

Tesis de Maestría



UNIVERSIDAD VERACRUZANA
INSTITUTO DE INGENIERIA

H. Veracruz, ver., 6 de mayo de 1986

DI 125/86

Al Candidato al Grado señor ING. PEDRO TOMAS ORTIZ Y OJEDA
P R E S E N T E.-

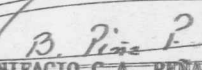
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el señor Ing. Francisco Ortiz Saenz, para que lo desarrolle como tesis, para obtener el Grado de Maestro en Ingeniería en el área de Ingeniería Mecánica.

T E M A:
"DISEÑO DE ARBOLES POR COMPUTADORA"

- CAP. 1.- INTRODUCCION
- CAP. 2.- METODO DE LA MATRIZ DE TRANSFERENCIA
- CAP. 3.- MODO DE USAR EL PROGRAMA
- CAP. 4.- CONCLUSIONES
- CAP. 5.- APENDICES

Sin otro particular, me es grato reiterarle la seguridad de mi más atenta y distinguida consideración.

A T E N T A M E N T E
"LIS DE VERACRUZ: ARTE, CIENCIA, LUZ"


DR. BONIFACIO C.A. PEÑA PARDO
DIRECTOR

c.c. archivo
c.c. minutarario

INSTITUTO DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD VERACRUZANA
VERACRUZ, VER.

INDICE

	Pág.
1. INTRODUCCION.....	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Hipótesis de cálculo utilizadas	5
2. METODO DE LA MATRIZ DE TRANSFERENCIA	11
2.1. Obtención de esfuerzos y deformaciones	11
2.2. Obtención de las frecuencias naturales y los modos	18
3. MODO DE USAR EL PROGRAMA	25
3.1. Uso del programa	25
3.2. Diagrama de flujo	27
3.3. Ejemplo	34
4. CONCLUSIONES	51
BIBLIOGRAFIA	52
5. APENDICES	54
5.1. Diccionario de variables	54
5.2. Listado del programa	59

Instituto de Ingeniería
Universidad Veracruzana



Pueden vencer los que
creen que pueden.

VIRGILIO

Reconocimientos

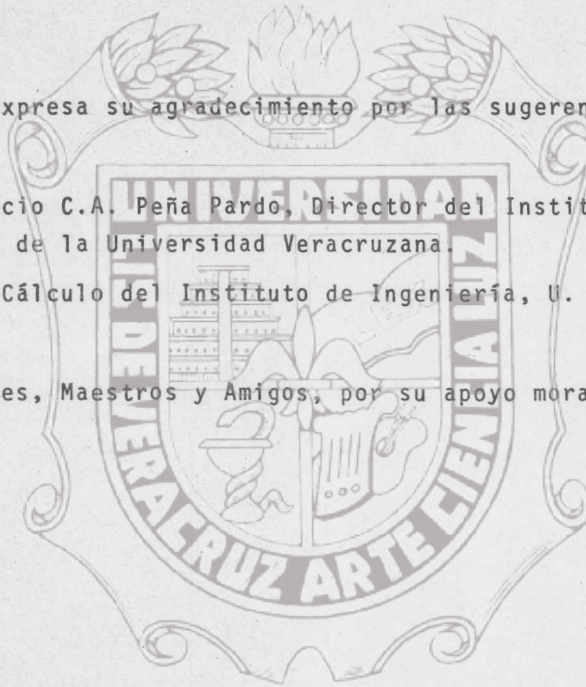
El autor expresa su agradecimiento por las sugerencias recibidas a:

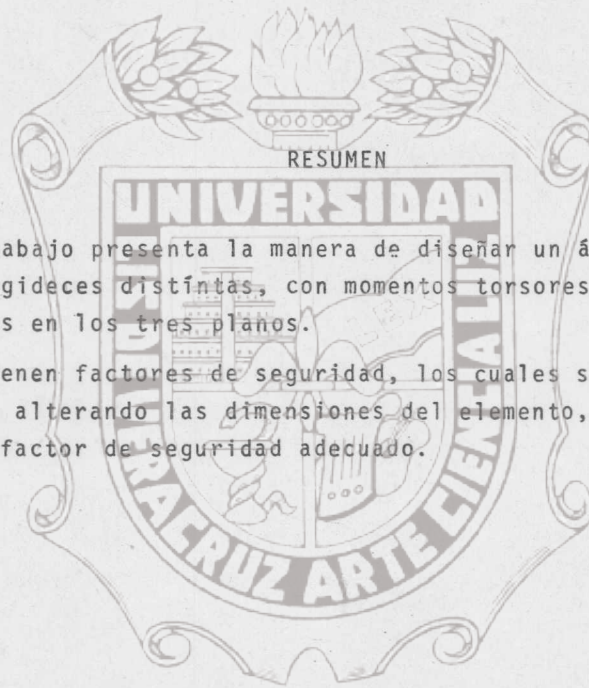
Dr. Bonifacio C.A. Peña Pardo, Director del Instituto de --
Ingeniería de la Universidad Veracruzana.

Centro de Cálculo del Instituto de Ingeniería, U. V.

y

A mis Padres, Maestros y Amigos, por su apoyo moral.





RESUMEN

Este trabajo presenta la manera de diseñar un árbol, de claros y rigideces distintas, con momentos torsores y fuerzas - aplicadas en los tres planos.

Se obtienen factores de seguridad, los cuales se pueden modificar, alterando las dimensiones del elemento, hasta encontrar el factor de seguridad adecuado.

1. INTRODUCCION.

1.1 Generalidades.

Las palabras eje, árbol, y huso se aplican indistintamente a las partes de máquinas que por ser guiadas, por medio de muñones y cojinetes, no admiten más movimiento que el de rotación.

Las fuerzas que actúan sobre estos elementos pueden ser una o varias de las siguientes:

- a) La carga útil debido a la energía transmitida (torsión).
- b) Las fuerzas debidas a las resistencias de rozamiento.
- c) El peso de la misma pieza o de otras piezas.
- d) Las fuerzas de inercia debidas a las variaciones de velocidad.
- e) Las fuerzas centrífugas o de inercia debidas a los cambios en la dirección del movimiento.
- f) Las fuerzas debidas a la variación de temperatura.
- g) Las atracciones magnéticas, como sucede en la maquinaria eléctrica.
- h) Las fuerzas vibratorias debidas a la falta de equilibrio en las piezas móviles, etc.

En nuestro caso solamente consideraremos a, c, d, h.

Según su aplicación estas cargas son estáticas o dinámicas.

Los miembros rotativos pueden clasificarse, en términos generales como sigue, según, el esfuerzo predominante o el fin que se destinan.

- a) Ejes, cargados transversalmente y sujetos principalmente a la flexión.
- b) Árboles, sujetos a torsión o a una combinación de torsión y flexión.
- c) Husos o árboles cortos que sostienen directamente una herramienta para realizar un trabajo, y por consecuencia deben tener un movimiento de gran precisión.

Al diseñar los husos rara vez, hay que tener en cuenta la resistencia de los esfuerzos a soportar. En estos miembros los puntos más importantes a tener en cuenta, son la rigidez torsional y a la flexión, así como la exactitud de los cojinetes. Cuando se diseña el huso teniendo en cuenta estas consideraciones, la resistencia a la rotura está más que asegurada.

Los ejes no están sujetos a ningún esfuerzo de torsión, solamente, el que se produce del rozamiento del cojinete, que puede despreciarse.

Muchas veces se encuentran combinados la torsión y la flexión dando lugar a los árboles. Sin embargo, en un árbol largo de transmisión de fábrica en la que la potencia es suministrada al árbol en un punto y emitida en pequeñas cantidades a intervalos cortos a lo largo del árbol, la flexión debida a la tracción de las correas es pequeña, cuidando de situar las poleas lo más cerca posible de los cojinetes, lo cual será una medida acertada.

Quando la potencia es entregada en cantidades variables a todo lo largo del árbol, el diámetro del árbol variará en diferentes partes de su longitud. Esto es inconveniente, ya que es importante que el árbol, los soportes, etc., sean en la medida posible uniformes e intercambiables para mayor comodidad y economía. La costumbre de disminuir el diámetro del árbol a medida que se aleja del punto de ataque, se reduce a casos en los que se trata de árboles de importancia (de 7.5 cm de diámetro en adelante por ejemplo).

Si el árbol es muy largo la distorsión angular es importante y puede ocurrir a menudo que el árbol, tenga suficiente resistencia a la torsión; pero que no sea bastante rígido.

Quando la deformación lateral o torsional de un árbol debe mantenerse dentro de límites estrechos, hay que fijar sus dimensiones, considerando tal deformación antes de analizar los esfuerzos. Una regla general en la práctica, es limitar la torsión en los árboles de transmisión a un grado por cada 20 diá-

metros de longitud.

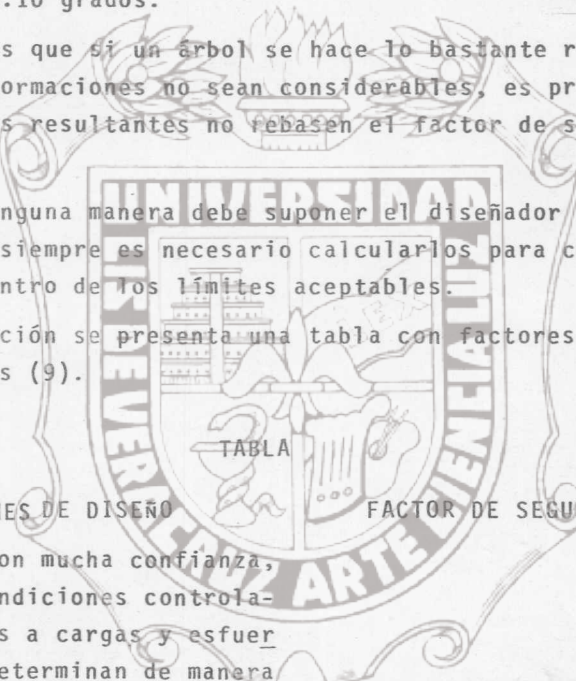
Otra regla límite de 0.25 grados a 3.2 grados por metro lineal para árboles de maquinaria.

La deflexión lateral del árbol de transmisión no debe exceder de 0.8 mm por metro lineal, para asegurar un buen contacto con los cojinetes aunque a veces puede ser deseable mayor rigidez. El máximo giro admisible de los apoyos se considera siempre en 0.10 grados.

La razón es que si un árbol se hace lo bastante rígido para que esas deformaciones no sean considerables, es probable que los esfuerzos resultantes no rebasen el factor de seguridad considerado.

Pero de ninguna manera debe suponer el diseñador que son seguros, casi siempre es necesario calcularlos para comprobar que están dentro de los límites aceptables.

A continuación se presenta una tabla con factores de seguridad sugeridos (9).



TABLA

CONDICIONES DE DISEÑO	FACTOR DE SEGURIDAD
Materiales con mucha confianza, usados en condiciones controladas y sujetas a cargas y esfuerzos que se determinan de manera certera. 1.2 - 1.5
Materiales bien conocidos, bajo condiciones de ambiente razonables, sujetos a cargas y esfuerzos que se determinan fácilmente. 1.5 - 2.0

Materiales ordinarios, bajo condiciones de ambiente comunes y sujetos a cargas y esfuerzos que pueden ser de terminados.

..... 2.0 - 2.5

Materiales no probados, usados en condiciones promedio de ambiente y, de cargas.

..... 3.0 - 4.0

Materiales conocidos, usados en condiciones de ambiente inciertas, con cargas y esfuerzos del mismo tipo.

..... 3.0 - 4.0

Factores de seguridad basados en el punto de fluencia y fatiga de materiales dúctiles.

Para materiales frágiles bajo cargas estáticas, el factor de seguridad debe duplicarse, para ser seleccionado en idénticas condiciones.

Cuando se presentan condiciones en las que las de la tabla son restrictivas, es adecuado considerar un factor de seguridad de acuerdo a lo siguiente:

- 1.- La confianza en la estimación de cargas y esfuerzos.
- 2.- La confianza en materiales y el comportamiento de los mismos.
- 3.- La confianza del taller de fabricación, en hacer el diseño recomendado.
- 4.- La seriedad de una falla y la facilidad de su reparación.
- 5.- Las condiciones de ambiente en que trabajará la pieza.

Si el centro de gravedad de un árbol coincide, con el eje de rotación y la pieza no se deforma bajo carga, el árbol no vibrará.

Esta condición no puede obtenerse siempre. Solamente los -- árboles largos bajo cargas ligeras, apoyados sobre cojinetes, con claros pequeños, tienen casi cero de deflexión.

A causa de tal imperfección en los árboles, las fuerzas cen- trífugas tienden a aumentar la deflexión del árbol. Al incre- mentarse la frecuencia, llega el instante en el cual el árbol comienza a vibrar bastante.

Esta velocidad es llamada velocidad crítica de rotación.

Como regla general, los árboles no deben operar a veloci- dades que excedan el 80% de la velocidad crítica.

La velocidad crítica está muy cerca a la frecuencia natural en un árbol sujeto a flexión.

1.2 Hipótesis de cálculo utilizadas.

Para encontrar los esfuerzos y deformaciones se utiliza el- método de la matriz de transferencia (10). En el capítulo 2 - se describirá el desarrollo de este método.

Pasamos a presentar las fórmulas correspondientes a los mo- mentos de inercia, polar de inercia y de áreas, de cada tipo- de árbol según su geometría, circular (maciza y hueca), rec- tangular (maciza y hueca).

Para la sección circular:

$$A = \frac{\bar{u} (D_1^2 - D_2^2)}{4}$$

$$I_x = I_y = \frac{\bar{n} (D_1^4 - D_2^4)}{64}$$

$$J = 2 \cdot I_x$$

Para la sección rectangular maciza:

$$A = L_x \cdot L_y$$

$$I_x = \frac{L_x \cdot L_y^3}{12}$$

$$I_y = \frac{L_x^3 \cdot L_y}{12}$$

$$J = \frac{L_x \cdot L_y^3}{16} (16/3) + 3.36 \frac{L_y}{L_x} \left(1 - \frac{L_y}{12L_x^4} \right)$$

$$(L_y \leq L_x)$$

Para la sección rectangular hueca:

$$A = L_x \cdot L_y - L_{hx} \cdot L_{hy}$$

$$I_x = \frac{1}{12} (L_x \cdot L_y^3 - L_{hx} \cdot L_{hy}^3)$$

$$I_y = \frac{1}{12} (L_y \cdot L_x^3 - L_{hy} \cdot L_{hx}^3)$$

$$J = \frac{(L_x - L_{hx})(L_y - L_{hy}) [(L_x + L_{hx})(L_y + L_{hy})]^2}{16 [L_x(L_x - L_{hx}) + L_y(L_y - L_{hy})] - 8 [(L_x - L_{hx})^2 + (L_y - L_{hy})^2]}$$

$$(L_x \geq L_y, L_{hx} \geq L_{hy})$$

Consideraremos el peso propio del árbol, discretizado como una fuerza aplicada en los nudos (la mitad del peso al nudo de la derecha y la otra mitad del peso al nudo izquierdo).

De la matriz de transferencia se obtiene, como dijimos, la deflexión, la pendiente, el momento y el cortante.

