAI(K)+MATRIG(K,L)*U(L)
    END DO
  END DO
  CALL FZFI( FZAI, FZABAR, S, C)

```

150  
200

```

END DO
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE CAPELE( NUMELE )
IMPLICIT NONE
INTEGER NUMELE, NI, NJ, NK, NL, TIPELE, MATER, I
REAL*8 ESPES, DISTA, DISTB, BUF70(3), X, Y
INTEGER ARCH(3)

```

```

ARCH(1)=2HEL $ ARCH(2)=2HEM $ ARCH(3)=2HUR $ CALL ABRN1(90, ARCH)
ARCH(1)=2HMA $ ARCH(2)=2HTM $ ARCH(3)=2HUR $ CALL ABRN1(91, ARCH)

```

```

DO I=1, NUMELE
  CALL ENCAB
  CALL GTRC(7, 1)
  WRITE(1, '( "INGRESA EL NODO I DEL ELEMENTO ("I2") : _" ) ' ) I
  READ(1, '( I2 ) ' ) NI
  WRITE(1, '( "INGRESA EL NODO J DEL ELEMENTO ("I2") : _" ) ' ) I
  READ(1, '( I2 ) ' ) NJ
  CALL LEE(70, BUF70, 3, NI)
  X=BUF70(3)
  CALL LEE(70, BUF70, 3, NJ)
  Y=BUF70(3)
  DISTB=ABS(Y-X)
  WRITE(1, '( "INGRESA EL NODO K DEL ELEMENTO ("I2") : _" ) ' ) I
  READ(1, '( I2 ) ' ) NK
  WRITE(1, '( "INGRESA EL NODO L DEL ELEMENTO ("I2") : _" ) ' ) I
  READ(1, '( I2 ) ' ) NL
  CALL LEE(70, BUF70, 3, NJ)
  X=BUF70(2)
  CALL LEE(70, BUF70, 3, NK)
  Y=BUF70(2)

```

```
        DISTA=ABS(Y-X)
        WRITE(1,('INGRESA EL TIPO DE MATERIAL :_'))
        READ(1,('I2'))MATER
        CALL GTRC(15,1)
20      WRITE(1,('INGRESA EL TIPO DE ELEMENTO (1,2) :_'))
        READ(1,('I1'))TIPELE
        IF(TIPELE.LT.1.OR.TIPELE.GT.2)GOTO 20
        WRITE(90,REC=I) I, NI, NJ, NK, NL, MATER, TIPELE, DISTA, DISTB
    END DO
    RETURN
    END
```

```
    SUBROUTINE RIGMUR(NUMELE, GAMA, E, NU, ANG, H)
    IMPLICIT NONE
    INTEGER NUMELE, I, E, NU, ANG, H, GAMA

    DO I=1, NUMELE
        CALL PREMA1(I, GAMA, E, NU, ANG, H)
    END DO
99    RETURN
    END
```

```
    SUBROUTINE PREMA1(NUMELE, GAMA, E, NU, ANG, H)
    IMPLICIT NONE
    INTEGER IE(12), I, NI, NJ, NK, NL, MATER, TIPELE, NUMELE, J
    REAL*8 DISTA, DISTB, ANG, H, E, ALFA, GAMA, MATA1(12,12), NU
    REAL*8 BB(1250)

    CALL LGBUF(BB, 1250)
    READ(90, REC=NUMELE) I, NI, NJ, NK, NL, MATER, TIPELE, DISTA, DISTB
    READ(72, REC=NI) I, IE(1), IE(2), IE(3)
    READ(72, REC=NJ) I, IE(4), IE(5), IE(6)
    READ(72, REC=NK) I, IE(7), IE(8), IE(9)
    READ(72, REC=NL) I, IE(10), IE(11), IE(12)
    ALFA=(1+NU)/2.
    IF(TIPELE.EQ.1)THEN
        CALL RIGI1G(ANG, H, E, ALFA, GAMA, MATA1, DISTA, DISTB, NU)
    ELSE
        CALL RIGI2G(ANG, H, E, ALFA, GAMA, MATA1, DISTA, DISTB, NU)
    ENDIF
99    WRITE(91, REC=NUMELE) MATA1, IE
    RETURN
    END
```

```
$EMA (MAT, 0)
    SUBROUTINE ENSMUR(NUMELE, NODMAX)
    IMPLICIT NONE
    INTEGER NUMELE, NODMAX, N, I, J, IK, IJ, IE(12)
    REAL*8 MATEST, MATMUR(12,12), BB(1250), F
    COMMON /MAT/MATEST(1500,1500), F(1500)

    CALL LGBUF(BB, 1250)
    DO 400 N=1, NUMELE
        READ(91, REC=N) MATMUR, IE
        DO 200 I=1, 12
            IK=IE(I)
            IF(IK.LE.0)GOTO 200
            DO 150 J=1, 12
                IJ=IE(J)
                IF(IJ.LE.0)GOTO 150
                MATEST(IK, IJ)=MATEST(IK, IJ)+MATMUR(I, J)
            END DO
        END DO
150    CONTINUE
200    CONTINUE
400    CONTINUE
```

ESTA TESIS  
SALIR DE LA  
BIBLIOTECA

99 RETURN  
END

SUBROUTINE RIGI1G (ANG, H, E, ALFA, GAMA, MATA1, A, B, NU)  
IMPLICIT NONE  
INTEGER I, J  
REAL\*8 MATANG(12, 12), K1G(12, 12), MATA1(12, 12), ANG, H, E,  
\* ALFA, GAMA, SENO, COSENO, A, B, NU

SENO=SIN(ANG)  
COSENO=COS(ANG)  
CALL COSD11(MATANG, SENO, COSENO)  
CALL TRANSP(MATANG, K1G)  
CALL RIGI1L(MATA1, ANG, H, E, ALFA, GAMA, A, B, NU)  
CALL MULT(K1G, MATA1)  
CALL MULT(K1G, MATANG)  
DO I=1, 12  
DO J=1, 12  
MATA1(I, J)=K1G(I, J)  
END DO  
END DO  
RETURN  
END

SUBROUTINE RIGI2G (ANG, H, E, ALFA, GAMA, MATA2, A, B, NU)  
IMPLICIT NONE  
INTEGER I, J  
REAL\*8 MATANG(12, 12), K2G(12, 12), MATA2(12, 12), ANG, H, E,  
\* ALFA, GAMA, SENO, COSENO, A, B, NU

SENO=SIN(ANG)  
COSENO=COS(ANG)  
CALL COSD11(MATANG, SENO, COSENO)  
CALL TRANSP(MATANG, K2G)  
CALL RIGI2L(MATA2, ANG, H, E, ALFA, GAMA, A, B, NU)  
CALL MULT(K2G, MATA2)  
CALL MULT(K2G, MATANG)  
DO I=1, 12  
DO J=1, 12  
MATA2(I, J)=K2G(I, J)  
END DO  
END DO  
RETURN  
END

SUBROUTINE RIGI1L(MATA1, ANG, H, E, ALFA, GAMA, A, B, NU)  
IMPLICIT NONE  
INTEGER I, J  
REAL\*8 MATA1(12, 12), K1L(12, 12), S(12, 12), ANG, H, E, ALFA, GAMA, A, B, NU

CALL AINV1(A, B, MATA1)  
CALL TRANSP(MATA1, K1L)  
CALL RIGID(A, B, ALFA, GAMA, S, H, E, NU)  
CALL MULT(K1L, S)  
CALL MULT(K1L, MATA1)  
DO I=1, 12  
DO J=1, 12  
MATA1(I, J)=K1L(I, J)  
END DO  
END DO  
RETURN  
END

```
SUBROUTINE RIGI2L(MATA2,ANG,H,E,ALFA,GAMA,A,B,NU)
IMPLICIT NONE
INTEGER I,J
REAL*8 MATA2(12,12),K2L(12,12),S(12,12),ANG,H,E,ALFA,GAMA,A,B,NU
CALL AINV2(A,B,MATA2)
CALL TRANSP(MATA2,K2L)
CALL RIGID(A,B,ALFA,GAMA,S,H,E,NU)
CALL MULT(K2L,S)
CALL MULT(K2L,MATA2)
DO I=1,12
  DO J=1,12
    MATA2(I,J)=K2L(I,J)
  END DO
END DO
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE AINV1(A,B,MATA1)
IMPLICIT NONE
INTEGER I,J
REAL*8 A,B,MATA1(12,12),A2,B2
```

```
DO I=1,12
  DO J=1,12
    MATA1(I,J)=0.0
  END DO
END DO
```

```
A2=A*A $ B2=B*B
MATA1(1,1)=1./B2)
MATA1(1,4)=-1./B2)
MATA1(1,6)=1./B
MATA1(2,2)=1./B
MATA1(2,5)=-1./B
MATA1(3,3)=1./B
MATA1(3,5)=2./A*B)
MATA1(3,8)=-2./A*B)
MATA1(3,9)=1./B
MATA1(4,4)=1.
MATA1(5,5)=1.
MATA1(6,6)=-1.
MATA1(7,4)=-1./A
MATA1(7,7)=1./A
MATA1(8,5)=-2./A
MATA1(8,8)=2./A
MATA1(8,9)=-1.
MATA1(9,5)=1./A2)
MATA1(9,8)=-1./A2)
MATA1(9,9)=1./A
MATA1(10,1)=-1./A*B2)
MATA1(10,4)=1./A*B2)
MATA1(10,6)=-1./A*B
MATA1(10,7)=1./A*B2)
MATA1(10,10)=-1./A*B2)
MATA1(10,12)=-1./A*B)
MATA1(11,2)=-1./A2*B)
MATA1(11,3)=-1./A*B)
MATA1(11,5)=-1./A2*B)
MATA1(11,8)=1./A2*B)
MATA1(11,9)=-1./A*B)
MATA1(11,11)=1./A2*B)
MATA1(12,6)=1./A
MATA1(12,7)=-2./A*B)
```

```
MATA1(12,10)=2./ (A*B)
MATA1(12,12)=1./A
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE AINV2(A,B,MATA2)
IMPLICIT NONE
INTEGER I,J
REAL*8 A,B,MATA2(12,12),A2,B2
```

```
DO I=1,12
  DO J=1,12
    MATA2(I,J)=0.0
  END DO
END DO
```

```
A2=A*A $ B2=B*B
MATA2(1,1)=-1./ (B2)
MATA2(1,3)=-1./B
MATA2(1,4)=1./ (B2)
MATA2(2,2)=1./B
MATA2(2,5)=-1./B
MATA2(3,2)=-2./ (A*B)
MATA2(3,6)=-1./B
MATA2(3,11)=2./ (A*B)
MATA2(3,12)=-1./B
MATA2(4,4)=1.
MATA2(5,5)=1.
MATA2(6,1)=2./B
MATA2(6,3)=1.
MATA2(6,4)=-2./B
MATA2(7,4)=-1./A
MATA2(7,7)=1./A
MATA2(8,6)=1.
MATA2(9,5)=-1./ (A2)
MATA2(9,6)=-1./A
MATA2(9,8)=1./ (A2)
MATA2(10,1)=1./ (A*B2)
MATA2(10,3)=1./ (A*B)
MATA2(10,4)=-1./ (A*B2)
MATA2(10,7)=-1./ (A*B2)
MATA2(10,9)=1./ (A*B)
MATA2(10,10)=1./ (A*B2)
MATA2(11,2)=1./ (A2*B)
MATA2(11,5)=1./ (A2*B)
MATA2(11,6)=1./ (A*B)
MATA2(11,8)=-1./ (A2*B)
MATA2(11,11)=-1./ (A2*B)
MATA2(11,12)=1./ (A*B)
MATA2(12,1)=-2./ (A*B)
MATA2(12,3)=-1./A
MATA2(12,4)=2./ (A*B)
MATA2(12,9)=-1./A
```