A continuación se obtiene los pares torsores (máximo y mínimo) en cada nudo. Se consideran dos puntos por nudo: uno - antes del nudo y otro después.

En el punto antes del nudo digamos I, el torsor valdrá lo mismo que en el punto posterior, del nudo anterior I-1, y en el punto posterior del nudo I, el torsor se incrementa en el par torsor exterior aplicado al nudo I.

Después se obtiene los esfuerzos axiales en cada nudo. Se supone que solo hay un nudo capaz de absorber el esfuerzo -- axial resultante: el nudo L. En primer lugar se obtiene este esfuerzo axial resultante y se aplica como fuerza exterior - con signo cambiado en L.

Se considera ahora el giro torsional y la deformación --- axial por nudo.

El ángulo de giro a torsión por unidad de longitud es:

$$\theta_t = \frac{M}{JG}$$

Se calcula para cada vano.

Pasamos a calcular las deformaciones entre los nudos que - consideramos que tendrán que absorber los esfuerzos axiales - y torsionales. Es decir obtenemos:

$$\sum_i (L/S)_i$$

$$\sum_i (L/J)_i$$

Variando i entre cada dos nudos consecutivos de los dados - antes, para deformaciones torsionales y axiales tenemos:

$$\text{Angulo girado a torsión} = \frac{M}{J \cdot G} \cdot J \cdot \sum (L/J)$$

$$\text{Deformación Axial} = \frac{Ax}{E} \cdot \sum (L/S)$$

Se señala los puntos más desfavorables en cada nudo para -- todos los criterios de cálculo. Por principio se toma el vano de sección mínima (de los dos concurrentes en el nudo) que será el menos resistente. Y se toma un punto de la superficie, sabiendo que el cortante será nulo en él, pero las tensiones-tangenciales por pares torsores así como las tensiones normales, son ambas máximas. Con lo que salvo en el caso de dimensionamiento a cortante, los puntos de la periferia serán los que tengan los mayores esfuerzos según la sección.

- Sección circular: cualquier punto de la superficie exterior por simetría.

$$\sigma = \frac{|Ax|}{S} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{I} \cdot D_1$$

$$\tau = \frac{D_1 \cdot T}{J}$$

- Sección rectangular: punto medio del lado mayor.
Rectangular maciza.

$$\sigma = \frac{|Ax|}{S} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{2 I_x \cdot I_y} \cdot Lme$$

$$\tau = \frac{3 Lma + 1.8 Lme}{(Lma \cdot Lme)^2} \cdot T$$

Rectangular hueca:

$$\sigma = \frac{|Ax|}{S} + \frac{\sqrt{M_x^2 + M_y^2}}{2 I_x I_y} \cdot Lme$$

$$\tau = \frac{4 T}{(Lme - Lmeh) (Lma + Lmah) (Lme + Lmeh)}$$

Para la comprobación según el criterio de resistencia estática usaremos la teoría de rotura máxima a tensión cortante (Tresca).

$$Coseg = \frac{\sigma_{yp}}{2 \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2}}$$

- σ_{yp} = Límite de cedencia o fluencia del material.
- Coseg = Coeficiente de seguridad obtenido del nudo.
- σ = Tensión normal en el nudo (sección mínima).
- τ = Esfuerzo cortante.

Se utilizará el criterio del código "ASME" (1), para la comprobación, para lo cual afectaremos las tensiones anteriores de uno de los coeficientes según el grado de choque.

GRADO DE CHOQUE	K_{mf} COEF. FLECTOR	K_{to} COEF. TORSION
1	1	1
2	1.75	1.75
3	1.5	1
4	1.75	1.25
5	2.5	2.25

Tesis de Maestría

El coeficiente axial depende de la esbeltez.

$$Es = \frac{L}{\text{Minimo } (I_x, I_y) / S}$$

Entonces:

$$Es \approx 115$$

Entonces:

$$K_{ax} = \frac{1}{1 - \frac{\sigma_{yp} Es^2}{4\mu^2 E}}$$

$$K_{ax} = \frac{\sigma_{yp} Es^2}{\mu^2 E}$$

Coseg =

$$\sqrt{\frac{1}{4} \left(K_{mf} \left(\sigma - \frac{Ax}{S} \right) + K_{ax} \frac{Ax}{S} \right)^2 + (K_{to} C)^2}$$

Con:

Ax = Esfuerzo axial

S = Valor del área de la sección recta.

2. METODO DE LA MATRIZ DE TRANSFERENCIA

2.1 Obtención de esfuerzos y deformaciones.

En primer lugar, considerando las siguientes hipótesis de resistencia de materiales y teoría de estructuras:

- Uniformidad de los materiales.
- Isotropía.
- Trabajo en zona elástica.
- Principio de superposición.
- Pequeñas deformaciones.

Se supone un solo material a lo largo del árbol.
Consideremos el árbol siguiente:



El cual dividimos en n nudos que determinan $n - 1$ vanos o claros de diferentes momentos de inercia numerándolos correlativamente de izquierda a derecha.

Debemos definir un nudo cada:

- Cambio de sección.
- Punto de aplicación de cargas o masas inertes.
- Apoyos.

Los apoyos los supondremos puntuales y con tres rigideces posibles:

- A desplazamiento.
- A giro a flexión.
- A giro torsional.

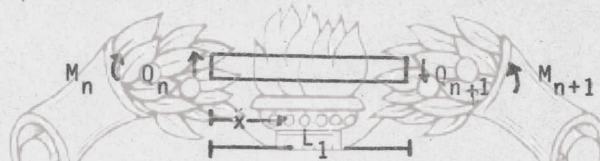
Cuando la rigidez es infinita (empotramiento) se considera un valor de 10^{10} para evitar errores.

Las fuerzas y los momentos exteriores deberán ser puntuales.

Si existe un esfuerzo axial (debido a engranajes helicoidales) se absorberá en un nudo que se indicará.

Al considerar por ejemplo, el giro torsional entre dos nudos no consecutivos se deberá indicar los nudos a considerar.

Para describir la situación en cada nudo se necesitan cuatro cantidades: la deflexión y , la pendiente y' , el momento M y la fuerza cortante Q , consideremos la sección del árbol entre los tramos n y $n + 1$ como se muestra en la figura de abajo.



Estas cuatro cantidades, incluyendo la deflexión y la pendiente, se pueden expresar en forma vectorial $Z = [y, y', M, Q]$ que describe la condición del nudo n por lo que se conoce como vector de estado.

Consideremos el vector en el nudo 1, el vector de estado será:

$$Z_1 = [y_1, y_1', M_1, Q_1]^T$$

Si no actúa ninguna fuerza entre los nudos 1 y 2, la deflexión, la pendiente, el momento y el cortante en el tramo dos será:

$$Q_2 = Q_1$$

$$M_2 = M_1 + L_1 Q_1$$

$$y_2' = y_1' + L_1 / EI_1 M_1 + L_1^2 / 2EI_1 Q_1$$

$$y_2 = y_1 + y_1' L_1 + L_1^2 / 2EI_1 M_1 + L_1^3 / 6EI_1 Q_1$$

Calcularemos dos puntos en cada nudo, uno anterior y uno posterior al mismo, con la condición de contorno de momento flector y esfuerzo cortante, ambos nulos en el principio y final del árbol (punto anterior del primer nudo y posterior del último respectivamente).

Para lo cual transformaremos las ecuaciones anteriores a:

$$Q_1 = Q_2$$

$$M_1 = M_2 - L_1 Q_1$$

$$y_1' = y_2' - L_1 / EI_1 M_1 + L_1^2 / 2EI_1 Q_1$$

$$y_1 = y_2 + y_2' L_1 - L_1^2 / 2EI_1 M_1 + L_1^3 / 6EI_1 Q_1$$

Las ecuaciones anteriores se pueden escribir en forma matricial como sigue:

$$L_1 = \begin{bmatrix} 1 & L_1 & -L_1^2/2EI_1 & L_1^3/6EI_1 \\ 0 & 1 & -L_1/EI_1 & L_1^2/2EI_1 \\ 0 & 0 & 1 & -L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; Z_1 = \begin{bmatrix} y \\ y' \\ M \\ Q \end{bmatrix}; Z_2 = \begin{bmatrix} y \\ y' \\ M \\ Q \end{bmatrix}$$

ó $Z_2 = L_1 Z_1$

Esta última ecuación nos dice que el vector de estado en el nudo 1 multiplicado por una matriz cuadrada de 4 x 4 llamada L_1 cuyos elementos son conocidos, nos produce el vector de estado 2, esta matriz L_1 , transfiere el estado del nudo 1 al 2, por lo que se conoce como matriz de transferencia.

Para cada elemento de la viga o árbol existe una matriz de transferencia conocida, llamada L ; repitiendo lo anterior para los elementos 2,3,... etc., y representándolo de manera siguiente tenemos:

$$Z_2 = L_1 Z_1$$

$$Z_3 = L_2 Z_2 = L_2 L_1 Z_1$$

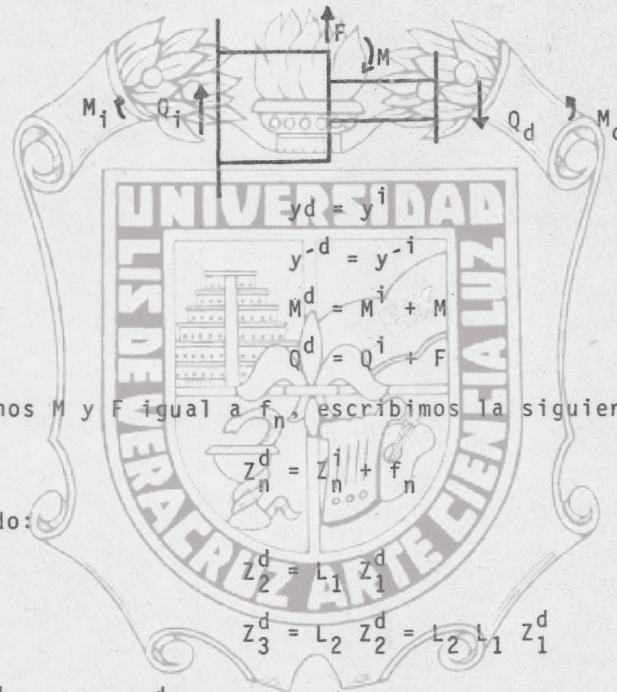
$$Z_4 = L_3 Z_3 = L_3 L_2 L_1 Z_1$$

.....

Se observa que el vector de estado es el mismo.

Cuando se tiene aplicadas fuerzas en un nudo cambia esta situación.

En la figura siguiente se considera este caso, para una pequeña longitud cercana al nudo, la deflexión y la pendiente no cambian pero para conservar el equilibrio es necesario -- que: $M_2 = M_1 + M$ y $Q_2 = Q_1 + F$.



Si hacemos M y F igual a f_n , escribimos la siguiente expresión:

$$z_n^d = z_n^i + f_n$$

Continuando:

$$z_2^d = L_1 z_1^d$$

$$z_3^d = L_2 z_2^d = L_2 L_1 z_1^d$$

$$z_n^d = L_{n-1} z_{n-1}^d = L_{n-1} L_{n-2} \dots L_3 L_2 L_1 z_1^d$$

$$z_{n+1}^d = L_n z_n^d = L_n L_{n-1} \dots L_3 L_2 L_1 z_1^d$$

Si $z_n^d = z_n^i + f_n$

$$z_{n+1}^d = L_n z_n^d = L_n L_{n-1} \dots L_3 L_2 L_1 z_1^i + L_n f_n$$

Haciendo: $A = L_n - 1 \dots \dots L_3 L_2 L_1$ y $B = L_n$

Entonces: $Z_{n+1} = B A Z_1 + B f_n$

En donde A es llamada matriz del vano y B la matriz de punto o nudo.

La matriz de punto tendrá dos rigideces:

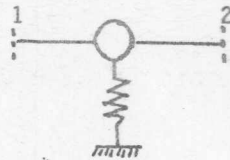
- A desplazamiento.
- A giro a flexión.

Considerando primero la rigidez a desplazamiento.

En este procedimiento de parámetros concentrados, consideramos a las masas concentradas en puntos seleccionados, como muestra la figura.



Tomando un punto cualquiera y aplicando la rigidez a desplazamiento tenemos:



Para el resorte:

$$x_2 = x_1$$

$$y_2 = y_1$$

$$M_2 = M_1$$

$$Q_2 = - Kx_1 + Q_1$$

Para el giro a flexión:



$$x_2 = x_1$$

$$y_2' = y_1'$$

$$M_2 = -EI\theta + M_1 = -K_\theta \theta + M_1$$

$$Q_2 = Q_1$$

En forma matricial:

$$B_n = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -K_\theta & 1 & 0 \\ -K_y & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

En la primera pasada por todo el eje, calculamos la matriz de transferencia final $A_{final} = A \cdot B \cdot Z_1$ y $F = f \cdot B$, para obtener el desplazamiento y la pendiente en el origen con la condición de contorno $M(0) = 0$ y $Q(0) = 0$, donde F es el vector de carga transformado.

$$Z_n = A_{final} Z_{n-1} + F$$

6

$$\begin{bmatrix} y \\ y' \\ M \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y(0) \\ y'(0) \\ M(0) \\ Q(0) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \end{bmatrix}$$

de aquí que:

$$a_{11} y(0) + a_{12} y'(0) = 0$$

$$a_{21} y(0) + a_{22} y'(0) = 0$$

$$a_{31} y(0) + a_{32} y'(0) = -f_3$$

$$a_{41} y(0) + a_{42} y'(0) = -f_4$$

aplicando la condición de contorno:

$$a_{31} y(0) + a_{32} y'(0) = -f_3$$

$$a_{41} y(0) + a_{42} y'(0) = -f_4$$

la solución del sistema anterior es:

$$y(0) = \frac{-f_3 a_{42} + f_4 a_{32}}{a_{31} a_{42} - a_{41} a_{32}}$$

$$y'(0) = \frac{-f_4 a_{31} + f_3 a_{41}}{a_{31} a_{42} - a_{41} a_{32}}$$

Con estos dos valores volvemos a calcular la matriz de -- transferencia en cada nudo, obteniendo la pendiente, el desplazamiento, el flector y el cortante antes y después de cada nudo.

El sistema de ejes coordenados que se usa en el programa es el siguiente:

- Eje Z en la dirección longitudinal del eje (con posibilidad de estar inclinado sobre el plano horizontal).
- Eje Y, en la dirección transversal hacia arriba y definiendo el plano vertical con el eje Z.
- Eje X, transversal y formando sistema dextrógiro.

El sistema de unidades es el siguiente:

- Fuerza: Kilogramo fuerza.
- Longitud: Centímetro.
- Tiempo: Segundo.

2.2 Obtención de las frecuencias naturales y los modos.

Para lograr lo anterior consideremos primero la matriz de va no idealizándola como el de una viga con masa uniforme.

Considerando las fuerzas que actúan en un elemento de viga - tenemos:

$$\frac{dy}{dx} = y' \quad \frac{d^2y}{dx^2} = M/EI \quad \frac{dM}{dx} = Q \quad \frac{dQ}{dx} = w^2my$$

Donde w es la frecuencia, m es la masa.

En forma matricial:

$$\frac{d}{dx} \begin{bmatrix} y \\ y' \\ M \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1/EI & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ w^2m & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ y' \\ M \\ Q \end{bmatrix}$$

$$\text{ó } \frac{dZ}{dx} = AZ$$

La solución de la ecuación es $Z = e^{Ax} Z_0 = L Z_0$
 Z_0 es el vector de estado inicial en $x = 0$ y $L = e^{Ax}$ es la matriz de transferencia para una viga de longitud L .

La ecuación característica para AL es:

$$|\lambda I - A| = \begin{vmatrix} \lambda & -L & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & -L/EI & 0 \\ 0 & 0 & \lambda & -L \\ -w^2mL & 0 & 0 & \lambda \end{vmatrix} = \lambda^4 - B^4$$

donde: $B^4 = \frac{w^2 mL^4}{EI}$ y los valores característicos de AL son por consiguiente:

$$\lambda_1 = B \quad \lambda_2 = -B \quad \lambda_3 = iB \quad \lambda_4 = -iB$$

Siendo AL una matriz cuadrada de cuarto orden. La función e^{AL} se escribe de la forma siguiente, utilizando el teorema de Cayley-Hamilton (una matriz satisface a su ecuación característica).

$$L = e^{AL} = C_0 I + C_1 AL + C_2 (AL)^2 + C_3 (AL)^3$$

Sustituyendo AL por sus valores característicos λ_n ($n = 1, 2, 3, 4$) en la ecuación anterior se obtiene:

$$e^{B} = C_0 + C_1 B + C_2 B^2 + C_3 B^3$$

$$e^{-B} = C_0 - C_1 B + C_2 B^2 - C_3 B^3$$

$$e^{iB} = C_0 + iC_1 B - C_2 B^2 - iC_3 B^3$$

$$e^{-iB} = C_0 - iC_1 B - C_2 B^2 + iC_3 B^3$$

Obteniendose:

$$C_0 = 1/2 (Cosh B + Cos B)$$

$$C_1 = (Senh B + Sen B)$$

$$C_2 = 1/2 B^2 (Cosh B - Cos B)$$

$$C_3 = 1/2 B^3 (Senh B - Sen B)$$

Elevando a la segunda y tercera potencia AL tenemos:

$$(AL)^2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & L^2/EI & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L^2/EI \\ w^2 mL^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w^2 mL^2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$(AL)^3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & L^3/EI \\ w_m^2 mL^3/EI & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w_m^2 mL^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & w_m^2 mL^3/EI & 0 \end{bmatrix}$$

La expresión para la matriz de transferencia $L = e^{AL}$ es:

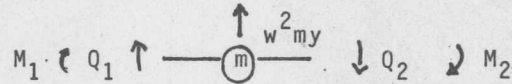
$$L = C_0 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} + C_1 \begin{bmatrix} 0 & L & 0 & 0 \\ 0 & 0 & L/EI & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L \\ w_m^2 mL & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + C_2 \begin{bmatrix} 0 & 0 & L^2/EI & 0 \\ 0 & 0 & 0 & L^2/EI \\ w_m^2 mL^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w_m^2 mL^2 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C_3 \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & L^3/EI \\ w^2_{mL^3}/EI & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w^2_{mL^2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & w^2_{mL^3}/EI & 0 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} \frac{Ch\alpha L + \text{Cos}\alpha L}{2} & \frac{Sh\alpha L + \text{Sen}\alpha L}{2\alpha} & \frac{-Ch\alpha L + \text{Cos}\alpha L}{2} & \frac{Sh\alpha L - \text{Sen}\alpha L}{3} \\ \frac{Sh\alpha L - \text{Sen}\alpha L}{2} & \frac{Ch\alpha L - \text{Cos}\alpha L}{2} & \frac{-Sh\alpha L - \text{Sen}\alpha L}{2\alpha} & \frac{Ch\alpha L - \text{Cos}\alpha L}{2\alpha^2} \\ EI\alpha^2 \frac{-Ch\alpha L + \text{Cos}\alpha L}{2} & EI\alpha \frac{-Sh\alpha L + \text{Sen}\alpha L}{2} & \frac{Ch\alpha L + \text{Cos}\alpha L}{2} & \frac{-Sh\alpha L - \text{Sen}\alpha L}{2} \\ EI\alpha^3 \frac{Sh\alpha L + \text{Sen}\alpha L}{2} & EI\alpha^2 \frac{Ch\alpha L - \text{Cos}\alpha L}{2} & \frac{-Sh\alpha L + \text{Sen}\alpha L}{2} & \frac{Ch\alpha L + \text{Cos}\alpha L}{2} \end{bmatrix}$$

Donde $\alpha = \left(\frac{w^2_{mL}}{EI} \right)^{1/4}$

Para la matriz de nudo o punto, puede ser idealizada como una masa concentrada con inercia rotatoria, la cual deducimos a continuación.



La fuerza puntual se produce por la fuerza de inercia $w^2 m y$, - asociada con la masa en el punto m .

$$Q_2 = Q_1 + w^2 m y$$

$$M_2 = M_1$$

El efecto de una fuerza rotatoria es considerada tomando en cuenta el radio de giro ϵ , el momento de inercia será: $\epsilon^2 w^2 m y$, - en sentido de las manecillas del reloj.

$$M_2 = M_1 + w^2 m \theta \epsilon^2$$

Considerando las rigideces de punto tenemos:

$$B_n = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -K_\theta + w^2 I & 1 & 0 \\ -K_y + w^2 m & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Se considera que f_3 y f_4 no actúan (momento y cortante) así tenemos:

$$a_{31} y(0) + a_{32} y'(0) = 0$$

$$a_{41} y(0) + a_{42} y'(0) = 0$$

La condición para la existencia de solución en este sistema - de ecuaciones homogéneas es que el determinante.

$$\text{Det} = a_{31} a_{42} - a_{32} a_{41} = 0$$

Para lograr esto se hace un barrido de una frecuencia inicial, sumándole w hasta encontrar un cambio de signo o un cero lo que nos indicará la existencia de una frecuencia natural, luego se - hará un barrido más fino hasta cazar de nuevo un cero.

Los parámetros de barrido serán:

- No total de frecuencias naturales a obtener como máximo: 6 (se puede alterar, el programa aceptará hasta 20).
- Precisión: 1 cps (con $w \leq 10$ cps).
- Frecuencia inicial de exploración: 0.0001 cps.
- Frecuencia final de barrido: 2500 cps.
- Incremento de barrido, variable con la frecuencia:

1 cps	con	$w \leq 10$	cps
5 "	"	$10 < w < 100$	"
10 "	"	$100 < w < 500$	"
30 "	"	$500 < w < 1000$	"
50 "	"	$1000 < w < 2000$	"
100 "	"	$w > 2000$	"

Se pasa a obtener el modo natural, dando el valor de 1 al desplazamiento en el nudo 1. Los valores serán relativos a este valor de referencia, y estarán dados por:

$$a_{31} y(0) + a_{32} y'(0) = 0$$

$$a_{41} y(0) + a_{42} y'(0) = 0$$

$$\frac{y'(0)}{y(0)} = -\frac{a_{31}}{a_{32}} = -\frac{a_{41}}{a_{42}}$$

En el nudo 1 los modos por cortante y flector serán cero, --
estós valores se multiplican por la matriz de nudo y nos da --
los modos después del nudo 1, luego se multiplica por la ma--
triz de vano y nos da los valores antes del nudo 1 y así suce--
sivamente hasta terminar con el rango de barrido propuesto.

Instituto de Ingeniería
Universidad Veracruzana



3. MODO DE USAR EL PROGRAMA

3.1 Uso del programa.

El programa está escrito en el lenguaje FORTRAN 77, que es - el que usa la computadora HEWLETT - PACKARD 150, del Centro de Cálculo del Instituto de Ingeniería de U. Veracruzana.

En el diseño del árbol podemos variar los siguientes parámetros del programa:

- 1.- Material
Se admite cualquier material elástico, dando el módulo de elasticidad, densidad, módulo al esfuerzo cortante y el límite de cedencia.
- 2.- Datos de funcionamiento:
Se puede variar la velocidad de giro y las deformaciones máximas admisibles.
- 3.- Geometría:
Se aceptará una sección cualquiera (aunque no para todos los criterios de diseño).
- 4.- Cargas:
Acepta cualquier carga puntual, fuerza o momento, en cualquier punto y en cualquier dirección.
- 5.- Vibraciones:
Se puede variar los parámetros siguientes:
 - No de frecuencias naturales.
 - Precisión deseada.
 - Frec. inicial de barrido.
 - Frec. final de barrido.
 - Intervalo de barrido.

Se recomienda antes de empezar la corrida del programa, hacer un bosquejo del árbol a diseñar, en el que se expresen los parámetros requeridos que de acuerdo con el diagrama de flujo se leerán.

Después de haber compilado el programa aparecerá lo siguiente en la pantalla.

```
PROGRAMA : INDICAR EL TITULO DEL PROBLEMA:
USUARIO  : EJEMPLO: ... ARBOL SIMETRICO CON DOS-
          : APOYOS ...
PROGRAMA : INDICAR EL TIPO DE MATERIAL:
USUARIO  : ACERO AL CARBONO
PROGRAMA : INDICAR LOS SIGUIENTES DATOS SEPARAN-
          : DOLOS POR COMAS:
          : - MODULO DE ELASTICIDAD E (KG/CM 2) -
          : - MODULO DE ELASTICIDAD AL ESFUERZO -
          :   CORTANTE G (KG/CM 2)
          : - DENSIDAD
          : - LIMITE DE FLUENCIA
USUARIO  : 21 00000., 807700., 8000., 2600.
```

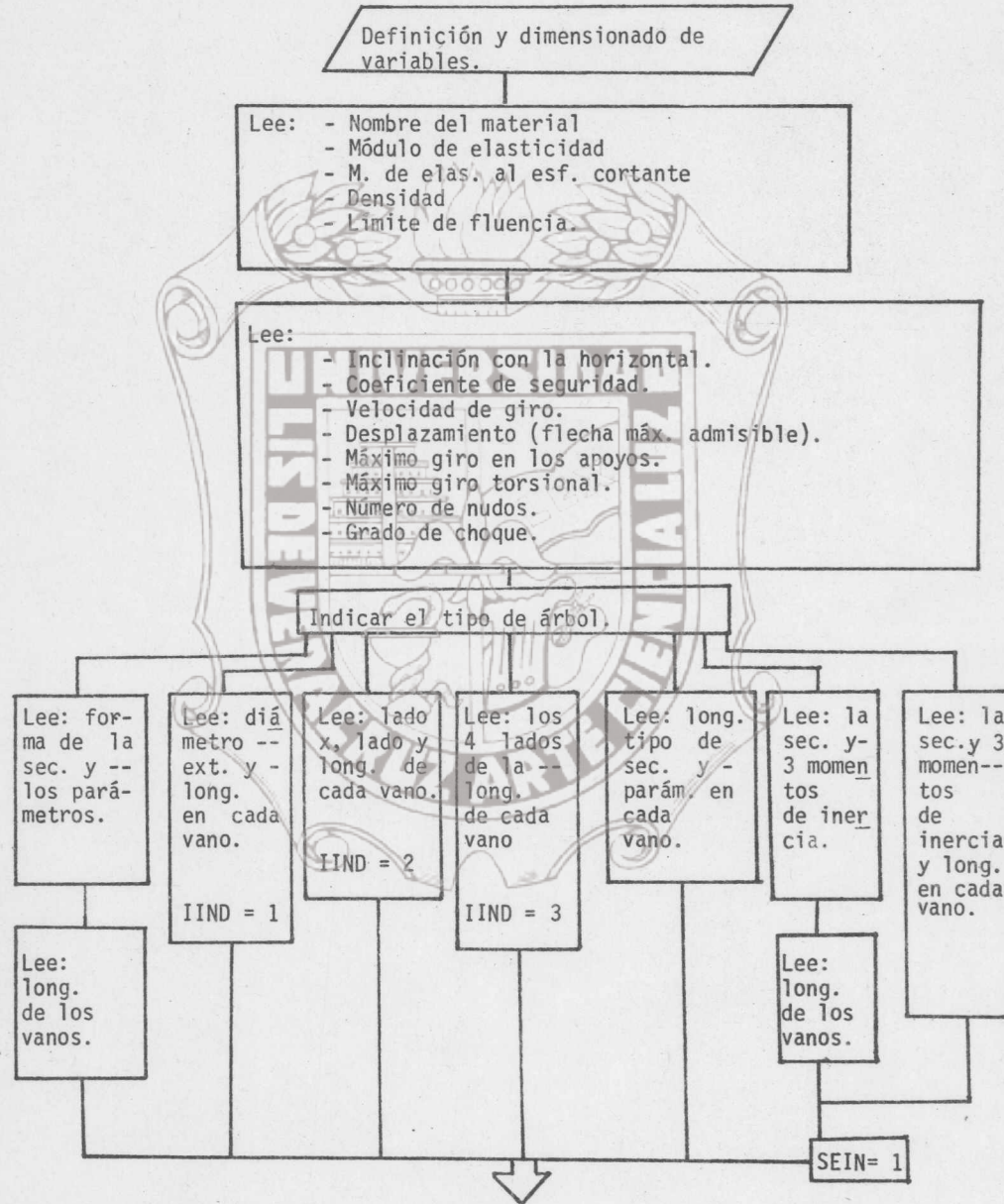
y en esta forma continua el programa hasta haber leído todos los parámetros.

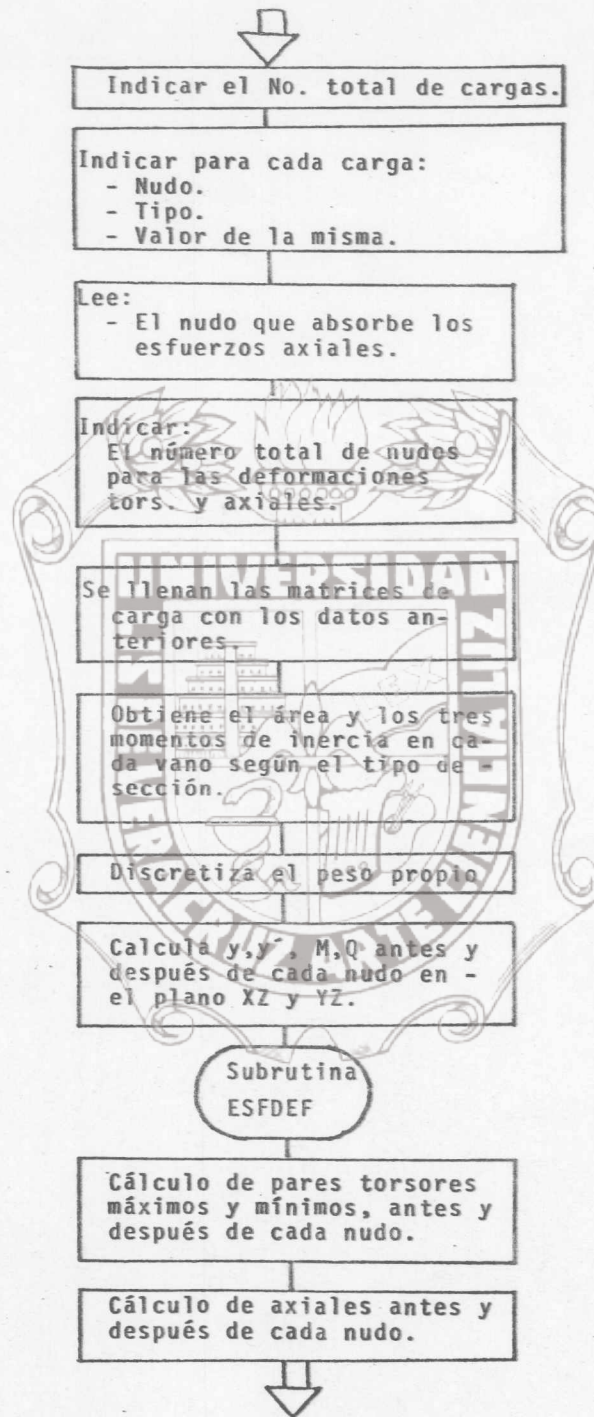
Después saldrá por la impresora los parámetros leídos, para confirmar su entrada adecuada.