```
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE RIGID(A,B,ALFA,GAMA,S,H,E,NU)
IMPLICIT NONE
INTEGER I,J,M
REAL*8 A,B,ALFA,GAMA,S(12,12),H,E,A2,A3,A5,B2,B3,B4,B5,NU
```

```
DO I=1,12
  DO J=1,12
    S(I,J)=0.0
  END DO
END DO
A2=A**2$ A3=A**3 $ A5=A**5
B2=B**2$ B3=B**3 $ B4=B**4 $ B5=B**5
```

```
S(1,1)=(4./3.)*ALFA*A*B3
S(1,3)=(2./3.)*ALFA*A*B3
S(1,6)=ALFA*A*B2
S(1,8)=ALFA*A*B2
S(1,9)=ALFA*A2*B2
S(1,10)=(2./3.)*ALFA*A2*B3
S(1,11)=(2./3.)*ALFA*A2*B3
S(1,12)=(ALFA/2.)*A2*B2
S(2,2)=A*B
S(2,3)=(1./2.)*A2*B
S(2,7)=NU*A*B
S(2,10)=(NU/3.)*A*B3
S(2,11)=(1./3.)*B*A3
S(2,12)=NU/2.)*A*B2
S(3,3)=(ALFA/3.)*A*B3
S(3,6)=(ALFA/2.)*A*B2
S(3,7)=NU/2.)*A2*B
S(3,8)=ALFA/2.)*A2*B
S(3,9)=(ALFA/2.)*A2*B2
S(3,10)=((NU/6.+ (ALFA/3.))*A2*B3
S(3,11)=(A2/4.+ (ALFA*B2/3.))*A2*B
S(3,12)=(ALFA+NU)*A2*B2/4.
S(6,6)=ALFA*A*B
S(6,8)=ALFA*A*B
S(6,9)=ALFA*A2*B
S(6,10)=(ALFA/2.)*A2*B2
S(6,11)=(ALFA/2.)*A2*B2
S(6,12)=(ALFA/2.)*A2*B
S(7,7)=A*B
S(7,10)=(1./3.)*A*B3
S(7,11)=NU/3.)*B*A3
S(7,12)=(1./2.)*A*B2
S(8,8)=ALFA*A*B
S(8,9)=ALFA*A2*B
S(8,10)=(ALFA/2.)*A2*B2
S(8,11)=(ALFA/2.)*A2*B2
S(8,12)=(ALFA/2.)*A2*B
S(9,9)=(4./3.)*ALFA*B*A3
S(9,10)=(2./3.)*ALFA*B2*A3
S(9,11)=(2./3.)*ALFA*B2*A3
S(9,12)=(2./3.)*ALFA*B*A3
S(10,10)=(A*B5/5.)+(4.*ALFA*A3*B3/9.)
S(10,11)=(NU+(4.*ALFA))*A3*B3/9.
S(10,12)=(A*B4/4.)+(ALFA*A3*B2/3.)
S(11,11)=(B*A5/5.)+(4.*ALFA*A3*B3/9.)
S(11,12)=(NU/6.)+(ALFA/3.))*B2*A3
S(12,12)=(ALFA*B*A3)+(A*B3))/3.
```

```
M=0
DO I=1,12
  M=M+1
  DO J=M,12
    S(J,I)=S(I,J)
  END DO
END DO
```

```
DO I=1,12
  DO J=1,12
    S(I,J)=S(I,J)*((H*E)/(1-NU*NU))
  END DO
END DO
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE MULT(A,B)
IMPLICIT NONE
INTEGER I,J,K
REAL*8 A(12,12),B(12,12),C(12,12)
```

```
DO I=1,12
  DO J=1,12
    C(I,J)=0.0
  END DO
END DO
```

```
DO I=1,12
  DO J=1,12
    DO K=1,12
      C(I,J)=C(I,J)+(A(I,K)*B(K,J))
    END DO
  END DO
END DO
```

```
DO I=1,12
  DO J=1,12
    A(I,J)=C(I,J)
  END DO
END DO
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE TRANSP(A,B)
IMPLICIT NONE
INTEGER I,J
REAL*8 A(12,12),B(12,12)
```

```
DO I=1,12
  DO J=1,12
    B(I,J)=A(J,I)
  END DO
END DO
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE COSDI1(MATANG,S,C)
IMPLICIT NONE
INTEGER I,J
REAL*8 MATANG(12,12),S,C
```

```
DO I=1,12
  DO J=1,12
    MATANG(I,J)=0.0
  END DO
END DO
```

```
MATANG(1,1)=C $ MATANG(4,4)=C $ MATANG(7,7)=C $ MATANG(10,10)=C
MATANG(1,2)=S $ MATANG(4,5)=S $ MATANG(7,8)=S $ MATANG(10,11)=S
```

```
MATANG(2,1)=-S $ MATANG(5,4)=-S $ MATANG(8,7)=-S $ MATANG(11,10)=-S
MATANG(2,2)=C $ MATANG(5,5)=C $ MATANG(8,8)=C $ MATANG(11,11)=C
MATANG(3,3)=1. $ MATANG(6,6)=1. $ MATANG(9,9)=1. $ MATANG(12,12)=1.
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE CAPFZA(FZAS,A,B)
IMPLICIT NONE
REAL*8 FZAS(12,2),A,B,A2,A3,B2,B3
```

```
A2=A**2 $ A3=A**3 $ B2=B**2 $ B3=B**3
FZAS(1,2)=0.0 $ FZAS(1,1)=A*B3/3.
FZAS(2,2)=A*B2/2. $ FZAS(2,1)=0.0
FZAS(3,2)=A2*B2/4. $ FZAS(3,1)=0.0
FZAS(4,2)=0.0 $ FZAS(4,1)=A*B
FZAS(5,2)=A*B $ FZAS(5,1)=0.0
FZAS(6,2)=0.0 $ FZAS(6,1)=A*B2/2.
FZAS(7,2)=0.0 $ FZAS(7,1)=A2*B/2.
FZAS(8,2)=A2*B/2. $ FZAS(8,1)=0.0
FZAS(9,2)=B*A3/3. $ FZAS(9,1)=0.0
FZAS(10,2)=0.0 $ FZAS(10,1)=A2*B3/6.
FZAS(11,2)=B2*A3/6. $ FZAS(11,1)=0.0
FZAS(12,2)=0.0 $ FZAS(12,1)=A2*B2/4.
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE FZACU1(NUMELE,ESPES,PESVOL,ANG,F1)
```

```
IMPLICIT NONE
INTEGER I,J,K,N7(7),NUMELE,IE(12)
REAL*8 MATA1(12,12),ESPES,PESVOL,FZAS(12,2),ANG,PASO(12,12),
* PASO1,C(12,2),F1(12),A(2),DISTA,DISTB
```

```
PASO1=PESVOL*ESPES
READ(90,REC=NUMELE)N7,DISTA,DISTB
CALL AINV1(DISTA,DISTB,MATA1)
CALL TRANSP(MATA1,PASO)
DO I=1,12
  DO J=1,12
    MATA1(I,J)=PASO(I,J)*PASO1
  END DO
END DO
```

```
CALL CAPFZA(FZAS,DISTA,DISTB)
```

```
DO I=1,12
  DO J=1,2
    C(I,J)=0.0
  END DO
END DO
```

```
DO I=1,12
  DO J=1,2
    DO K=1,12
      C(I,J)=C(I,J)+(MATA1(I,K)*FZAS(K,J))
    END DO
  END DO
END DO
```

```
A(1)=COS(ANG) $ A(2)=SIN(ANG)
DO I=1,12
  DO J=1,2
    F1(I)=F1(I)+(C(I,J)*A(J))
  END DO
END DO
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE FZACU2 (NUMELE, ESPES, PESVOL, ANG, F2)
IMPLICIT NONE
INTEGER I, J, K, N7 (7), NUMELE, IE (12)
REAL*8 MATA2 (12, 12), ESPES, PESVOL, FZAS (12, 2), ANG, PASO (12, 12),
* PASO1, C (12, 2), F2 (12), A (2), DISTA, DISTB
```

```
PASO1=PESVOL*ESPES
READ (90, REC=NUMELE) N7, DISTA, DISTB
CALL AINV2 (DISTA, DISTB, MATA2)
CALL TRANSP (MATA2, PASO)
```

```
DO I=1, 12
  DO J=1, 12
    MATA2 (I, J)=PASO (I, J) *PASO1
  END DO
END DO
```

```
CALL CAPFZA (FZAS, DISTA, DISTB)
```

```
DO I=1, 12
  DO J=1, 2
    C (I, J)=0.0
  END DO
END DO
```

```
DO I=1, 12
  DO J=1, 2
    DO K=1, 12
      C (I, J)=C (I, J) + (MATA2 (I, K) *FZAS (K, J))
    END DO
  END DO
END DO
```

```
A (1)=COS (ANG) $ A (2)=SIN (ANG)
```

```
DO I=1, 12
  DO J=1, 2
    F2 (I)=F2 (I) + (C (I, J) *A (J))
  END DO
END DO
RETURN
END
```

```
$EMA (MAT, 0)
SUBROUTINE ESFMUR (NUMELE, NODMAX, E, NU)
IMPLICIT NONE
INTEGER NUMELE, NODMAX, TIPELE, I, NI, NJ, NK, NL, MATER, IE (12), K, J, L, W
REAL*8 MAHOOK (3, 3), E, NU, F, MATB (3, 12), X, Y, DISTA, MATEST, DISTB,
* MATRIZ (12, 12), DESPLA (12), ESFUER (3), PASO (3, 12)
COMMON /MAT/MATEST (1500, 1500), F (1500)
```

```
CALL HOOK (MAHOOK, E, NU)
DO W=1, NUMELE
  DO J=1, 3
    DO K=1, 12
      PASO (J, K)=0.0
    END DO
    ESFUER (J)=0.0
  END DO
```

```
READ (90, REC=W) J, NI, NJ, NK, NL, MATER, TIPELE, DISTA, DISTB
READ (91, REC=W) MATRIZ, IE
```

```

CALL VECB(DISTA, DISTB, MATB)
IF (TIPELE.EQ.1) THEN
    CALL AINV1(DISTA, DISTB, MATRIZ)
ELSE
    CALL AINV2(DISTA, DISTB, MATRIZ)
ENDIF
DO J=1, 12
    DESPLA(J)=F(IE(J))
    IF(IE(J).EQ.0) DESPLA(J)=0.00
END DO

DO J=1, 3
    DO K=1, 12
        DO L=1, 3
            PASO(J,K)=PASO(J,K) + (MAHOOK(J,L)*MATB(L,K))
        END DO
    END DO
END DO

DO J=1, 3
    DO K=1, 12
        MATB(J,K)=0.00
    END DO
END DO

DO J=1, 3
    DO K=1, 12
        DO L=1, 12
            MATB(J,K)=MATB(J,K) + (PASO(J,L)*MATRIZ(L,K))
        END DO
    END DO
END DO

DO J=1, 3
    DO K=1, 12
        ESFUER(J)=ESFUER(J) + (MATB(J,K)*DESPLA(K))
    END DO
END DO

```

```

END DO
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE HOOK(MAHOOK, E, NU)
IMPLICIT NONE
REAL*8 MAHOOK(3,3), E, NU, PASO, I, J

```