También saldrá por la impresora los resultados de los cálculos, los cuales habrá que examinar, por si algún tramo se pasara del factor de seguridad propuesto, si esto sucediera se deberá modificar en cuanto a sus dimensiones para que resista la carga aplicada.

3.2 Diagrama de flujo

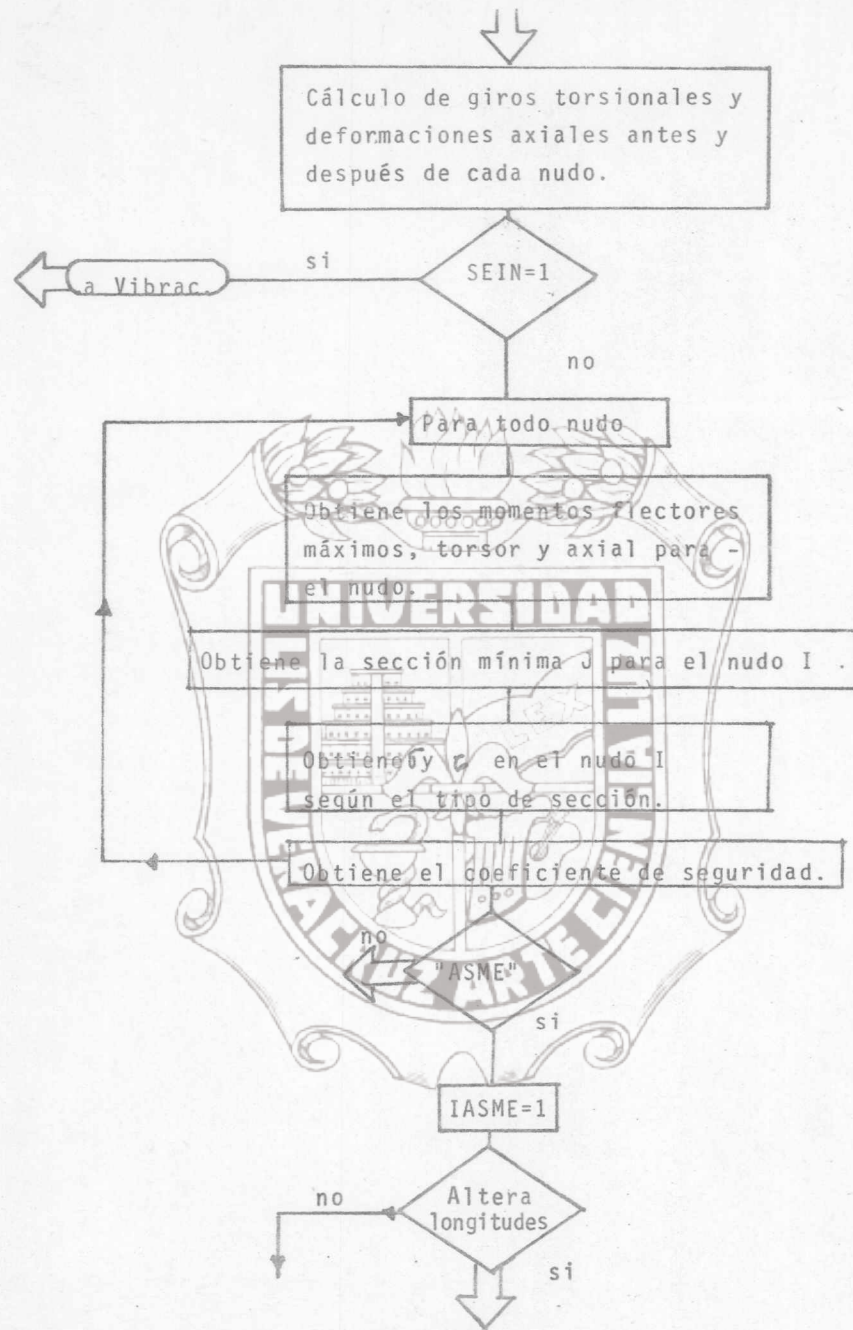
DISEÑO DE ARBOLES POR COMPUTADORA

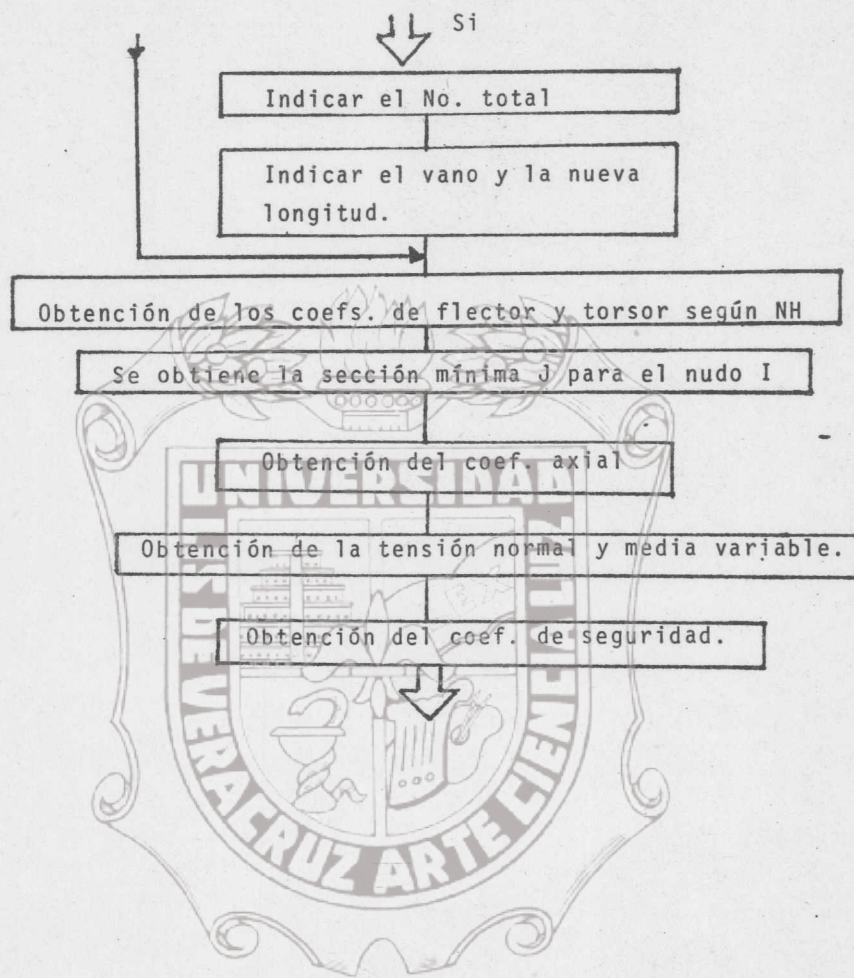


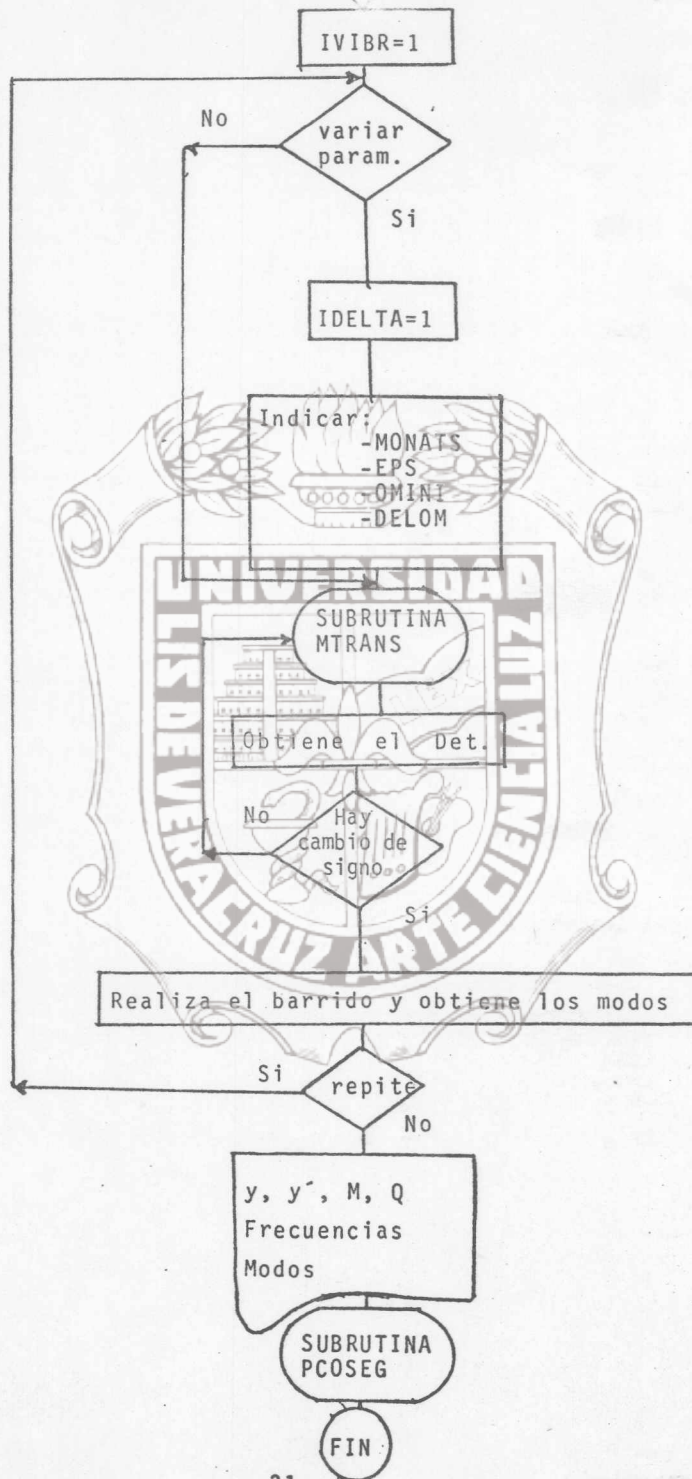


Tesis de Maestría

Instituto de Ingeniería
Universidad Veracruzana

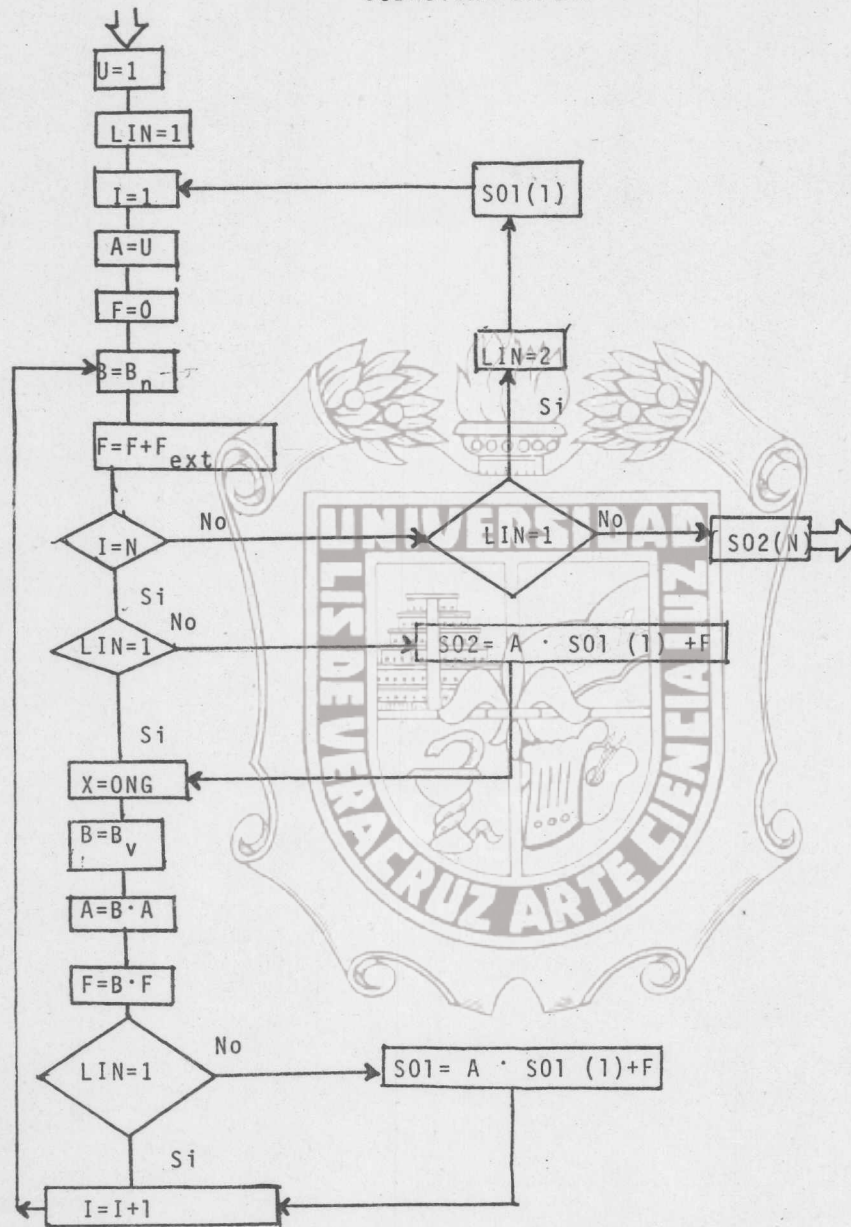






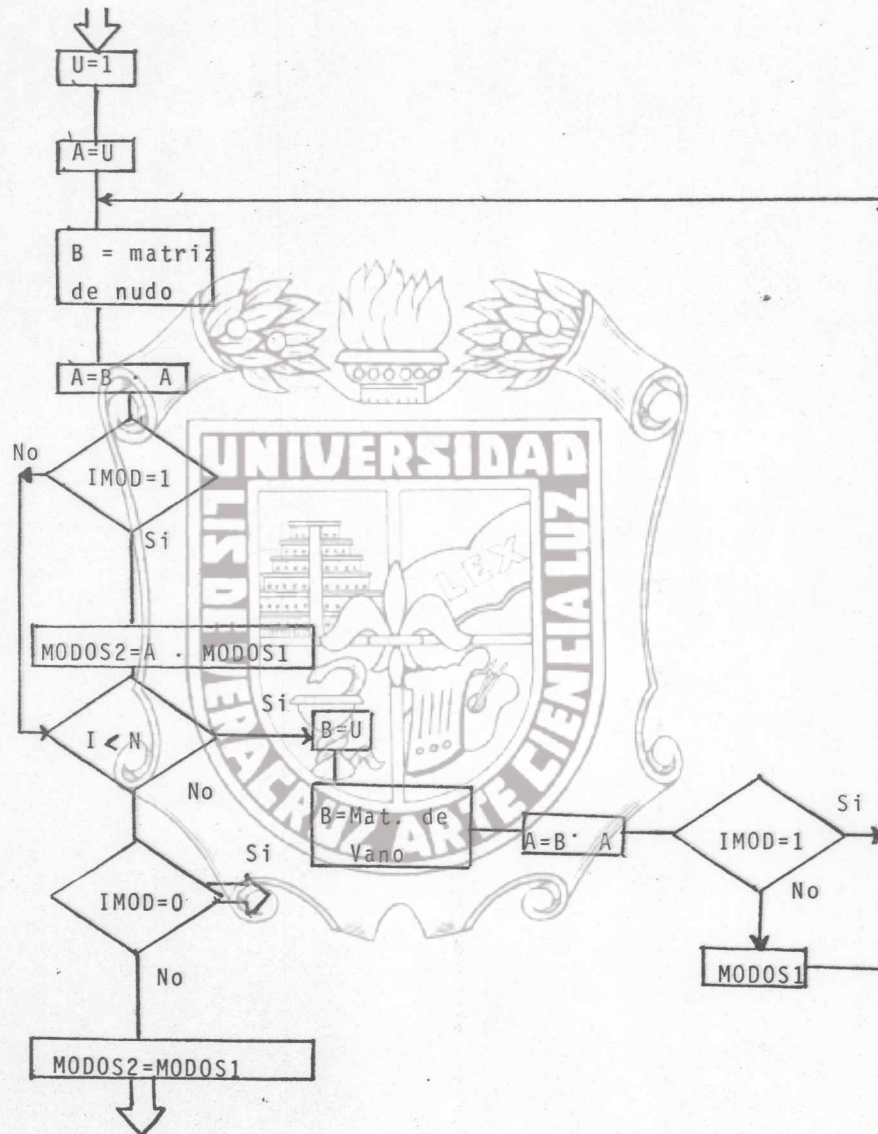
SUBROUTINA ESFDEF

Instituto de Ingeniería
Universidad Veracruzana



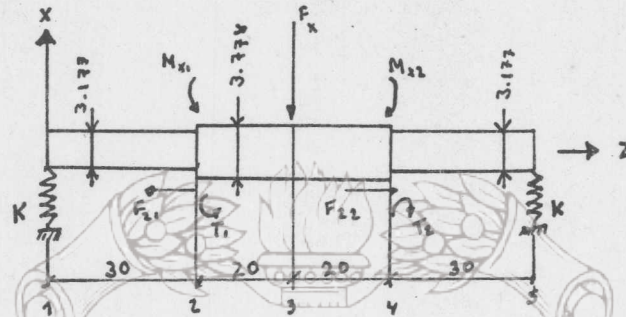
SUBROUTINA MTRANS

Instituto de Ingeniería
Universidad Veracruzana



3.3. Ejemplo.

Se trata de un eje simétrico, apoyado en sus extremos y cargas de diversos tipos:



Los valores son:

- Material: Acero al carbono
- E: 2100000 Kg/cm²
 - G: 807700 "
 - Densidad: 8000 Kg/cm³
 - Lim. de rotura: 4000 Kg/cm²
 - Lim. de fluencia: 2600 "

Datos generales:

- Inclinación con la horizontal = 0
- Coef. de seguridad mínimo = 5
- Vel. angular = 4200. rpm
- Máx. despla. admisible = 0.01
- Máx. giro admisible en apoyos = 0.1°
- Máx. Torsión = 0.25 °/m

- Grado de choque 4 (impacto suave)

Cargas aplicadas:

- $K = 10^5$ Kg/cm

- $M_{x1} = 1000$ "

- $M_{x2} = -1000$ "

- $T_1 = 2000$ "

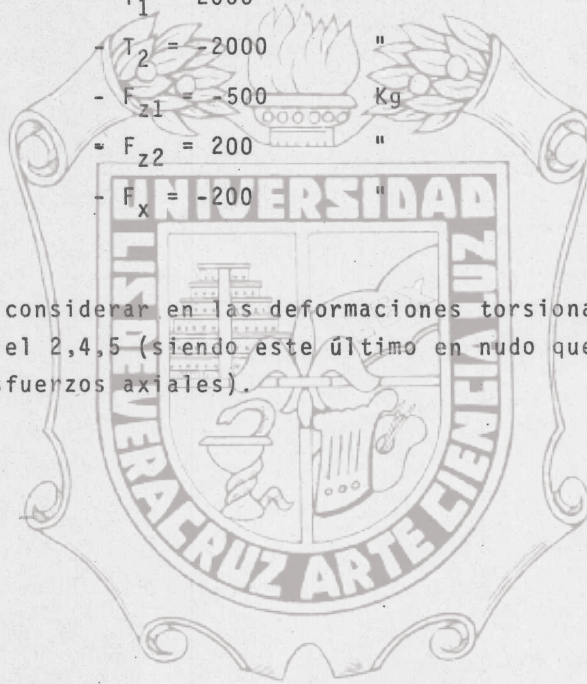
- $T_2 = -2000$ "

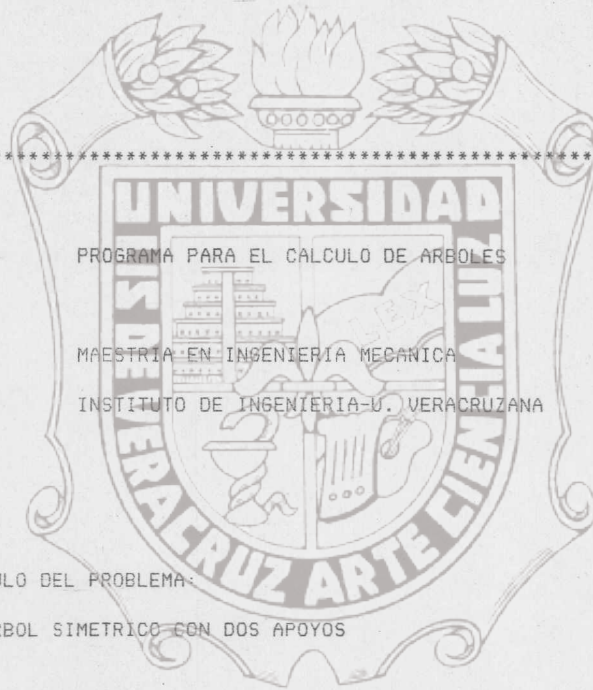
- $F_{z1} = -500$ Kg

- $F_{z2} = 200$ "

- $F_x = -200$ "

Los nudos a considerar en las deformaciones torsionales y axiales serán el 2,4,5 (siendo este último en nudo que absorberá los esfuerzos axiales).





MATERIAL

-NOMBRE:	ACERO AL CARBONO	
-MODULO DE ELASTICIDAD E (KG/CM**2):		2100000.0000
-MODULO DE ELAST. AL ESF. CORTANTE G (KG/CM**2):		807700.0000
-DENSIDAD (KG/M**3):		8000.0000
-LIMITE DE FLUENCIA (KG/CM**2):		1600.0000

CARACTERISTICAS GENERALES

-NUMERO DE NUDOS:		5
-INCLINACION CON LA HORIZONTAL (GRAD.):		.0000
-VELOCIDAD DE GIRO (RPM):		4200.0000
-COEFICIENTE DE SEGURIDAD:		5.0000
-DESPLAZAMIENTO MAX. ADMISIBLE (CM.):		.0100
-MAXIMO GIRO EN LOS APOYOS (GRADOS):		.1000
-MAXIMO GIRO TORSIONAL (GRADOS/METRO):		.2500
-GRADO DE CHOQUE:	37	4

DATOS GEOMETRICOS

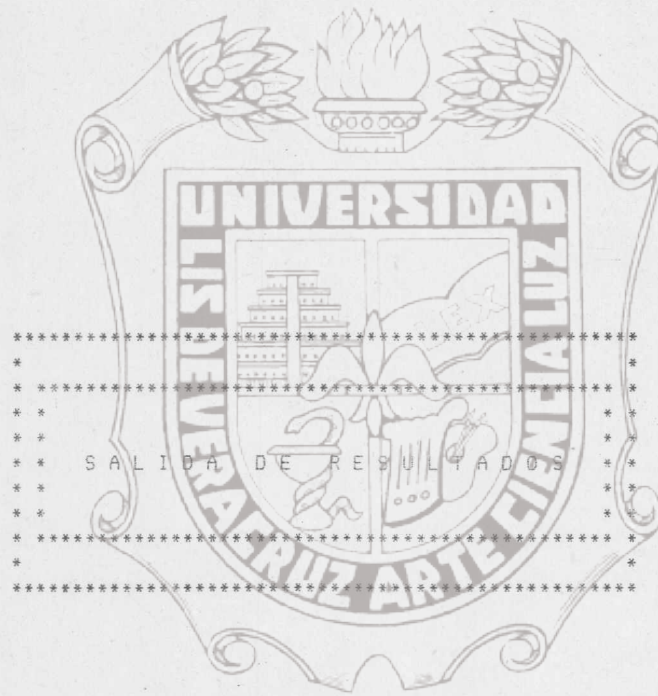
VANO SEC. (CM**2) M. INER.X(CM**4) M.INER.Y(CM**4) M. INER.TOR(CM**4) LONG.(CM)

1	7.93	5.00	5.00	10.00	30.00
2	11.21	10.00	10.00	20.00	20.00
3	11.21	10.00	10.00	20.00	20.00
4	7.93	5.00	5.00	10.00	30.00

CARGAS EXTERIORES SOBRE LOS NUDOS

NUDO	TIPO DE CARGA	VALOR DE LA CARGA
1	RIGIDEZ A EL DESPLA. (KG/CM)=	100000.00
2	MOMENTO FLECTOR EXT. SEGUN X (KG*CM)=	1000.0000
2	PAR TORSOR SEGUN Z MAXIMO (KG*CM)=	2000.0000
2	FUERZA EXTERIOR SEGUN Z (KG)=	-500.0000
3	FUERZA EXTERIOR SEGUN X (KG)=	-200.0000
4	MOMENTO FLECTOR EXT. SEGUN X (KG*CM)=	-1000.0000
4	PAR TORSOR SEGUN Z MAXIMO (KG*CM)=	-2000.0000
4	FUERZA EXTERIOR SEGUN Z (KG)=	200.0000
5	RIGIDEZ A EL DESPLA. (KG/CM)=	100000.00





*****DEFORMACIONES EN EL PLANO XZ*****

NUDO	DESPLA. X	PENDIENTE X	M. FLECTOR X	CORTANTE X
1	-.0010	-.0071	.0000	.0000
	-.0010	-.0071	.0000	100.0000
2	-.1724	-.0029	-3000.0000	100.0000
	-.1724	-.0029	-2000.0000	100.0000
3	-.2042	.0000	-4000.0000	100.0000
	-.2042	.0000	-4000.0000	-100.0000
4	-.1724	.0029	-2000.0000	-100.0000
	-.1724	.0029	-3000.0000	-100.0000
5	-.0010	.0071	.0000	-100.0000
	-.0010	.0071	.0000	.0000



Instituto de Ingeniería
Universidad Veracruzana

***NUDOS QUE EXCEDEN EL DESPLA. Y/O LA PEND. MAX.SUPUESTA

NUDO	DESPLA. X	PENDIENTE MAX.
------	-----------	----------------

1		*
2	*	*
3	*	
4	*	*
5		*



 *****ESFUERZOS Y DEFORMACIONES TORSIONALES Y AXIALES*****

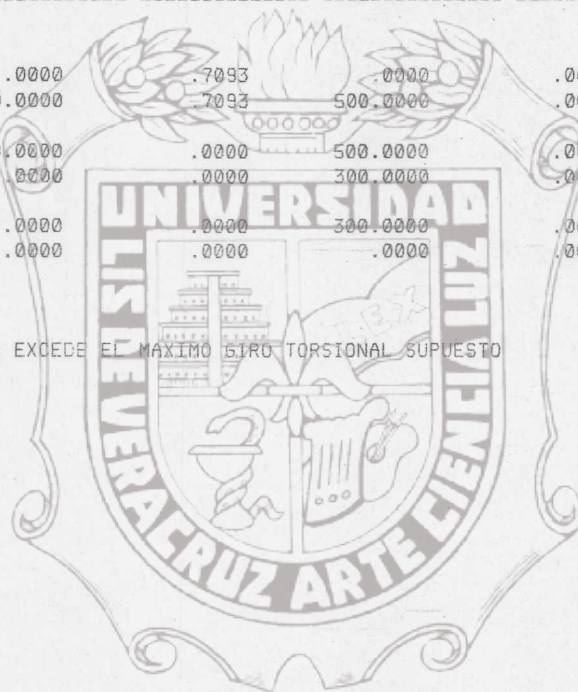
NUDO TORSOR MAX. (KG*CM) GIR. TOR(GRAD) ESFZ. AXIAL(KG) DEFORM. AXIAL(CM)

2	.0000	.7093	.0000	.0018
	2000.0000	7093	500.0000	.0018
4	2000.0000	.0000	500.0000	.0016
	.0000	.0000	300.0000	.0016
5	.0000	.0000	300.0000	.0000
	.0000	.0000	.0000	.0000

**NUDO QUE SE EXCEDE EL MAXIMO GIRO TORSIONAL SUPUESTO

NUDO

2
3



Tesis de Maestría

*****COEFICIENTES DE SEGURIDAD SEGUN RESISTENCIA ESTÁTICA*****

NUDO COEF. DE SEGURIDAD

1	1000000.00
2	2.17
3	1.76
4	3.82
5	58.70

NUDOS EN QUE NO SE ALCANZA EL COEF. DE SEG. MÍNIMO SUPUESTO

NUDO

2
3
4



Instituto de Ingeniería
Universidad Veracruzana

 *****COEFICIENTES DE SEGURIDAD SEGUN CODIGO "ASME"*****

NUDO	COEF. DE SEGURIDAD
1	1000000.00
2	1.36
3	1.07
4	2.28
5	65.63

**NUDOS EN QUE NO SE ALCANZA EL COEF. DE SEG. MINIMO SUPUESTO :

NUDO
2
3
4

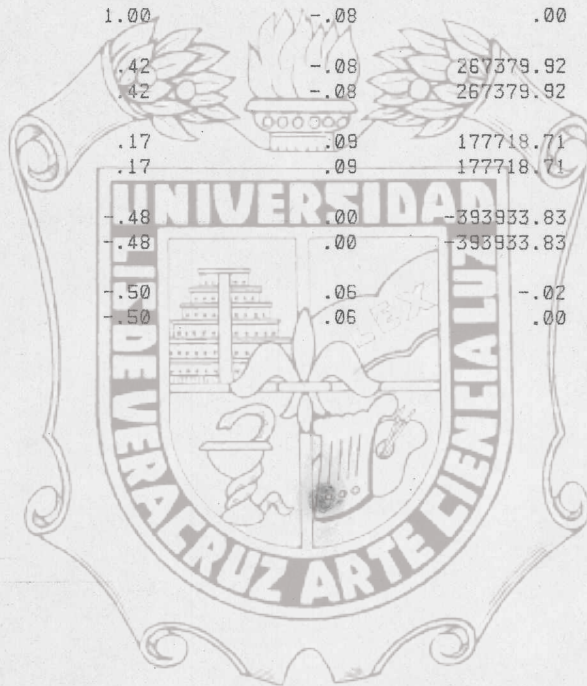


Instituto de Ingeniería
 Universidad Veracruzana

*****FRECUENCIAS Y MODOS NATURALES*****

FRECUENCIA NATURAL 1= 3.6250(CIC/S) 217.50(RPM)