```

PASO=E/(1.-(NU*NU))
MAHOOK(1,1)=1.00 $MAHOOK(1,2)=NU $MAHOOK(1,3)=0.0
MAHOOK(2,1)=NU $MAHOOK(2,2)=1.00 $MAHOOK(2,3)=0.0
MAHOOK(3,1)=0.00 $MAHOOK(3,2)=0.00 $MAHOOK(3,3)=(1./2.)*(1.+NU)
DO I=1, 3
    DO J=1, 3
        MAHOOK(I,J)=MAHOOK(I,J)*PASO
    END DO
END DO
RETURN
END

```

```

SUBROUTINE VECB(X, Y, MATB)
IMPLICIT NONE
INTEGER I, J
REAL*8 X, Y, MATB(3,12)

```

```
DO I=1,3
  DO J=1,12
    MATB(I,J)=0.0
  END DO
END DO
```

```
MATB(1,7)=1.00          $ MATB(1,10)=(Y*Y)/4.    $ MATB(1,12)=Y/2.
MATB(2,2)=1.00          $ MATB(2,3)=X/2.      $ MATB(2,11)=(X*X)/4.
MATB(3,1)=2.*Y/2.      $ MATB(3,3)=Y/2.      $ MATB(3,6)=1.00
MATB(3,8)=1.00         $ MATB(3,9)=2.*X/2.    $ MATB(3,10)=2.*X*Y/4.
MATB(3,11)=2.*X*Y/4.   $ MATB(3,12)=X/2.
```

```
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE SECC
IMPLICIT NONE
```

```
CALL GTRC(9,10)$ WRITE(1,('TIPOS DE SECCIONES: '))
CALL GTRC(10,40)$ WRITE(1,(' - SECCION I' ))
CALL GTRC(11,40)$ WRITE(1,(' - SECCION T' ))
CALL GTRC(12,40)$ WRITE(1,(' - SECCION CANAL' ))
CALL GTRC(13,40)$ WRITE(1,(' - SECCION Z' ))
CALL GTRC(14,40)$ WRITE(1,(' - SECCION CAJON' ))
CALL GTRC(15,40)$ WRITE(1,(' - SECCION RECTANGULAR' ))
CALL GTRC(16,40)$ WRITE(1,(' - SECCION U' ))
```

```
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE GTRC(R,C)
IMPLICIT NONE
INTEGER R,C
WRITE(1,('2,"r",I2,"C_"))R-1,C-1
```

```
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE ABRN(LU,ARCH)
IMPLICIT NONE
INTEGER LU,ARCH(3),ISTAT
```

```
OPEN(LU,FILE=ARCH,ACCESS='DIRECT',STATUS='NEW',FORM='UNFORMATTED',
* IOSTAT=ISTAT,ERR=10,RECL=1250)
```

```
RETURN
IF(ISTAT.EQ.502)THEN
  CALL ABRO(LU,ARCH)
ELSE
  WRITE(1,('ERROR : "I5," EN "3A2'))ISTAT,ARCH
  STOP
ENDIF
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE ABRO(LU,ARCH)
IMPLICIT NONE
INTEGER LU,ARCH(3)
```

```
OPEN(LU,FILE=ARCH,ACCESS='DIRECT',STATUS='OLD',FORM='UNFORMATTED',
* RECL=1250)
```

```
RETURN
END
```

```
SUBROUTINE ABRN1(LU,ARCH)
IMPLICIT NONE
INTEGER LU,ARCH(3),ISTAT
OPEN(LU,FILE=ARCH,ACCESS='DIRECT',STATUS='NEW',FORM='UNFORMATTED',
* IOSTAT=ISTAT,ERR=10,RECL=1250)
RETURN
10 IF(ISTAT.EQ.502)THEN
CALL ABRO1(LU,ARCH)
ELSE
WRITE(1,('"ERROR : "I5," EN "3A2'))ISTAT,ARCH
STOP
ENDIF
END

SUBROUTINE ABRO1(LU,ARCH)
IMPLICIT NONE
INTEGER LU,ARCH(3)
OPEN(LU,FILE=ARCH,ACCESS='DIRECT',STATUS='OLD',FORM='UNFORMATTED',
* RECL=1250)
RETURN
END