NUDO	DESPLA.	PENDIENTE	M.FLEC.	CORTANTE
1	1.00	-.08	.00	.00
	1.00	-.08	.00	-100000.00
2	.42	-.08	267379.92	45121.76
	.42	-.08	267379.92	45121.76
3	.17	.09	177718.71	-91964.34
	.17	.09	177718.71	-91964.34
4	-.48	.00	-393933.83	-24416.30
	-.48	.00	-393933.83	-24416.30
5	-.50	.06	-.02	-112750.04
	-.50	.06	.00	.00



Instituto de Ingeniería
 Universidad Veracruzana

Tesis de Maestría

FRECUENCIA NATURAL 2=		4.3750(CIC/S)	262.50(RPM)	
NUDO	DESPLA.	PENDIENTE	M.FLEC.	CORTANTE
1	1.00	-.13	.00	.00
	1.00	-.13	.00	-100000.00
2	.04	-.11	-76466.29	111047.19
	.04	-.11	-76466.29	111047.19
3	.41	-.02	509593.06	21937.07
	.41	-.02	509593.06	21937.07
4	.20	.11	81489.30	-99736.00
	.20	.11	81489.30	-99736.00
5	.90	.07	.04	126482.30
	.90	.07	.00	.00



Instituto de Ingeniería
 Universidad Veracruzana

Tesis de Maestría

FRECUENCIA NATURAL 3=

7.6250(CIC/S)

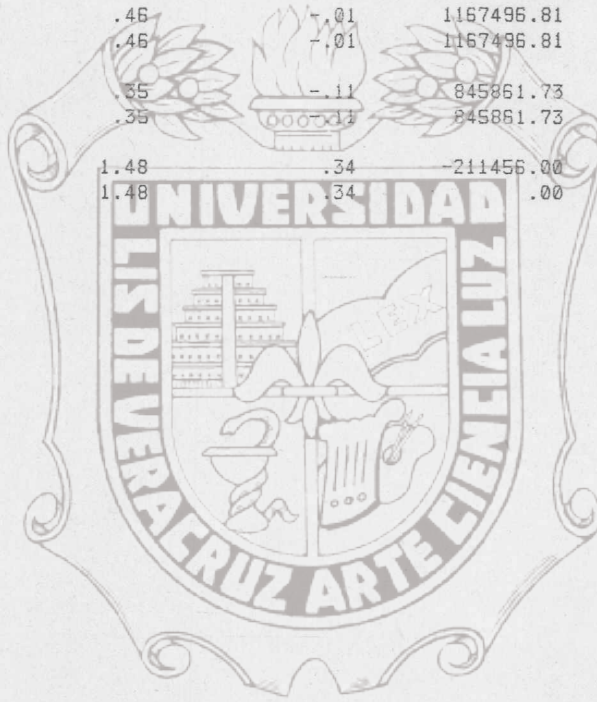
457.50(RPM)

NUDO	DESPLA.	PENDIENTE	M.FLEC.	CORTANTE
1	1.00	-.27	.00	.00
	1.00	-.27	.00	-100000.00
2	-.11	.17	40664.50	-281884.49
	-.11	.17	40664.50	-281884.49
3	.00	.15	-2356.61	-326819.94
	.00	.15	-2356.61	-326819.94
4	.11	.17	-44789.45	-282203.87
	.11	.17	-44789.45	-282203.87
5	-1.00	-.27	6264.00	-100326.00
	-1.00	-.27	.00	.00



Instituto de Ingeniería
Universidad Veracruzana

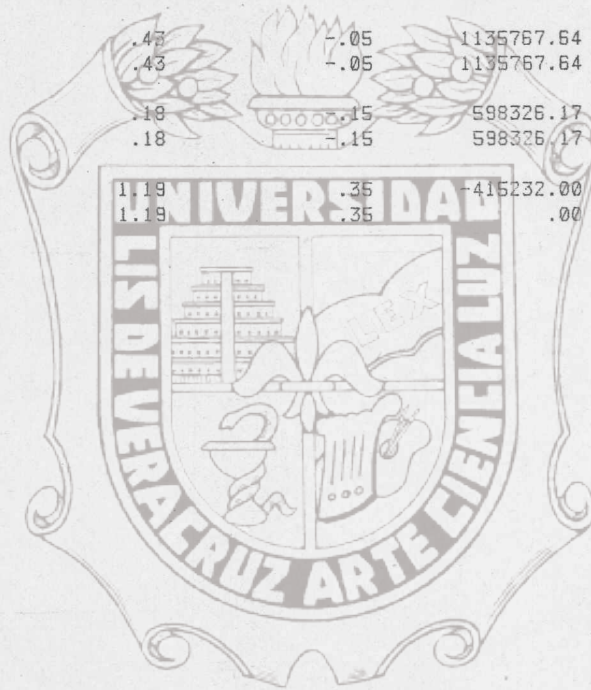
FRECUCENCIA NATURAL 4=		9.1250(CIC/S)	547.50(RPM)	
NUDO	DESPLA.	PENDIENTE	M.FLEC.	CORTANTE
-----	-----	-----	-----	-----
1	1.00	-.31	.00	.00
	1.00	-.31	.00	-100000.00
2	.39	.09	906206.49	-252889.28
	.39	.09	906206.49	-252889.28
3	.46	-.01	1167496.81	23240.21
	.46	-.01	1167496.81	23240.21
4	.55	-.11	845861.73	280733.55
	.55	-.11	845861.73	280733.55
5	1.48	.34	-211456.00	345728.00
	1.48	.34	.00	.00



Instituto de Ingeniería
 Universidad Veracruzana

Tesis de Maestría

FRECUENCIA NATURAL 5=		9.3750(CIC/S)	562.50(RPM)	
NUDO	DESPLA.	PENDIENTE	M.FLEC.	CORTANTE
1	1.00	-.32	.00	.00
	1.00	-.32	.00	-100000.00
2	.45	.06	1002814.07	-210863.55
	.45	.06	1002814.07	-210863.55
3	.43	-.05	1135767.64	137226.63
	.43	-.05	1135767.64	137226.63
4	.18	.15	598326.17	357717.94
	.18	.15	598326.17	357717.94
5	1.19	-.35	-415232.00	462336.00
	1.19	-.35	.00	.00



Instituto de Ingeniería
Universidad Veracruzana

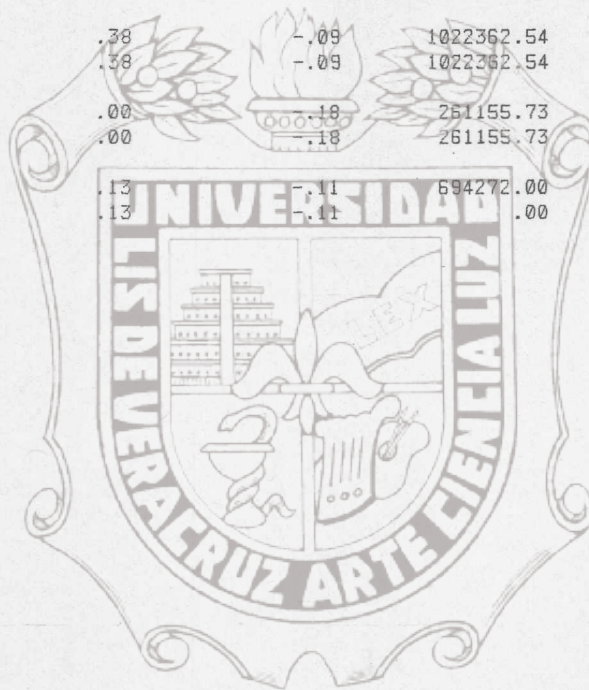
Tesis de Maestría

FRECUENCIA NATURAL 6=

9.6250(CIC/S)

577.50(RPM)

NUDO	DESPLA.	PENDIENTE	M.FLEC.	CORTANTE
1	1.00	-.33	.00	.00
	1.00	-.33	.00	-100000.00
2	.49	.03	1076007.52	-159335.18
	.49	.03	1076007.52	-159335.18
3	.38	-.09	1022362.54	249921.27
	.38	-.09	1022362.54	249921.27
4	.00	-.18	261155.73	392967.74
	.00	-.18	261155.73	392967.74
5	.13	-.11	694272.00	319744.00
	.13	-.11	.00	.00



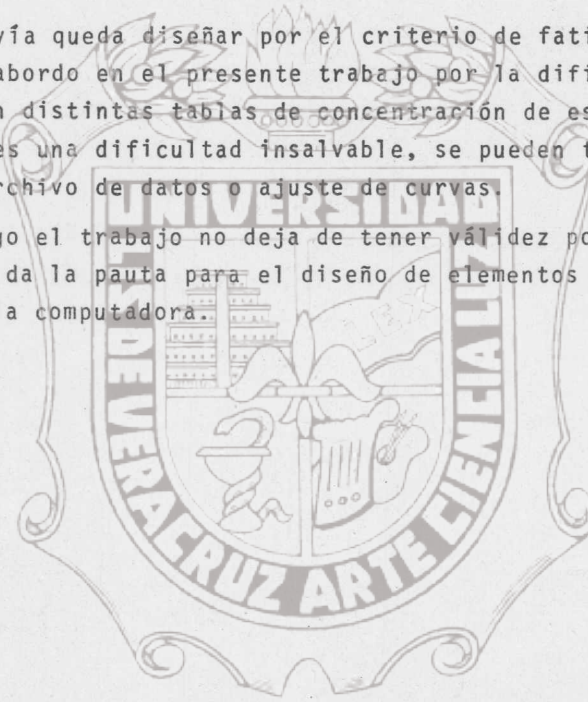
Instituto de Ingeniería
Universidad Veracruzana

4. CONCLUSIONES

El trabajo presentado trata de ser lo más general posible, se analizan fuerzas aplicadas al elemento de diseño en tres dimensiones, se diseña utilizando el criterio de resistencia estática, el criterio "ASME", inclusive se considera el caso de que el elemento tuviese alguna inclinación con respecto a la horizontal.

Pero todavía queda diseñar por el criterio de fatiga, el cual no se abordó en el presente trabajo por la dificultad de trabajar con distintas tablas de concentración de esfuerzos, lo cual no es una dificultad insalvable, se pueden trabajar éstas por archivo de datos o ajuste de curvas.

Sin embargo el trabajo no deja de tener validez por ese aspecto, pues da la pauta para el diseño de elementos mecánicos utilizando la computadora.



BIBLIOGRAFIA

1. ASME, Code for Design of Transmission Shafting, B17C-1927
2. Deutschman, Machine Design, Mc Millan (1976)
3. Díaz Aguilar, Int. al Diseño de Elementos de Máquinas, - ITESM (1976)
4. Dimaragonas A., Vibration Ingeneering, West Publishing -- (1976)
5. Faïres V., Diseño de Elementos de Máquinas, Montaner y Simón (1977)
6. Hall, Holowenko, Laughlin, Diseño de Máquinas, Schaum-Mc - Graw-Hill (1977)
7. Harris C., Crede CH., Shock and vibration Handbook, Mc--- Graw-Hill (1976)
8. Hurty W., Rubinstein M., Dynamics of Structures, Prentice-Hall (1966)
9. Myatt D.J., Machine Design, Mc. Graw-Hill (1962)
10. Ortiz y Ojeda P.T., Desarrollo y Aplicación de la Matriz - de Transferencia, Instituto de Ingeniería de la U.V. (1985)
11. Pestel M., Leckie F., Matrix Methods in Elastomechanics, -- Mc Graw-Hill (1963)
12. Roark R., Formulas for Strees and Strain, Mc Graw-Hill --- (1976)

13. Shigley J., Diseño en Ingeniería Mecánica, Mc Graw-Hill (1980)
14. Spotts M., Proyecto de Elementos de Máquinas, Reverté - (1979)
15. Thomson W., Theory of Vibration with Applications, Prentice Hall (1972)
16. Timoshenko S., Resistencia de Materiales, Espasa-Calpe (1980)



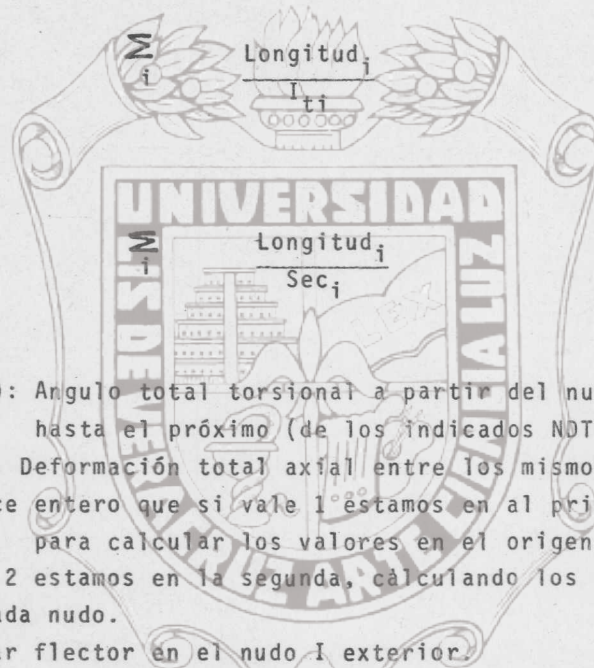
5. APENDICES

5.1 Diccionario de variables.

- PI: 3.145926535
- TITULO (50): Título del problema.
- I1: "SI" ó "NO"
- MATER (50): Nombre del material.
- E: Módulo de elasticidad.
- G: Módulo de elasticidad al esfuerzo cortante.
- RO: Densidad.
- FLUL: Límite de fluencia.
- ALFA: Angulo de inclinación con el plano horizontal.
- COSEEG: Coeficiente de seguridad mínimo admisible.
- FM: Desplazamiento máximo admisible.
- GIP: Giro máximo admisible en los apoyos.
- TM: Giro torsional máximo admisible.
- NH: Grado de choque (para código "ASME").
- N: Número de nudos.
- I, J, K: Indices matriciales.
- SEC (I): Area de la sección recta en el vano I.
- ERCIMX (I): Momento de inercia a flexión según el eje X de la sección correspondiente al vano I.
- ERCIMY (I): Id. según el eje Y.
- ERCITO (I): Momento de inercia polar a torsión de la sección del vano I.
- IIND (I): Indice de la sección.
 - = 1 circular maciza o hueca.
 - = 2 rectangular maciza.
 - = 3 rectangular hueca.
- P11 (I), ... P14 (I): Parámetros de la sección I, diámetros o lados.
- SEIN: Indice que si vale 1 nos dice que la sección es -- cualquiera (pero no circular, ni rectangular).

- IS: Tipo de árbol según su sección.
- NTC: Número de cargas puntuales exteriores sobre los nudos.
- IN (J): Nudo en que se aplica la carga J.
- INC (J): Tipo de carga J.
- CARGA (J): Valor de la carga J.
- L: Nudo que absorbe los esfuerzos axiales.
- NTDTA: No total de nudos para las deformaciones torsionales y axiales.
- NDTA (I): Nudo I para las deformaciones tors. y axiales.
- RIGIQ (I): Rigidez a cortante en el nudo I.
- RIGIM (I): Rigidez a flector en el nudo I.
- RIGIT (I): Rigidez a torsión en el nudo I.
- FUEXTX (I): Fuerza exterior según X, en el nudo I.
- FUEXTY (I): " " " Y.
- FUEXTZ (I): " " " Z.
- PARFLX (I): Momento flector en el plano XZ, en el nudo I.
- PARFLY (I): Id. en YZ.
- TORZA (I): Par torsor máximo en el nudo I.
- TORZI (I): " " mínimo
- ASAIN (I): Masa inerte en el nudo I.
- ERCTO (I): Inercia torsional
- ERCFL (I): Inercia a flexión
- AU: Variable muda para hacer PI2, PI1.
- PPR: Auxiliar para discretizar el peso propio.
- SOLX1 (I,1),...,SOLX1 (I,4): Desplazamiento, pendiente, flector cortante, antes del nudo I en el plano XZ.
- SOLX2 (I,1),...,SOLX2 (I,4): Lo mismo pero después.
- SOLY1 (I,1),...,SOLY1(I,4): Lo mismo antes del nudo I pero - en el plano YZ.
- SOLY2 (I,1),...,SOLY2 (I,4): Lo mismo pero después.
- TOSOL1 (I,1), TOSOL1 (I,2): Par torsor máximo (mínimo antes del nudo I).

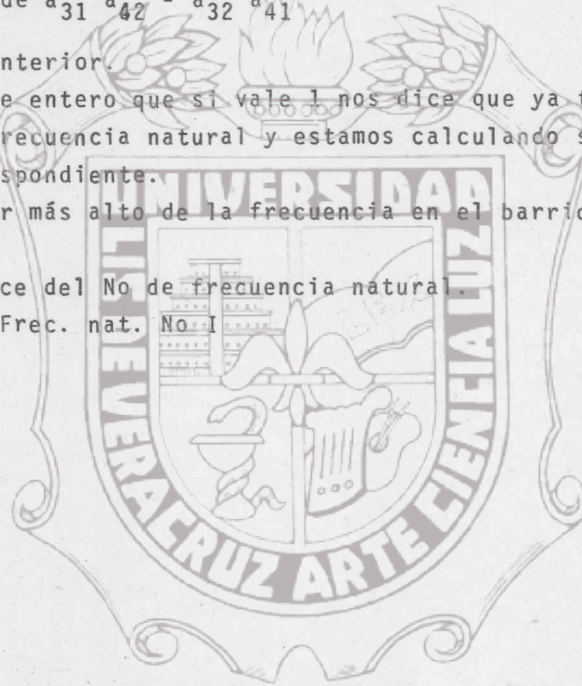
- TOSOL2 (I,1), TOSOL2 (I,2): Igual pero después del nudo I.
- AXT: Esfuerzo axial resultante aplicado en el nudo L.
- AXI1 (I): Esfuerzo axial antes del nudo I.
- AXI2 (I): Esfuerzo axial después del nudo I.
- GITOR (I): Angulo girado a torsión por unidad de longitud en el vano I, del nudo I al I + 1.
- LON:



- LON:
- ANGTOR (I): Angulo total torsional a partir del nudo I - hasta el próximo (de los indicados NDTA (I)).
- DEFAX (I): Deformación total axial entre los mismos nudos.
- LIN: Indice entero que si vale 1 estamos en al primera -- etapa para calcular los valores en el origen; y si vale 2 estamos en la segunda, calculando los valores de cada nudo.
- FF (I): Par flector en el nudo I exterior.
- FX (I): Fuerza exterior en el nudo I.
- ER (I): Momento de inercia de la sección del vano I.
- X: Distancia desde el nudo anterior.
- A (4,4): Matriz de transferencia.
- H (4,4): Auxiliar para la obtención de la matriz anterior.
- U (4,4): Matriz identidad 4 x 4.
- B (4,4): Matriz de nudo o vano.

- F (4): Matriz de cargas.
- S01 (I,1),..., S01 (I,4): Soluciones antes del nudo I.
- S02 (I,1),..., S02 (I,4): Soluciones después del nudo I.
- FLX: Momento flector en el plano XZ máximo en el nudo.
- FLY: Lo mismo en el plano YZ.
- TOR: Par torsor máximo en el nudo.
- AX (I): Esfuerzo axial máximo en el nudo I.
- TAO (I): Tensión tangencial en el nudo I.
- SIG (I): Tensión normal en el nudo I.
- COSEG (I): Coeficiente de seguridad en el nudo I según el criterio de resistencia.
- SECMI----- Subrutina que nos da la sección mínima J para el nudo I.
- SECP: SEC (I).
- SECPP: SEC (I-1)
- IASME: Índice entero que si vale 1 indica que si vamos a considerar el código "ASME".
- ONGPA (I): Longitud para pandeo en el vano I.
- NTLON: No total de longitudes alteradas.
- NU (I): Nudos auxiliares para una nueva longitud.
- ASL (I): Valor de la nueva longitud.
- CFLE: Coeficiente para el flector.
- CTOR: Coeficiente para el torsor.
- ESBEL: Esbeltez.
- CAXI: Coeficiente para el axial.
- SIGM: Tensión normal media.
- SIGA: Tensión normal variable.
- COSEGA (I): Coeficiente de seguridad por código "ASME" en el nudo I.
- MTRANS -----Subrutina para obtener la matriz de transferencia y los modos naturales.
- IVIBR: Índice entero que si vale 1 nos dice que SI vamos a considerar las vibraciones.
- IDELTA: Índice entero que si vale 1 nos dice que SI alteramos los parámetros de barrido.

- MONATS: No máximo de frecuencias naturales deseadas.
- OMINI: Frecuencia inicial de barrido.
- OMFIN: Frecuencia final de barrido.
- DELOM: Incremento de la frecuencia.
- EPS: Precisión de la frecuencia.
- DOSPI: 2×3.145926535
- OME: Valor de la frecuencia.
- OMEA: Valor anterior de la frecuencia.
- DET: Valor de $a_{31}^{a_{42}} - a_{32}^{a_{41}}$
- DETA: id. anterior.
- IMOD: Índice entero que si vale 1 nos dice que ya tenemos una frecuencia natural y estamos calculando su modo correspondiente.
- OMSUP: Valor más alto de la frecuencia en el barrido final.
- FRENA: Índice del No de frecuencia natural.
- EIGEN (I): Frec. nat. No. I
- JJ: FRENA




```

1501 FORMAT(1H1,15(/),6X,70(' ')/3(6X,' ',68X,' ')),
*6X,' ',15X,'PROGRAMA PARA EL CALCULO DE ARBOLES',18X,' '//
*3(6X,' ',68X,' ')),
*6X,' ',15X,'MAESTRIA EN INGENIERIA MECANICA',22X,' '//
*6X,' ',68X,' '//
*6X,' ',15X,'INSTITUTO DE INGENIERIA-U. VERACRUZANA',15X,' '//
*6(6X,' ',68X,' '))
*6X,' ',5X,'TITULO DEL PROBLEMA:',43X,' '//
*6X,' ',68X,' '//
*6X,' ',7X,A,11X,' '//
*6X,' ',68X,' '//
*3(6X,' ',68X,' ')),
*6X,70(' ')
WRITE(*,100)
100 FORMAT(/,5X,'IND. LOS SIG. DATOS SEPARANDOLOS POR COMAS:'//
*' -MODULO DE ELASTICIDAD E (KG/CM**2)'//
*' -MODULO DE ELASTICIDAD AL ESF. CORTANTE G/'//
*' -DENSIDAD (KG/M**3)'//
*' -LIMITE DE FLUENCIA/'//
*' (DATOS EN FILA)')
C
READ(*,*) E,G,RO,FLUL
WRITE(6,1502) MATER,E,G,RO,FLUL
1502 FORMAT(1H1,5X,'MATERIAL',6X,8(' ')/11//
*8X,'-NOMBRE:',5X,A,///
*8X,'-MODULO DE ELASTICIDAD E (KG/CM**2):',13X,F15.4///
*8X,'-MODULO DE ELAST. AL ESF. CORTANTE G (KG/CM**2):',11X,F15.4///
*8X,'-DENSIDAD (KG/M**3):',12X,F15.4///
*8X,'-LIMITE DE FLUENCIA (KG/CM**2):',18X,F15.4)
WRITE(*,988)
988 FORMAT(1H1,5X,'IND. LOS SIG. DATOS SEPARANDOLOS POR COMAS:'//
*' -ANGULO DE INCLINACION CON LA HORIZONTAL (GRADOS)'//
*' -COEFICIENTE DE SEGURIDAD/'//
*' -VELOCIDAD DE GIRO (RPM)'//
*' -DESPLAZAMIENTO (FLECHA) MAXIMA ADMISIBLE (GRADOS)'//
*' -MAXIMO GIRO EN LOS APOYOS (GRADOS)'//
*' -MAXIMO GIRO TORSIONAL (GRADOS/M)'//
*' -GRADO DE CHOQUE:'//
*' 1 EJE FIJO CON CARGA GRADUAL/'//
*' 2 EJE FIJO CON CARGA BRUSCA/'//
*' 3 ARBOL GIRATORIO CON CARGA GRADUAL O CTE/'//
*' 4 ARBOL GIRATORIO CON CARGA REPENTINA CON CHOQUE
* LIGERO'//
*' 5 ARBOL GIRATORIO CON CARGA REPENTINA CON CHOQUE
* FUERTE'//
*' (DATOS EN FILA)')
C
READ(*,*) ALFA,COESEG,OMEGA,FM,GIP,TM,NH
WRITE(*,995)
995 FORMAT(/,5X,'DAR EL NUMERO DE NUDOS:')
C
READ(*,*) N
C
LECTURA DE DATOS SOBRE LA GEOMETRIA
C
WRITE(*,102)
102 FORMAT(1H1,5X,'INDICAR EL TIPO DE EJE SEGUN SUS SECCIONES:'//
*' 1 EJE DE SECCION CONSTANTE CIRC. O RECTANG.'//
*' 2 EJE DE SECCIONES CIRCULARES'//
*' 3 EJE DE SECCIONES RECTANGULARES MACIZAS'//

```

Tesis de Maestría

- * 4 EJE DE SECCIONES RECTANGULARES HUECAS'/'
- * 5 EJE DE SECCIONES VARIABLES CIRCS. O RECTANGS.'/'
- * 6 EJE DE SECCION CONSTANTE CUALQUIERA'/'
- * 7 EJE DE SECCION VARIABLE CUALQUIERA'/'

C

```

READ(*,*) IS
GO TO (980,979,978,977,976,975,974) IS
980 WRITE(*,103)
103 FORMAT(1H1,5X,'INDICAR LA FORMA DE LA SECCION:/'
*  CIRCULAR_____1'/'
*  RECTANGULAR MACIZA_2'/'
*  RECTANGULAR HUECA_3'/'
*  Y LOS PARAMETROS QUE LA DEFINEN(CM):/'
*  CIRCULAR: DIAMETRO EXTERIOR,DIAMETRO INTERIOR'/'
*  RECTANGULAR MACIZA: LADO EN X,LADO EN-Y'/'
*  RECTANGULAR HUECA:LADO X,LADOM Y,HUECO X, HUECO Y'/'
*  (DATOS EN FILA)')
READ(*,*) IIND(1),PI1(1),PI2(1),PI3(1),PI4(1)
DO 906 I=2,N-1
IIND(I)=IIND(1)
PI1(I)=PI1(1)
PI2(I)=PI2(1)
PI3(I)=PI3(1)
PI4(I)=PI4(1)
906 CONTINUE
WRITE(*,104)
104 FORMAT(/,5X,'INDICAR LA LONGITUD DE LOS VANOS (CM):/'
*5X,'(DATOS EN COLUMNA)')
DO 1611 I=1,N-1
READ(*,*) ONG(I)
1611 CONTINUE
GO TO 2
979 WRITE(*,105)
106 FORMAT(1H1,5X,'INDICAR EL DIAM. EXT.,DIAM.INT.'/'5X,
*'Y LA LONGITUD PARA CADA VANO (CM):/'5X,'(DATOS EN COLUMNA)')
DO 1610 I=1,N-1
READ(*,*) PI1(I)
READ(*,*) PI2(I)
READ(*,*) ONG(I)
1610 CONTINUE
DO 901 I=1,N-1
IIND(I)=1
901 CONTINUE
GO TO 2
978 WRITE(*,108)
108 FORMAT(1H1,5X,'INDICAR EL LADO X,LADO EN Y'/'
*5X,'Y LA LONGITUD PARA CADA VANO (CM):/'5X,
*'(DATOS EN COLUMNA)')
DO 1612 I=1,N-1
READ(*,*) PI1(I)
READ(*,*) PI2(I)
READ(*,*) ONG(I)
1612 CONTINUE
DO 902 I=1,N-1
IIND(I)=2
902 CONTINUE
GO TO 2
977 WRITE(*,110)
110 FORMAT(1H1,5X,'IND. LADO EN X,LADO EN Y,LADO HUECO EN X'/'
*5X,'LADO HUECO EN Y,y LA LONG. PARA CADA VANO(CM):/'5X,
    
```

```

*(DATOS EN COLUMNA)')
DO 1613 I=1,N-1
READ(*,*) PI1(I)
READ(*,*) PI2(I)
READ(*,*) PI3(I)
READ(*,*) PI4(I)
READ(*,*) ONG(I)
1613 CONTINUE
DO 904 I=1,N-1
IIND(I)=3
904 CONTINUE
60 TO 2
976 WRITE(*,111)
111 FORMAT(1H1,5X,'INDICAR PARA CADA VANO: '//
* ' *LONGITUD(CM)'/
* ' *FORMA DE LA SECCION: 'X
* ' CIRCULAR ..... 1'/
* ' RECTANGULAR MACIZA ..... 2'/
* ' RECTANGULAR HUECA ..... 3'/
* ' *PARAMETROS QUE DEFINEN LA SECCION: '//
* ' CIRCULAR.....DIAM. EXT.,DIAM. INT. '//
* ' RECTANGULAR MACIZA.....LADO EN X,LADO EN Y '//
* ' RECTANGULAR HUECA.....LADO EN X,LADO EN Y '//
* ' HUECO EN X,HUECO Y '//
* ' (DATOS EN COLUMNA)')

DO 1615 I=1,N-1
READ(*,*) ONG(I)
READ(*,*) IIND(I)
READ(*,*) PI1(I)
READ(*,*) PI2(I)
READ(*,*) PI3(I)
READ(*,*) PI4(I)
1615 CONTINUE
60 TO 2
975 WRITE(*,966)
966 FORMAT(1H1,5X,'DAR LOS SIGUIENTES VALORES: '//
*5X,' -SECCION (CM**2)'/
*5X,' -MOMENTO DE INERCIA EN X (CM**4)'/
*5X,' -MOMENTO DE INERCIA EN Y (CM**4)'/5X,
*(DATOS EN FILA)')
READ(*,*) SEC(1),ERCIMX(1),ERCIMY(1)
DO 985 I=2,N-1
SEC(I)=SEC(1)
ERCIMX(I)=ERCIMX(1)
ERCIMY(I)=ERCIMY(1)
985 CONTINUE
WRITE(*,939)
939 FORMAT(//,5X,'INDICAR LA LONGITUD DEE LOS VANOS (CM): '//
*5X,'(DATOS EN COLUMNA)')
DO 1616 I=1,N-1
READ(*,*) ONG(I)
1616 CONTINUE
60 TO 946
974 WRITE(*,965)
965 FORMAT(1H1,5X,'INDICAR LOS VALORES PARA CADA VANO: '//
*5X,' -SECCION (CM**2)'/
*5X,' -MOMENTO DE INERCIA EN X (CM**4)'/
*5X,' -MOMENTO DE INERCIA EN Y '//
*5X,' -LONGITUD DEL VANO (CM)'/5X,
* ' (DATOS EN COLUMNA)')