SUBROUTINE LEE(LU,BUF,DIM,REN)
IMPLICIT NONE
INTEGER DIM,LU,REN
REAL*8 BUF(DIM)
READ(LU,REC=REN)BUF
RETURN
END

SUBROUTINE ESC(LU,BUF,DIM,REN)
IMPLICIT NONE
INTEGER LU,A,DIM,REN
REAL*8 BUF(DIM)
WRITE(LU,REC=REN)BUF
RETURN
END

SUBROUTINE LEE1(LU,BUF,DIM,REN)
IMPLICIT NONE
INTEGER BUF(DIM),LU,DIM,REN
READ(LU,REC=REN)BUF
RETURN
END

SUBROUTINE ESC1(LU,BUF,DIM,REN)
IMPLICIT NONE
INTEGER LU,A,BUF(DIM),DIM,REN
WRITE(LU,REC=REN)BUF
RETURN
END

SUBROUTINE EN CAB
IMPLICIT NONE
INTEGER IBUF(15),HORA(4),DIA,MES(2),ANIO(2)
EQUIVALENCE (IBUF(1),HORA),(IBUF(9),DIA),(IBUF(11),MES),
* (IBUF(14),ANIO)
CALL FTIME(IBUF)
IF(MES.EQ.2HJA) THEN
MES(1) = 2HEN
MES(2) = 2HE
ELSE
```





SUBROUTINE CAPT

Captura de los datos iniciales. Hace llamada a todas las subrutinas de captura.

SUBROUTINE RIGBAR

Efectúa la preparación de las matrices de rigideces de las barras

SUBROUTINE COORD

Lee las coordenadas de los puntos nodales.

SUBROUTINE PROP

Captura las propiedades geométricas de las secciones transversales.

SUBROUTINE DATBAR

Lee los datos de cada barra como son el tipo de sección transversal nodo i, nodo j, tipo de material.

SUBROUTINE TIPMAT

Captura los tipos de materiales.

SUBROUTINE FRONT

Lee las condiciones frontera de los puntos nodales.

SUBROUTINE RENUM

Renumeración de las condiciones frontera diferentes de cero en forma secuencial para conocer el número de renglones y columnas que constituyen la matriz de la estructura y los vectores de carga.

SUBROUTINE RIGIDL

Calcula la matriz de rigidez local de cada barra del marco.

SUBROUTINE RIGIDG

Calcula la matriz de rigidez global de cada barra del marco.

SUBROUTINE FZAFI2

Captura los valores de una fuerza intermedia que puede ser lineal continua o discontinua, no lineal continua o discontinua.

SUBROUTINE FZAFI1

Captura el valor de un par concentrado.

SUBROUTINE FZAFI3

Captura el valor de una fuerza concentrada.

SUBROUTINE FZFILG

Cambia las Fuerzas de fijación del sistema local al global.

SUBROUTINE FZFID

Cambia los desplazamientos del sistema local al global.

SUBROUTINE ENSMAR

Realiza el ensamble de las matrices de rigideces de las barras.

SUBROUTINE CEROS

Inicializa el valor de la matriz de la Estructura.

SUBROUTINE TGAUSS

Realiza la triangulación de la matriz de la Estructura.

SUBROUTINE SGAUSS

Realiza la sustitución hacia adelante y hacia atrás de la matriz de la Estructura encontrando los desplazamientos en los nodos.

SUBROUTINE PREMAT

Preparación de la matriz de rigideces de cada barra.

SUBROUTINE SALE

Calcula la memoria usada por el programa para su ejecución.

SUBROUTINE CARGAS

Captura el número de barras y nodos cargados de la Estructura.

SUBROUTINE CARNUD

Lee las cargas de los nodos cargados y calcula sus elementos mecánicos.

SUBROUTINE CARBAR

Lee las cargas intermedias de las barras cargadas y calcula los elementos mecánicos.

SUBROUTINE PARCON

Calcula los elementos mecánicos de un par concentrado.

SUBROUTINE CARLIN

Calcula los elementos mecánicos de una carga lineal continua o discontinua, de una carga no lineal continua o discontinua.

SUBROUTINE ENSFZN

Realiza el ensamble de los elementos mecánicos de los nodos cargados.

SUBROUTINE ENSFZB

Realiza el ensamble de los elementos mecánicos de las barras cargadas con los de los nodos cargados.

SUBROUTINE CALFZA

Calcula las fuerzas internas de las barras en el sistema local y el sistema global.

SUBROUTINE SECC

Despliega en la pantalla los tipos de secciones de las barras.

SUBROUTINE GTRC

Posiciona el cursor en las Coordenadas deseadas.

SUBROUTINE ABRN

Abre archivo de trabajo nuevo para información con formato real\*8

SUBROUTINE ABRO

Abre archivo de trabajo ya existente para información con formato real\*8.

SUBROUTINE ABRN1

Abre archivo de trabajo nuevo para información con formato entero

SUBROUTINE ABRO1

Abre archivo de trabajo ya existente para información con formato entero.

SUBROUTINE LEE

Lee un registro con formato REAL\*8.

SUBROUTINE ESC

Escribe un registro con un formato REAL\*8.

SUBROUTINE LEE1

Lee un registro con un formato entero.

SUBROUTINE ESC1  
Escribe un registro con un formato entero.

SUBROUTINE ENCAE  
Imprime encabezado de pantallas para el sistema de Tesis.

SUBROUTINE PANT  
Despliega en la pantalla una forma de las secciones transversales

SUBROUTINE PANT1  
Despliega en la pantalla un menú de tipos de cargas intermedias.

SUBROUTINE PANT2  
Despliega en la pantalla la forma de una carga lineal continua y discontinua, no lineal continua y discontinua.

SUBROUTINE PANT3  
Despliega en la pantalla la forma de un par concentrado.

SUBROUTINE PANT4  
Despliega en la pantalla la forma de una fuerza concentrada.

SUBROUTINE CAPELE  
Captura los datos de los elementos del Muro.

SUBROUTINE RIGMUR  
Efectua la preparación de las matrices de rigideces de los Muros.

SUBROUTINE PREMA1  
Preparación de la matriz de rigideces de los elementos del Muro .

SUBROUTINE ENSMUR  
Ensambla las matrices de rigideces de los elementos del Muro y las del marco.

SUBROUTINE RIGI1G  
Calcula la matriz de rigidez del elemento 1 en el sistema global.

SUBROUTINE RIGI2G  
Calcula la matriz de rigidez del elemento 2 en el sistema global.

SUBROUTINE RIGI1L  
Calcula la matriz de rigidez del elemento 1 en el sistema local .

SUBROUTINE RIGI2L  
Calcula la matriz de rigidez del elemento 2 en el sistema local .

SUBROUTINE AINV1  
Calcula la matriz inversa [A] del elemento tipo 1.

SUBROUTINE AINV2  
Calcula la matriz inversa [A] del elemento tipo 2.

SUBROUTINE RIGID  
Calcula la matriz de rigidez S del elemento muro.

SUBROUTINE MULT  
Realiza la multiplicación de dos matrices.

SUBROUTINE TRANSP  
Realiza la matriz transpuesta de una matriz dada.

SUBROUTINE COSDI1

Calcula los cosenos directores.

SUBROUTINE CAPFZA

Calcula el vector fuerzas de cuerpo.

SUBROUTINE FZACU1

Calcula las fuerzas externas de cuerpo del elemento 1.

SUBROUTINE FZACU2

Calcula las fuerzas externas de cuerpo del elemento 2.

SUBROUTINE ESFMUR

Calcula los esfuerzos del muro.

SUBROUTINE HOOK

Contiene la relación de los esfuerzos-deformaciones por la ley generalizada de Hooke.

SUBROUTINE VECB

Contiene la matriz del campo de desplazamiento de los esfuerzos .

7.- EJEMPLOS DE APLICACION

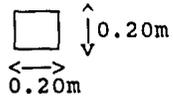
7.1 Obtener los elementos mecánicos, desplazamientos y fuerzas en cada una de las barras del marco mostrado en la figura (7.1.a) en el sistema local y en el global.

Datos:

$$E = 1'580,000.00 \text{ Ton/m}^2$$

Sección transversal de las barras :

$$NU = 0.15$$



Resultados:

ELEMENTOS MECANICOS (Ton-m)

<u>VI</u>	<u>MI</u>	<u>VJ</u>	<u>MJ</u>
-6.0000	-3.0000	-6.0000	3.0000
-6.0000	-3.0000	-6.0000	3.0000

ENSAMBLE DE FUERZAS: (Ton)

1.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000
2.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000
3.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000
4.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000
5.00000	6.00000	3.00000
0.00000	12.00000	.00000
0.00000	6.00000	-3.00000

DESPLAZAMIENTOS EN NODOS (Metros)

<u># NODO</u>	<u>EN X</u>	<u>EN Y</u>	<u>GIRO</u>
04:	.091734259	.001355819	.028670262
05:	.091722214	.000598667	.017897723
06:	.091686120	-.000815245	.028746480
07:	.217423075	.002408271	.028014995
08:	.217351237	.001199715	.018953084

DESPLAZAMIENTOS EN NODOS (Metros)

# NODO	EN X	EN Y	GIRO
09:	.217325028	-.001329505	.028115617
10:	.329273917	.003156703	.022952283
11:	.329175125	.001805899	.015622553
12:	.329142565	-.001544881	.023511835
13:	.414091029	.003657017	.016614735
14:	.413917489	.002417179	.010955358
15:	.413826347	-.001517234	.014970383
16:	.463629261	.003981202	.001913118
17:	.463487399	.003051119	.004685497
18:	.463460169	-.001336118	.013984241

FUERZAS EXTERNAS EN SISTEMA GLOBAL Y LOCAL RESPECTIVAMENTE (Ton)

# barra	$X_i$	$Y_i$	$\phi_i$	$X_j$	$Y_j$	$\phi_j$
1	-4.51 -28.56	-28.56 4.51	8.77 8.77	4.51 28.56	28.56 -4.51	4.75 4.75
2	-6.00 -12.61	-12.61 6.00	10.26 10.26	6.00 12.61	12.61 -6.00	7.74 7.74
3	-4.49 17.17	17.17 4.49	8.76 8.76	4.49 -17.17	-17.17 -4.49	4.72 4.72
4	.25 .25	-6.39 -6.39	-10.34 -10.34	-.25 -.25	6.39 6.39	-8.83 -8.83
5	.76 .76	-6.34 -6.34	-8.75 -8.75	-.76 -.76	6.34 6.34	-10.27 -10.27
6	-3.76 -22.17	-22.17 3.76	5.60 5.60	3.76 22.17	22.17 -3.76	5.69 5.69
7	-6.51 -12.66	-12.66 6.51	9.84 9.84	6.51 12.66	12.66 -6.51	9.69 9.69
8	-3.73 10.83	10.83 3.73	5.55 5.55	3.73 -10.83	-10.83 -3.73	5.64 5.64
9	1.51 1.51	-6.40 -6.40	-10.24 -10.24	-1.51 -1.51	6.40 6.40	-8.97 -8.97
10	.55 .55	-6.30 -6.30	-8.80 -8.80	-.55 -.55	6.30 6.30	-10.09 -10.09
11	-3.27 -15.77	-15.77 3.27	4.56 4.56	3.27 15.77	15.77 -3.27	5.27 5.27
12	-5.55 -12.77	-12.77 5.55	8.09 8.09	5.55 12.77	12.77 -5.55	8.55 8.55
13	-3.18 4.54	4.54 3.18	4.45 4.45	3.18 -4.54	-4.54 -3.18	5.09 5.09

# barra	$X_i$	$Y_i$	$\phi_i$	$X_j$	$Y_j$	$\phi_j$
14	2.08 2.08	-5.23 -5.23	-8.36 -8.36	-2.08 -2.08	5.23 5.23	-7.33 -7.33
15	.69 .69	-5.12 -5.12	-7.13 -7.13	-.69 -.69	5.12 5.12	-8.23 -8.23
16	-2.36 -10.54	-10.54 2.36	3.09 3.09	2.36 10.54	10.54 -2.36	3.98 3.98
17	-4.15 -12.88	-12.88 4.15	5.90 5.90	4.15 12.88	12.88 -4.15	6.55 6.55
18	-2.49 -.58	-.58 2.49	3.14 3.14	2.49 .58	.58 -2.49	4.34 4.34
19	3.66 3.66	-3.71 -3.71	-5.96 -5.96	-3.66 -3.66	3.71 3.71	-5.17 -5.17
20	1.92 1.92	-3.23 -3.23	-4.57 -4.57	-1.92 -1.92	3.23 3.23	-5.13 -5.13
21	-2.01 -6.83	-6.83 2.01	1.98 1.98	2.01 6.83	6.83 -2.01	4.05 4.05
22	-2.41 -13.36	-13.36 2.41	3.18 3.18	2.41 13.36	13.36 -2.41	4.06 4.06
23	-.57 -3.82	-3.82 .57	.79 .79	.57 3.82	3.82 -.57	.93 .93
24	2.99 2.99	-6.83 -6.83	-4.05 -4.05	-2.99 -2.99	-5.17 -5.17	1.56 1.56
25	.57 .57	-8.18 -8.18	-5.62 -5.62	-.57 -.57	-3.82 -3.82	-.93 -.93

7.2 Obtener las fuerzas de cuerpo, desplazamientos y esfuerzos de cada uno de los elementos del muro mostrado en la figura (7.2.a)

Datos:

$$E = 1'580,000.00 \text{ Ton/m}^2$$

$$NU = 0.15$$

$$\text{Espesor} = 0.2 \text{ m}$$

$$\text{Peso especifico} = 2.4 \text{ Ton/m}^3$$

Resultados:

FUERZAS DE CUERPO (Ton)

1.00000	-2.88000	-2.16000
.00000	-2.88000	0.00000
.00000	-2.88000	2.16000
2.00000	-1.44000	0.00000
.00000	-5.76000	0.00000
.00000	-1.44000	0.00000
3.00000	-2.88000	-2.16000
.00000	-2.88000	0.00000
.00000	-2.88000	2.16000
4.00000	-1.44000	0.00000
.00000	-5.76000	0.00000
.00000	-1.44000	0.00000
5.00000	-1.44000	-1.08000
.00000	-9.44000	.00000
.00000	-1.44000	1.08000

ENSAMBLE DE FUERZAS (Ton)

1.00000	-2.88000	-2.16000
.00000	-2.88000	0.00000
.00000	-2.88000	2.16000
2.00000	-1.44000	0.00000
.00000	-5.76000	0.00000
.00000	-1.44000	0.00000
3.00000	-2.88000	-2.16000
.00000	-2.88000	0.00000
.00000	-2.88000	2.16000
4.00000	-1.44000	0.00000
.00000	-5.76000	0.00000
.00000	-1.44000	0.00000
5.00000	-1.44000	-1.08000
.00000	-9.44000	.00000
.00000	-1.44000	1.08000

DESPLAZAMIENTOS EN LOS NODOS: (Metros)

	<u>AXIAL</u>	<u>CORTANTE</u>	<u>GIRO</u>
04:	.000830963	.001832641	.000679835
05:	.000743562	.000103185	.000557999
06:	.000931199	-.001647387	.000575259
07:	.003344362	.003706135	.001130028
08:	.003282826	.000001103	.001157356
09:	.003373367	-.002987390	.001005640
10:	.007131393	.004569492	.001715316
11:	.007105069	.000186100	.001406618
12:	.007141396	-.004065810	.001472697
13:	.011738650	.005402429	.001659657
14:	.011720627	.000071632	.001559840

	AXIAL	CORTANTE	GIRO
15:	.011737843	-.004502648	.001559312
16:	.017042789	.005451963	.002041264
17:	.016639749	.000185831	.001590469
18:	.016593296	-.004686038	.001699512

ESFUERZOS EN LOS ELEMENTOS DEL MURO: (Ton/m<sup>2</sup>)

	t <sub>xx</sub>	t <sub>yy</sub>	t <sub>xy</sub>
01 :	-35.016852986	-474.196868968	23.999049970
02 :	-34.554058809	-481.804769699	59.145248949
03 :	-7.904432628	-207.522027741	74.221293302
04 :	-16.102880702	-206.264178943	76.114640421
05 :	47.289657748	-8.849093830	57.881953030
06 :	12.455486432	411.772909412	11.743348301
07 :	-46.528504980	433.175581299	-37.542992312
08 :	36.412372941	155.178779986	-54.195287036
09 :	-28.986703146	176.566374164	-59.763708569
10 :	47.773846310	-18.314542329	-50.873782715

7.3 Obtener los elementos mecánicos, desplazamientos, fuerzas de cuerpo , fuerzas en cada una de las barras y los esfuerzos en cada uno de los elementos del Muro-Marco mostrado en la figura (7.3.a) .

Datos:

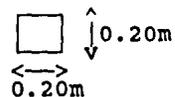
$$E = 1'580,000.00 \text{ Ton/m}^2$$

Sección transversal de las barras :

$$NU = 0.15$$

$$\text{Espesor} = 0.20 \text{ m}$$

$$\text{Peso Especifico} = 2.4 \text{ Ton/m}^3$$



Resultados:

ENSAMBLE DE FUERZAS (Ton)

<u>AXIAL</u>	<u>CORTANTE</u>	<u>GIRO</u>
1.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000
.00000	-2.88000	-2.16000
.00000	-2.88000	0.00000
.00000	-2.88000	2.16000
2.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000
.00000	-1.44000	0.00000
.00000	-5.76000	0.00000
.00000	-1.44000	0.00000
3.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000
.00000	-2.88000	-2.16000
.00000	-2.88000	0.00000
.00000	-2.88000	2.16000
4.00000	0.00000	0.00000
0.00000	0.00000	0.00000
.00000	-1.44000	0.00000
.00000	-5.76000	0.00000
.00000	-1.44000	0.00000
5.00000	6.00000	3.00000
0.00000	12.00000	.00000
.00000	4.56000	-4.08000
-8.00000	-1.44000	.00000
.00000	-1.44000	1.08000

DESPLAZAMIENTOS EN LOS NODOS (Metros)

<u># NODO</u>	<u>EN X</u>	<u>EN Y</u>	<u>GIRO</u>
06:	.000326722	-.000258929	.000221189
07:	.000373262	-.000500511	-.000016969
08:	.000416027	.000921851	.000333945
09:	.000370736	.000062404	.000278397
10:	.000461299	-.000808487	.000286100
11:	.001481004	-.000518143	.000410765
12:	.001576802	-.001009070	-.000019662
13:	.001669132	.001856414	.000562435
14:	.001637413	.000022415	.000576481
15:	.001683390	-.001482006	.000506272
16:	.003295674	-.000777777	.000792296
17:	.003431631	-.001533364	-.000109449
18:	.003567857	.002310912	.000851340
19:	.003558438	.000109821	.000711376
20:	.003582920	-.002038719	.000742758
21:	.005460618	-.001038591	.000334673
22:	.005688248	-.002078244	-.000288790
23:	.005904384	.002740896	.000844219
24:	.005902646	.000045376	.000798454

# NODO	EN X	EN Y	GIRO
25:	.005917569	-.002282886	.000797608
26:	.008147286	-.001294538	.006873159
27:	.008353362	-.002656611	.001582509
28:	.008579660	.002751402	-.001031664
29:	.008427212	.000091032	.000825986
30:	.008378504	-.002379006	.000851557

FUERZAS EXTERNAS EN SISTEMA GLOBAL Y LOCAL RESPECTIVAMENTE (Ton)

# barra	$X_i$	$Y_i$	$\phi_i$	$X_j$	$Y_j$	$\phi_j$
1	- .00 -5.45	-5.45 .00	-.01 -.01	.00 5.45	5.45 -.00	.02 .02
2	.04 -10.54	-10.54 -.04	-.05 -.05	-.04 10.54	10.54 .04	-.06 -.06
3	.98 .98	.01 .01	.03 .03	-.98 -.98	-.01 -.01	-.01 -.01
4	.90 .90	.18 .18	.24 .24	-.90 -.90	-.18 -.18	.29 .29
5	.02 -5.46	-5.46 -.02	-.04 -.04	-.02 5.46	5.46 .02	-.02 -.02
6	.12 -10.71	-10.71 -.12	-.17 -.17	-.12 10.71	10.71 .12	-.17 -.17
7	2.02 2.02	.01 .01	.04 .04	-2.02 -2.02	-.01 -.01	-.02 -.02
8	1.95 1.95	.34 .34	.47 .47	-1.95 -1.95	-.34 -.34	.55 .55
9	.00 -5.47	-5.47 -.00	-.03 -.03	-.00 5.47	5.47 .00	.03 .03
10	.19 -11.05	-11.05 -.19	-.28 -.28	-.19 11.05	11.05 .19	-.29 -.29
11	2.86 2.86	.02 .02	.10 .10	-2.86 -2.86	-.02 -.02	-.03 -.03
12	2.87 2.87	.46 .46	.62 .62	-2.87 -2.87	-.46 -.46	.76 .76
13	.14 -5.49	-5.49 -.14	-.13 -.13	-.14 5.49	5.49 .14	-.28 -.28
14	.18 -11.48	-11.48 -.18	-.30 -.30	-.18 11.48	11.48 .18	-.25 -.25

# barra	$X_i$	$Y_i$	$\phi_i$	$X_j$	$Y_j$	$\phi_j$
15	4.80 4.80	-.10 -.10	-.20 -.20	-4.80 -4.80	.10 .10	-.11 -.11
16	4.55 4.55	.60 .60	.87 .87	-4.55 -4.55	-.60 -.60	.94 .94
17	-.66 -5.39	-5.39 .66	.48 .48	.66 5.39	5.39 -.66	1.49 1.49
18	.43 -12.18	-12.18 -.43	-.51 -.51	-.43 12.18	12.18 .43	-.77 -.77
19	4.34 4.34	-5.39 -5.39	-1.49 -1.49	-4.34 -4.34	-6.61 -6.61	3.32 3.32
20	4.77 4.77	-5.58 -5.58	-2.55 -2.55	-4.77 -4.77	-6.42 -6.42	3.82 3.82

ESFUERZOS EN LOS ELEMENTOS DEL MURO (Ton/m<sup>2</sup>)

$t_{xx}$	$t_{yy}$	$t_{xy}$
-18.171803353	-243.164861063	11.258882523
-16.532742425	-243.032882388	26.901033862
-5.570773042	-110.833984665	33.356483200
-10.952686041	-104.849988753	33.439611738
16.496009107	5.389525144	24.172093112
5.580757585	198.963372723	6.018776578
-21.810979041	212.588988734	-17.574441188
16.402288291	85.917976532	-25.960669935
-15.638956100	98.255488944	-31.298688826
23.526986105	-3.160378091	-28.997632119

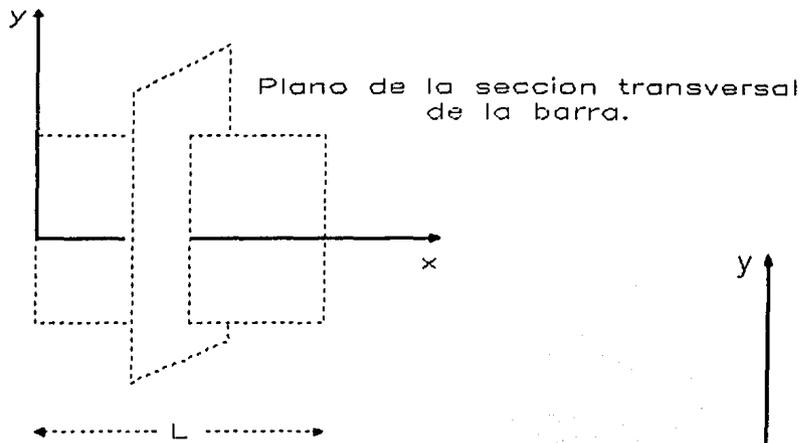


Fig (1.a)

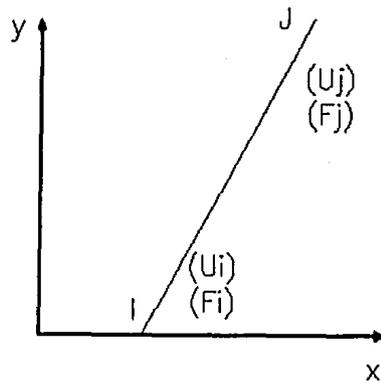


Fig (1.b)

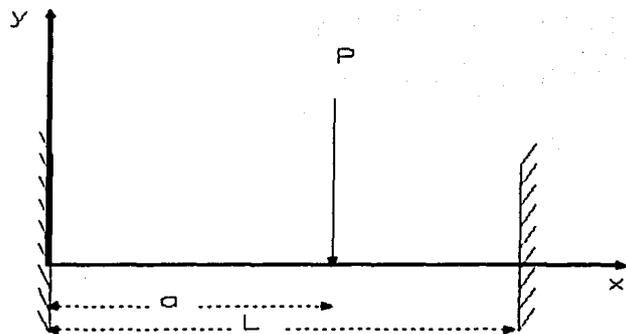


Fig (1.4.a)

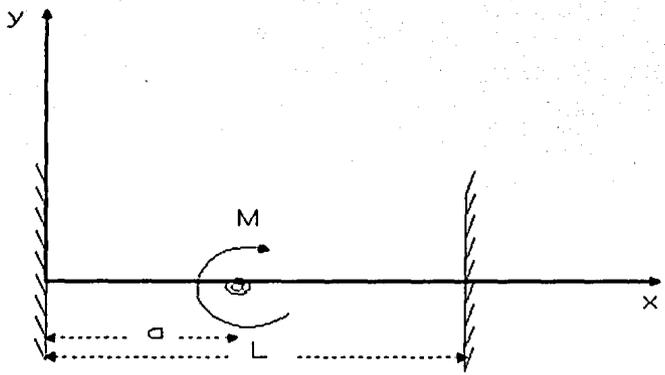


Fig (1.4.b)

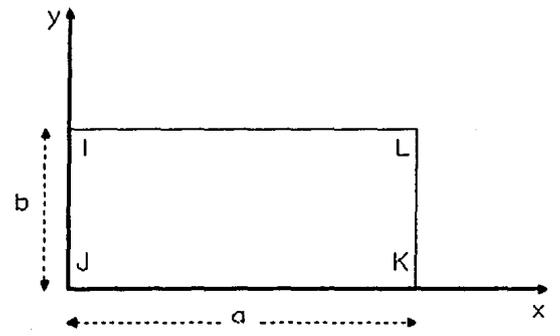


Fig (2.1.a)

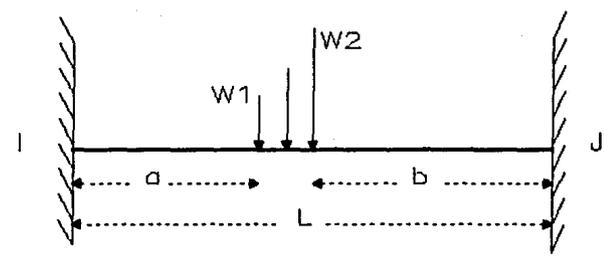


Fig (1.4.c)

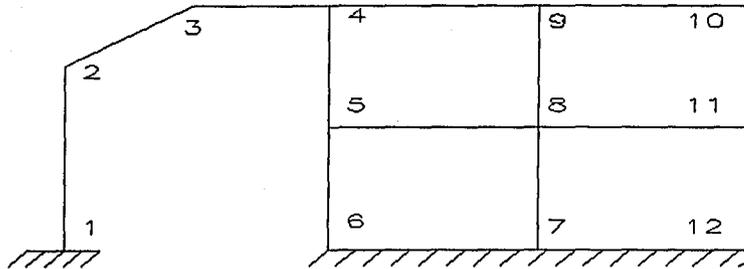
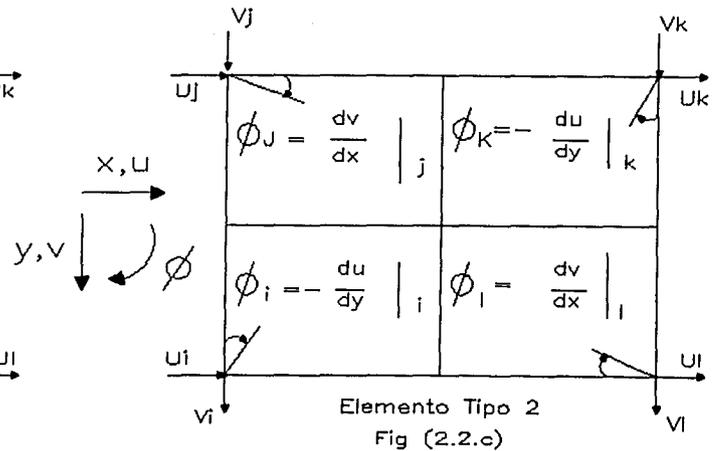
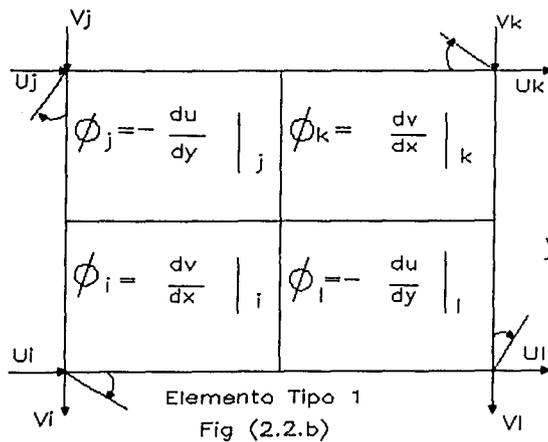


Fig (2.2.a)



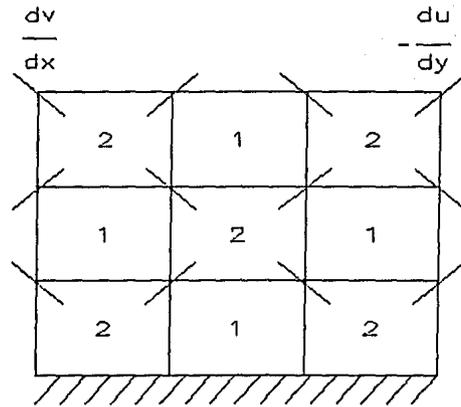


Fig (2.2.d) Estructura dividida en elementos

$g$  = Intensidad de la fuerza de gravedad

$$g = [G \cos b \quad G \sin b]^T$$

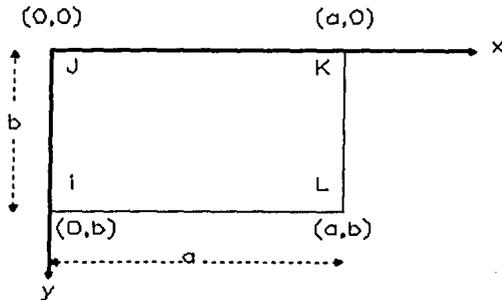


Fig (2.3.a)

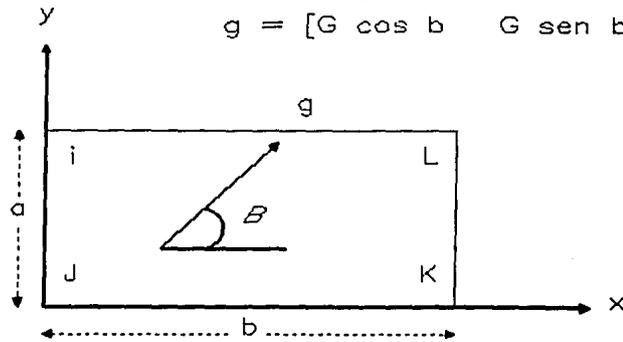


Fig (2.4.a)

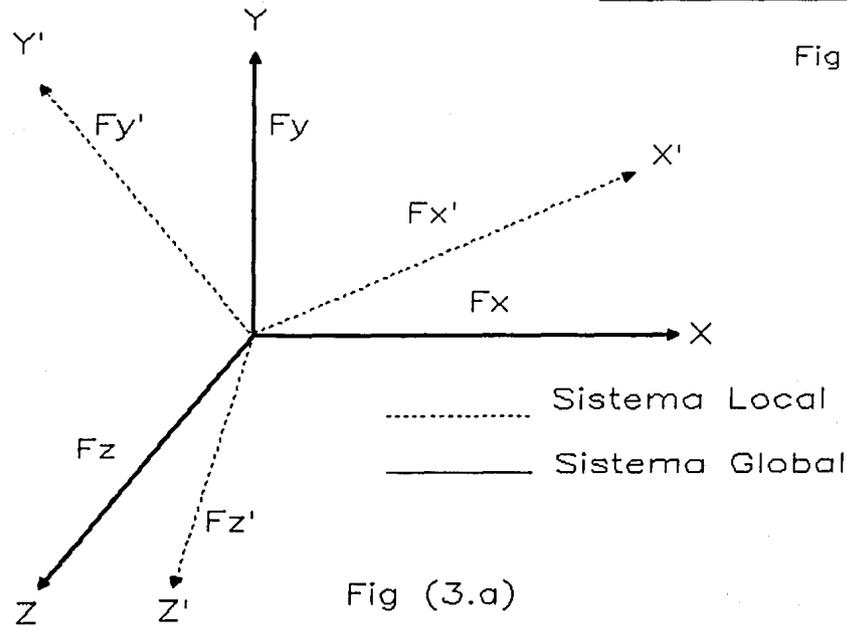


Fig (3.a)

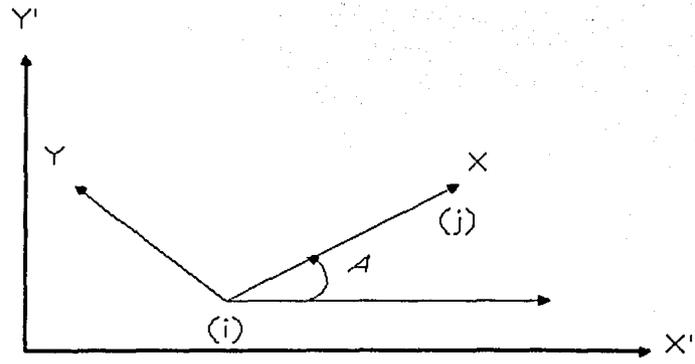


Fig (3.b)



← ANCHO DE BANDA = NBAN →

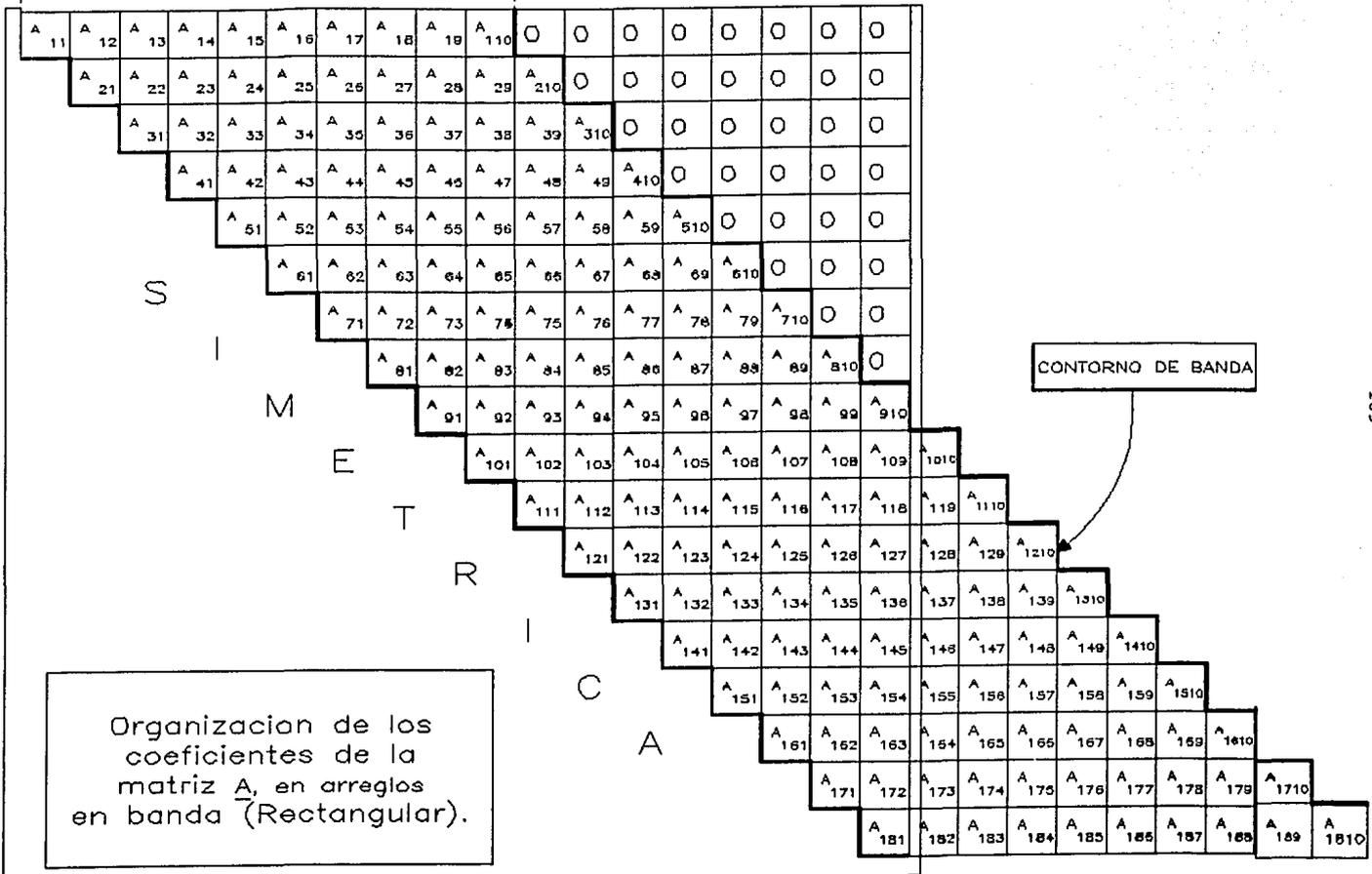


Fig (4.4.1.a)

$$\underline{A} = (N \times NBAN)$$

← NBAN →

A <sub>11</sub>	○	A <sub>13</sub>	○	A <sub>15</sub>	○	A <sub>17</sub>	○	○	○
A <sub>22</sub>	A <sub>23</sub>	A <sub>24</sub>	A <sub>25</sub>	○	A <sub>27</sub>	○	A <sub>29</sub>	○	○
A <sub>33</sub>	A <sub>34</sub>	A <sub>36</sub>	○	A <sub>37</sub>	○	A <sub>39</sub>	A <sub>310</sub>	A <sub>311</sub>	○
A <sub>44</sub>	A <sub>45</sub>	○	A <sub>47</sub>	○	A <sub>49</sub>	A <sub>410</sub>	A <sub>411</sub>	A <sub>412</sub>	○
A <sub>55</sub>	○	A <sub>57</sub>	○	A <sub>58</sub>	A <sub>510</sub>	A <sub>511</sub>	A <sub>512</sub>	A <sub>513</sub>	A <sub>514</sub>
A <sub>66</sub>	A <sub>67</sub>	○	A <sub>68</sub>	A <sub>610</sub>	A <sub>611</sub>	A <sub>612</sub>	A <sub>613</sub>	A <sub>614</sub>	○
A <sub>77</sub>	○	A <sub>79</sub>	A <sub>710</sub>	A <sub>711</sub>	A <sub>712</sub>	A <sub>713</sub>	A <sub>714</sub>	A <sub>715</sub>	○
A <sub>88</sub>	A <sub>89</sub>	A <sub>810</sub>	A <sub>811</sub>	A <sub>812</sub>	A <sub>813</sub>	A <sub>814</sub>	A <sub>815</sub>	○	A <sub>817</sub>
A <sub>99</sub>	A <sub>910</sub>	A <sub>911</sub>	A <sub>912</sub>	A <sub>913</sub>	A <sub>914</sub>	A <sub>915</sub>	○	A <sub>917</sub>	○
A <sub>1010</sub>	A <sub>1011</sub>	A <sub>1012</sub>	A <sub>1013</sub>	A <sub>1014</sub>	A <sub>1015</sub>	○	A <sub>1017</sub>	○	○
A <sub>1111</sub>	A <sub>1112</sub>	A <sub>1113</sub>	A <sub>1114</sub>	A <sub>1115</sub>	○	A <sub>1117</sub>	○	○	○
A <sub>1212</sub>	A <sub>1213</sub>	A <sub>1214</sub>	A <sub>1215</sub>	○	A <sub>1217</sub>	○	○	○	○
A <sub>1313</sub>	A <sub>1314</sub>	A <sub>1315</sub>	○	A <sub>1317</sub>	○	○	○	○	○
A <sub>1414</sub>	A <sub>1415</sub>	○	A <sub>1417</sub>	○	○	○	○	○	○
A <sub>1515</sub>	○	A <sub>1517</sub>	A <sub>1518</sub>	○	○	○	○	○	○
A <sub>1616</sub>	A <sub>1617</sub>	A <sub>1618</sub>	○	○	○	○	○	○	○
A <sub>1717</sub>	A <sub>1718</sub>	○	○	○	○	○	○	○	○
A <sub>1818</sub>	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Matriz de rigideces  
en arreglo de banda

Fig (4.4.2.a)





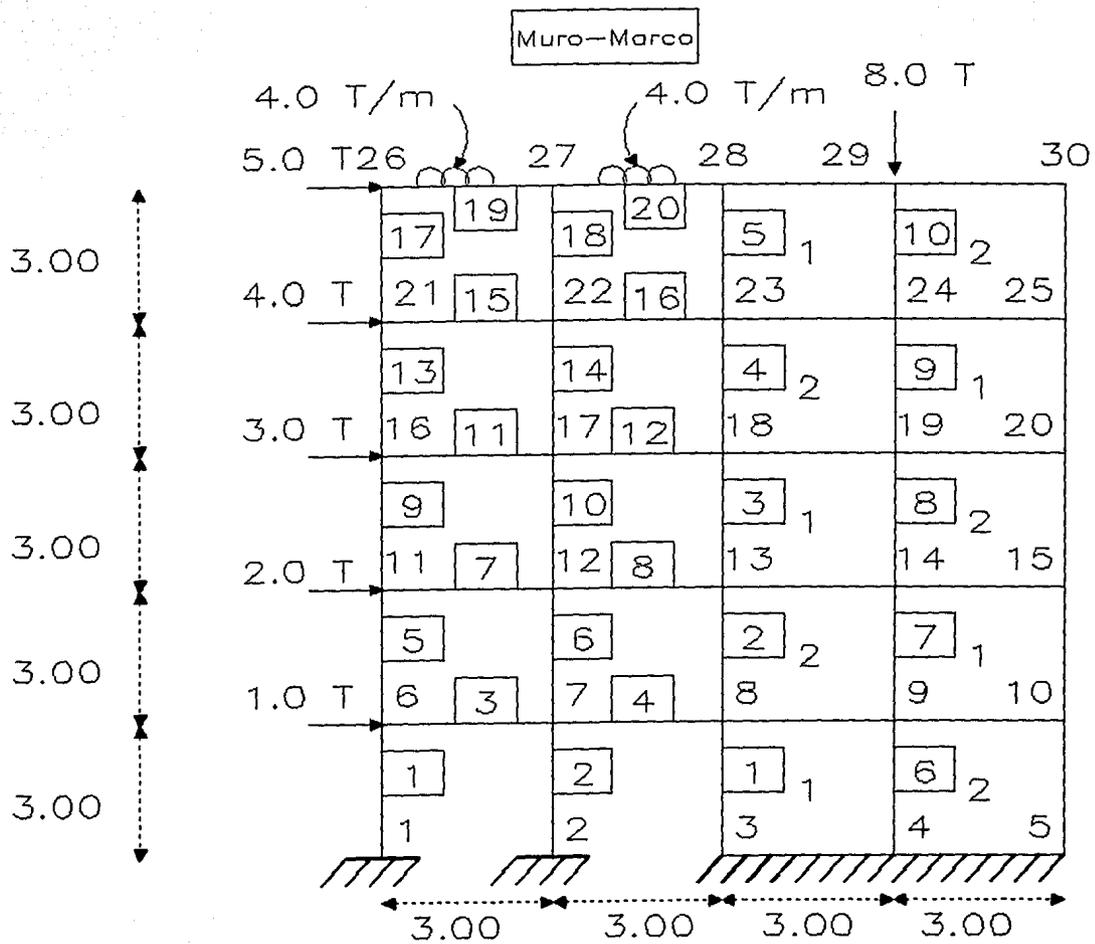
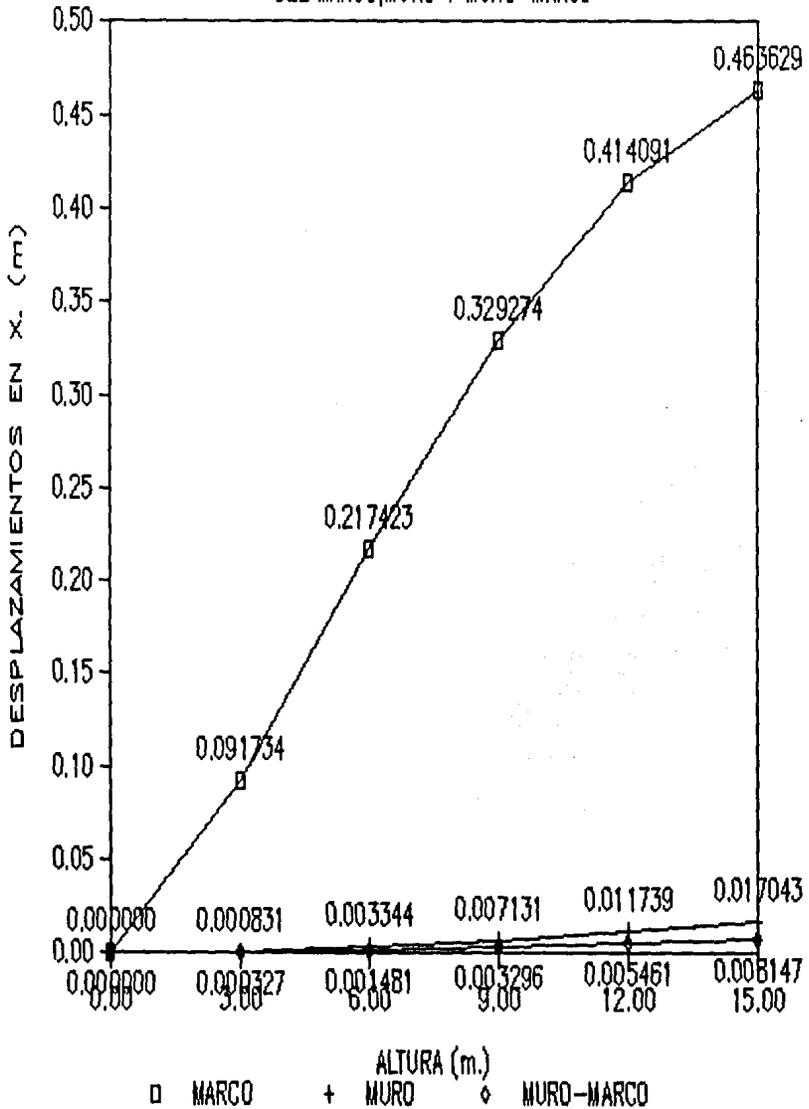


Fig (7.3.a)

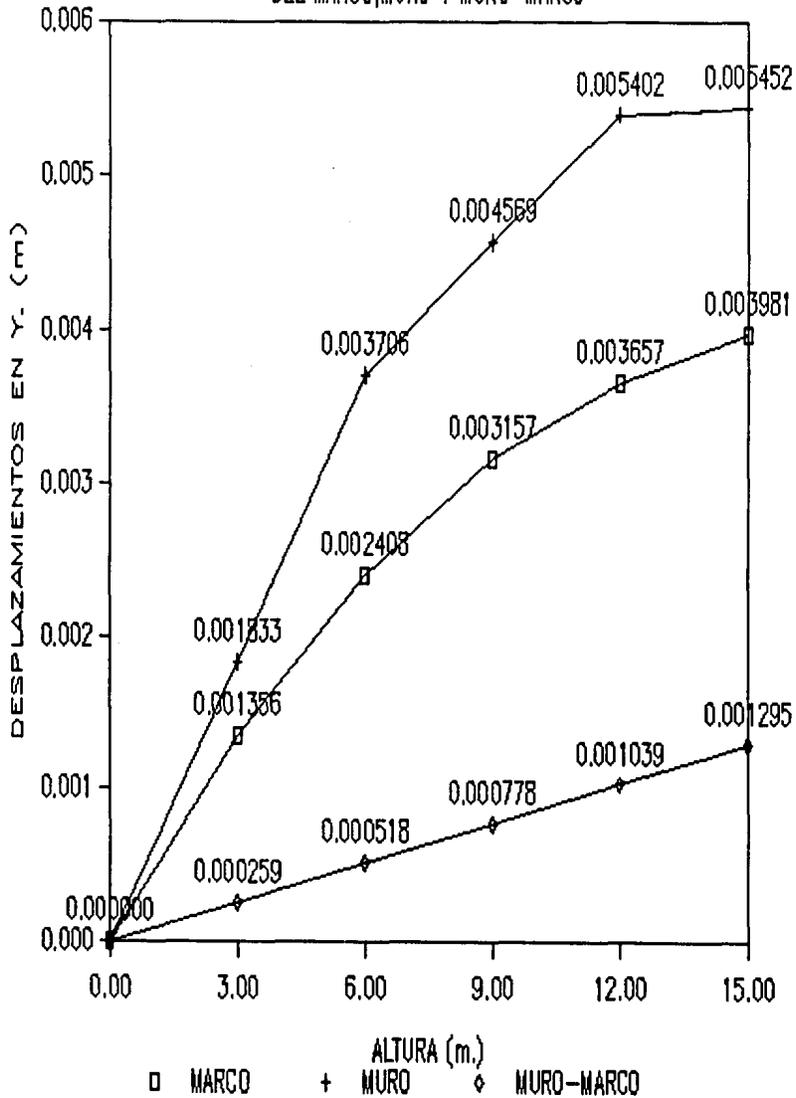
# COMPARACION DE DESPLAZAMIENTOS

DEL MARCO, MURO Y MURO-MARCO



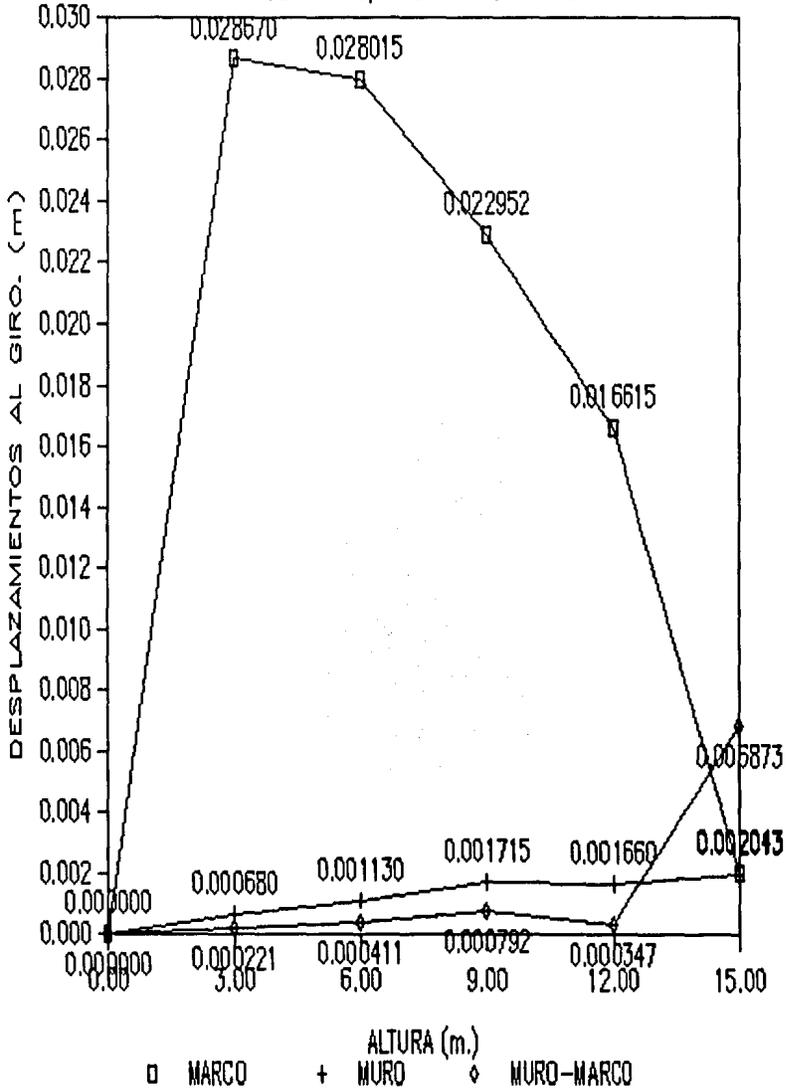
# COMPARACION DE DESPLAZAMIENTOS

DEL MARCO, MURO Y MURO-MARCO



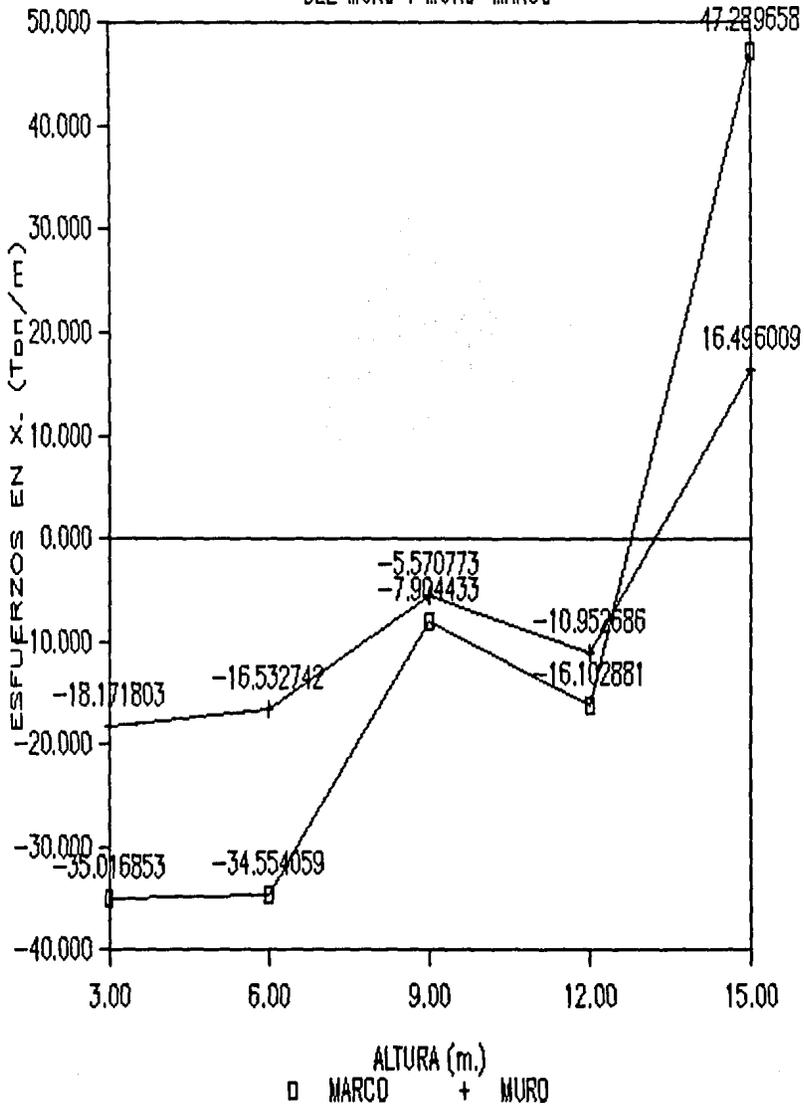
# COMPARACION DE DESPLAZAMIENTOS

DEL MARCO, MURO Y MURO-MARCO



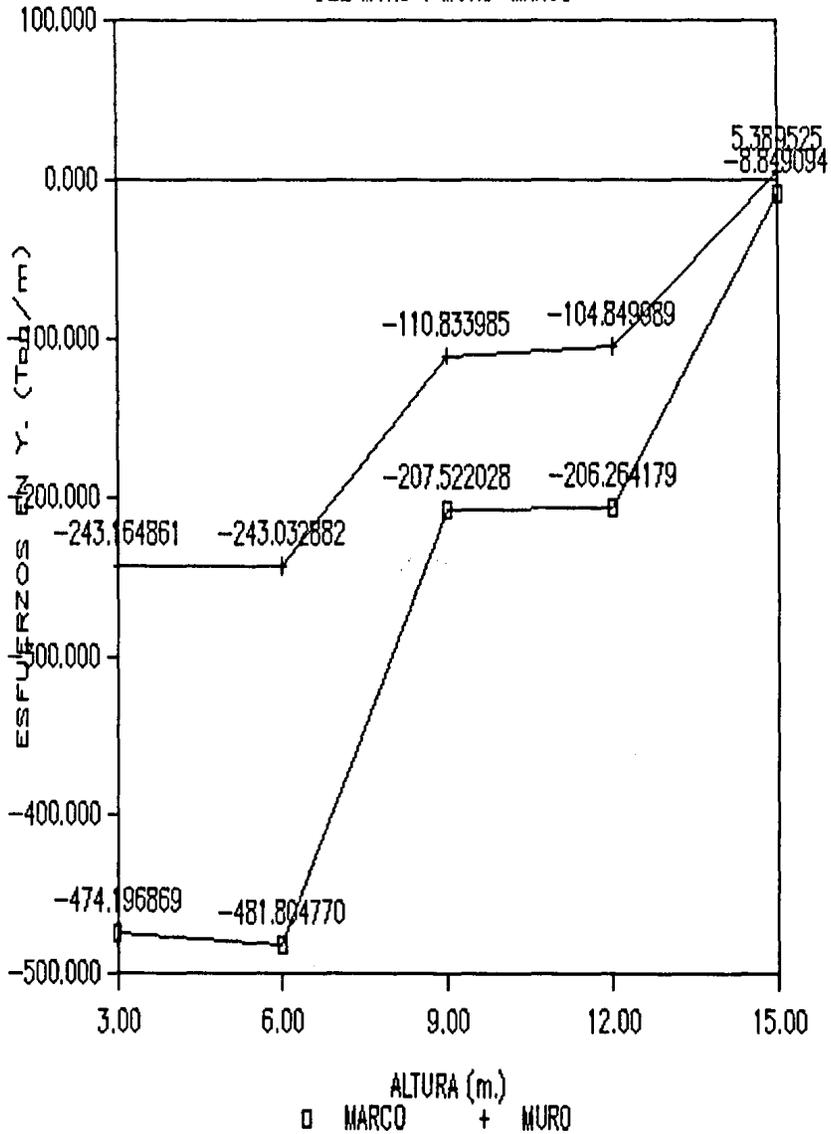
# COMPARACION DE ESFUERZOS.

DEL MURO Y MURO-MARCO



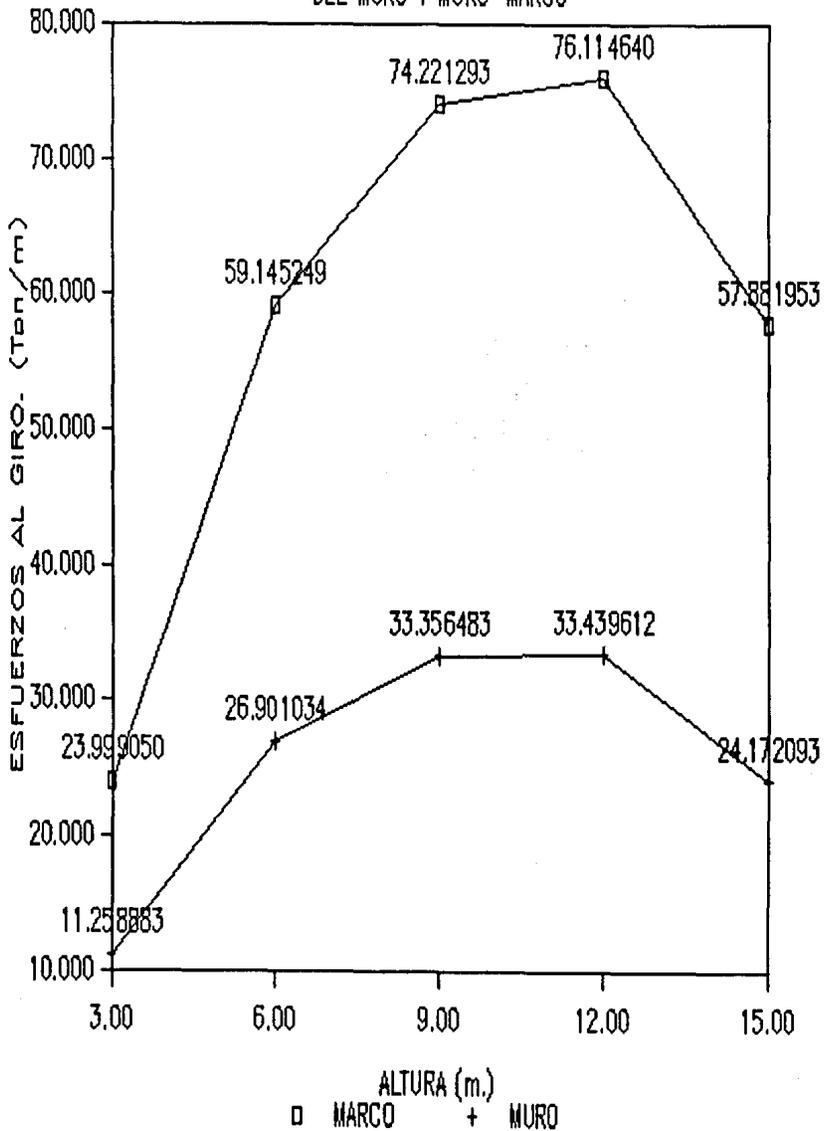
# COMPARACION DE ESFUERZOS.

DEL MURO Y MURO-MARCO



# COMPARACION DE ESFUERZOS.

DEL MURO Y MURO-MARCO



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

El método de las rigideces, permite resolver cualquier estructura esquelética plana, por diversa que sea su condición de apoyo o de cargas.

Con respecto al programa de computadora :

- Es posible analizar estructuras muro-marco de regular tamaño ( Aproximadamente hasta 50 niveles y 10 claros ) con una configuración básica para una minicomputadora de 512 kbytes . ( Ver inciso 5.2 ).
- Al considerar los resultados obtenidos con los ejemplos desarrollados , se puede afirmar que :
  - El marco se flexiona principalmente en modo cortante .
  - El muro se flexiona principalmente en modo flexionante
  - Los desplazamientos del muro-marco son menores a los del marco y del muro por separado.
  - Los esfuerzos obtenidos del muro-marco interconectados son también menores a los del muro, en los sentidos del eje X , Y y al giro.

Las Estructuras Muro-Marco no son Estructuras aisladas, sino que forman parte de Edificios.

El hecho de analizarlas por separado implica hipótesis en el análisis de Edificios, que deben de respetarse.

El método de solución presentado, resulta muy adecuado para programarse y la elaboración del programa es relativamente sencillo.

RECOMENDACIONES

Las formas de los elementos en que se discretiza el continuo deben ser lo mas regular posible.

Incluir un número mayor de elementos finitos en zonas de concentración de esfuerzos, por ejemplo; alrededor de agujeros , en placas, etc...

Si la solución exacta del problema no es conocida, es conveniente resolverlo con un mayor número de elementos y checar la convergencia cuando el número de elementos es incrementado.

El programa elaborado, puede ser adaptado para que acepte desplazamientos preescritos , articulaciones en los nodos , aceptar fuerzas sísmicas y barras con sección variable.

## REFERENCIAS

- Muro Marco - Ramón Cervantes y Víctor Porras Silva .  
División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería  
UNAM.
- El Método del Elemento Finito. Tercera Edición.  
Editorial Reverte, S.A.  
Autor: O.C. Zienkiewicz
- Análisis Estructural tercera edición.  
Autor: Jack C. Mc.Cormac.
- LIGNELET, PATRICE, Fortran 77 lenguaje Fortran v.  
Trad. Pedro LAFARÉ, España.  
Manuales de Informática MASSON, 1985
- Vera Badillo, Fernando. Solución de ecuaciones algebraicas en el  
análisis Estructural. Tesis Profesional.  
Mexico, D.F. ULSA 1980.
- Apuntes del Ing. Fernando Vera Badillo.
- Apuntes del Curso de Elemento Finito del Centro de actualización  
profesional de Ingeniería Civil. UNAM
- Journal of the Structural Division Proceedings of the American  
society of Civil Engineers,  
Vol 95 New Rectangular Finite Element, for Shear wall Analysis  
By Iain. A. Mac.Leod.