```

```

DO 1617 I=1,N-1
  READ(*,*) SEC(I)
  READ(*,*) ERCIMX(I)
  READ(*,*) ERCIMY(I)
  READ(*,*) ONG(I)
1617 CONTINUE
946 SEIN=1
C
C   LECTURA DE CARGAS EN LOS NUDOS
C
  2 WRITE(*,112)
  112 FORMAT(1H1,5X,'IND. EL NUM. TOTAL DE ACCIONES EXTERIORES: '/
    *5X,'RIGIDEZES A DESPLAZAMIENTO,FLEXION Y TORSION '/
    *5X,'FUERZAS EN LOS TRES EJES '/
    *5X,'MOMENTOS EN LOS TRES EJES ( 2 TORSORES ) '/
    *5X,'MASAS INERTES E INERTIAS TORSIONALES ')/
  READ(*,*) NTC
  WRITE(*,949)
  949 FORMAT(1H1,5X,'INTRODUICR LAS ACCIONES INDICANDO: '/
    *'NUDO '/
    *' TIPO DE ACCION SEGUN EL INDICE DE LA TABLA '/
    *' VALOR DE LA CARGA '/
    *' ***TABLA*** '/
    *' 1 RIGIDEZ A EL DESPLAZAMIENTO(KG/CM) '/
    *' 2 RIGIDEZ AL GIRO POR MOMENTO FLECTOR(KG*CM/RAD) '/
    *' 3 RIGIDEZ AL GIRO POR MOMENTO TORSOR '/
    *' 4 FUERZA EXTERIOR SEGUN X (KG) '/
    *' 5 FUERZA EXTERIOR SEGUN Y (KG) '/
    *' 6 FUERZA EXTERIOR SEGUN Z (KG) '/
    *' 7 MOMENTO FLECTOR SEGUN X (KG*CM) '/
    *' 8 MOEMNTO FLECTOR SEGUN Y (KG*CM) '/
    *' 9 PAR TORSOR SEGUN Z MAXIMO '/
    *' 10 PAR TORSOR MINIMO '/
    *' 11 MASA INERTE (UTM) '/
    *' 12 MOM. DE INER. DE LA MASA INERTE A TORSION(UTM*CM**2) '/
    *' 13 MOM. DE INER. DE LA MASA INERTE A FLEXION(UTM*CM**2) '/
    *' (DATOS EN COLUMNA) '/
  DO 1619 J=1,NTC
  READ(*,*) IN(J)
  READ(*,*) INC(J)
  READ(*,*) CARGA(J)
1619 CONTINUE
C
C   LECTURA DE MAS DATOS
C
  WRITE(*,113)
  113 FORMAT(1H1,/,5X,'INDICAR EL NUDO QUE ABSORBE LOS ESFUERZOS
    *'/5X,'AXIALES: ')/
  READ(*,*) L
  WRITE(*,204)
  204 FORMAT(///,5X,'INDICAR EL NUMERO TOTAL DE NUDOS PARA LAS '/5X,
    *'DEFORMACIONES TORSIONALES Y AXIALES: ')/
  READ(*,*) NDTA
  WRITE(*,205)
  205 FORMAT(///,5X,'INDICAR LOS NUDOS: '/5X,'(DATOS EN COLUMNA) ')/
  DO 1620 I=1,NTDA
  READ(*,*) NDTA(I)
1620 CONTINUE
C
C   CREACION DE LA MATRICES DE CARGA

```

```

C
DO 950 J=1,NTC
I=IN(J)
GO TO(8,951,961,952,953,954,955,956,957,958,959,181,149)INC(J)
8 RIGIQ(I)=CARGA(J)
GO TO 950
951 RIGIM(I)=CARGA(J)
GO TO 950
961 RIGIT(I)=CARGA(J)
GO TO 950
952 FUEXTX(I)=CARGA(J)
GO TO 950
953 FUEXTY(I)=CARGA(J)
GO TO 950
954 FUEXTZ(I)=CARGA(J)
GO TO 950
955 PARFLX(I)=CARGA(J)
GO TO 950
956 PARFLY(I)=CARGA(J)
GO TO 950
957 TORZA(I)=CARGA(J)
GO TO 950
958 TORZI(I)=CARGA(J)
GO TO 950
959 ASAIN(I)=CARGA(J)
GO TO 950
181 ERCITO(I)=CARGA(J)
GO TO 950
149 ERCFL(I)=CARGA(J)
950 CONTINUE

C
C
C
C
CREACION DE LAS MATRICES DE AREAS E INERCIAS SEGUN LOS
TRES TIPOS DE SECCIONES

IF(SEIN.EQ.1) GO TO 7
PI=3.1415926535
DO 9 I=1,N-1
IF(IIND(I).NE.1) GO TO 11
SEC(I)=PI*(PI1(I)**2-PI2(I)**2)/4.
ERCIMX(I)=PI*(PI1(I)**4-PI2(I)**4)/64.
ERCIMY(I)=ERCIMX(I)
ERCITO(I)=ERCIMX(I)*2
GO TO 9
11 IF(IIND(I).NE.2) GO TO 12
SEC(I)=PI1(I)*PI2(I)
ERCIMX(I)=PI2(I)**3*PI1(I)/12.
ERCIMY(I)=PI1(I)**3*PI2(I)/12.

C
C
C
SE HACE AHORA PI2<PI1 PARA CALCULAR ERCITO

IF(PI2(I).LE.PI1(I)) GO TO 13
AU=PI2(I)
PI2(I)=PI1(I)
PI1(I)=AU
13 ERCITO(I)=PI2(I)**3*PI1(I)*(16./3.-3.36*(PI2(I)/PI1(I))*(1.-
*(PI2(I)/PI1(I))**4/12.))/16.
GO TO 9
12 IF(IIND(I).NE.3) GO TO 9
SEC(I)=PI1(I)*PI2(I)-PI3(I)*PI4(I)
ERCIMX(I)=PI2(I)**3*PI1(I)/12.-PI4(I)**3*PI3(I)/12.

```

```

ERCIMY(I)=PI1(I)**3*PI2(I)/12.-PI3(I)**3*PI4(I)/12.
IF(PI2(I).LE.PI1(I)) GO TO 14
AU=PI2(I)
PI2(I)=PI1(I)
PI1(I)=AU
AU=PI4(I)
PI4(I)=PI3(I)
PI3(I)=AU
14 ERCITO(I)=(PI1(I)-PI3(I))*(PI2(I)-PI4(I))*((PI1(I)+PI3(I))*
*(PI2(I)+PI4(I))**2/(16.*(PI1(I)*(PI1(I)-PI3(I))+PI2(I)*
*(PI2(I)-PI4(I)))-8.*(PI1(I)-PI3(I))**2+(PI2(I)-PI4(I))**2))
9 CONTINUE

```

C
C
C

CALCULO DEL PESO PROPIO

```

7 IF(ALFA.EQ.0) GO TO 1700
ALFA=ALFA*PI/180.
RO=RO/1000000.
PPR=SEC(1)*ONG(1)*RO/2.
FUEXTY(1)=FUEXTY(1)-COS(ALFA)*PPR
DO 15 I=2,N
PPR=(SEC(I)*ONG(I)+SEC(I-1)*ONG(I-1))*RO/2.
FUEXTY(I)=FUEXTY(I)-COS(ALFA)*PPR
15 CONTINUE

```

C
C
C
C
C
C
C

CALCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES

CALCULO DE Y, Y PRIMA, M, y Q, ANTES Y DESPUES DE CADA NUDO SEGUN X.

```

1700 CALL ESFDEF(N,E,ONG,RIGIM,RIGIO,PARFLY,FUEXTX,ERCIMX,
*SOLX1,SOLX2)
CALL ESFDEF(N,E,ONG,RIGIM,RIGIO,PARFLY,FUEXTY,ERCIMY,
*SOLY1,SOLY2)

```

C
C
C

CALCULO DE TORSORES

```

TOSOL1(1,1)=0.
TOSOL2(1,1)=TORZA(1)
DO 52 I=2,N
TOSOL1(I,1)=TOSOL2(I-1,1)
TOSOL2(I,1)=TOSOL2(I-1,1)+TORZA(I)
52 CONTINUE
TOSOL1(1,2)=0.
TOSOL2(1,2)=TORZI(1)
DO 53 I=2,N
TOSOL1(I,2)=TOSOL2(I-1,2)
TOSOL2(I,2)=TOSOL2(I-1,2)+TORZI(I)
53 CONTINUE

```

C
C
C

CALCULO DE FUERZAS AXIALES

```

AXT=0.
DO 54 I=1,N
AXT=AXT+FUEXTZ(I)
54 CONTINUE
FUEXTZ(L)=FUEXTZ(L)-AXT
AXI1(1)=0.
AXI2(1)=-FUEXTZ(1)

```

```

DO 55 I=2,N
AXI1(I)=AXI2(I-1)
AXI2(I)=AXI2(I-1)-FUEXTZ(I)
55 CONTINUE
C
C   CALCULO DE GIROS TORSIONALES Y DEFORMACIONES AXIALES
C
DO 140 I=1,N-1
GITOR(I)=TOSOL2(I,1)/(ERCITO(I)*6)
140 CONTINUE
DO 218 J=1, NDTA-1
I=NDTA(J)
II=NDTA(J+1)-1
LON=0.
LONG=0.
DO 219 K=1,II
LON=LON+ONG(K)/ERCITO(K)
LONG=LONG+ONG(K)/SEC(K)
219 CONTINUE
ANGTOR(I)=GITOR(I)+ERCITO(I)*LON*180./PI
DEFAX(I)=AXI2(I)*LONG/E
218 CONTINUE
C
C   COMPROBACION A RESISTENCIA
C
C   SI ES DE SECCION CUALQUIERA PASA A VIBRACIONES
C
IF(SEIN.EQ.1) GO TO 151
DO 60 I=1,N
C
C   OBTENCION DE LOS FLECTORES EN X,Y,TORSOR Y AXIAL
C
FLX=DMAX1(DABS(SOLX1(I,3)),DABS(SOLX2(I,3)))
FLY=DMAX1(DABS(SOLY1(I,3)),DABS(SOLY2(I,3)))
TOR=AMAX1(ABS(TOSOL1(I,1)),ABS(TOSOL2(I,1)))
AX(I)=AMAX1(ABS(AXI1(I)),ABS(AXI2(I)))
C
C   OBTENCION DE LA SECCION MINIMA J PARA EL NUDO I
C
CALL SECM1(I,J,N,SEC(I),SEC(I-1))
C
C   OBTENCION DE LAS TENSIONES TANGENCIAL Y NORMAL SEGUN LA
C   GEOMETRIA
C
IF(IIND(J).NE.1) GO TO 55
TAO(I)=TOR*PI1(J)/(2.*ERCITO(J))
SIG(I)=SQRT(FLX**2+FLY**2)*PI1(J)/ERCITO(J)+AX(I)/SEC(J)
60 TO 59
56 IF(IIND(J).NE.2) GO TO 57
TAO(I)=TOR*(3.*PI1(J)+1.8*PI2(J))/(PI1(J)*PI2(J)**2)
60 TO 58
57 TAO(I)=TOR/((PI2(J)-PI4(J))*(PI1(J)+PI3(J))*(PI2(J)+
*PI4(J))/4.)
58 SIG(I)=SQRT(FLX**2+FLY**2)*PI2(J)/(2.*DMIN1(ERCIMX(J),ERCIM
*Y(J))+AX(I)/SEC(J)
C
C   OBTENCION DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD
C
59 IF(TAO(I).EQ.0.AND.SIG(I).EQ.0) THEN
COSEG(I)=1000000.

```

```

ELSE
COSEG(I)=FLUL/(2.*SQRT(TAO(I)**2+SIG(I)**2/4.))
END IF
IF(COSEG(I).GT.1000000.) COSEG(I)=1000000.
60 CONTINUE
C
C   COMPROBACION SEGUN EL CODIGO "ASME"
C
WRITE(*,928)
928 FORMAT(1H1,/,SX,'DESEA DIMENSIONAR SEGUN EL CODIGO "ASME" ?
*,/SX,('(SI,NO):')
READ(*,201) I1
IF(I1.NE.'SI') GO TO 151
IASME=1
C
C   SE PUEDE ALTERAR LA LONGITUD DE ALGUN EL VANO PARA EL COEFI-
C   CIENTE AXIAL
C
WRITE(*,917)
917 FORMAT(1H1,/,SX,'DESEA VARIAR LA LONGITUD DE ALGUN VANO ?
*5X,'PARA ESTE CASO ? (SI,NO):')
READ(*,201) I1
DO 923 I=1,N-1
ONGPA(I)=ONG(I)
923 CONTINUE
IF(I1.EQ.'NO') GO TO 926
WRITE(*,925)
925 FORMAT(1H1,/,SX,'INDICAR EL NUMERO TOTAL DE LONGITUDES:')
READ(*,*) NTLON
WRITE(*,924)
924 FORMAT(1H1,/,SX,'INDICAR EL VANO ANTIGUO Y SU NUEVA LONGITUD:/'
*5X, '(DATOS EN COLUMNA)')
DO 1650 I=1,NTLON
READ(*,*) NU(I)
READ(*,*) ASI(I)
1650 CONTINUE
DO 922 J=1,NTLON
I=NU(J)
ONGPA(I)=ASI(J)
922 CONTINUE
926 GO TO(920,919,62,63,64) NH
920 CFLE=1.
CTOR=1.
GO TO 927
919 CFLE=1.75
CTOR=1.75
GO TO 927
62 CFLE=1.5
CTOR=1.
GO TO 927
63 CFLE=1.75
CTOR=1.25
GO TO 927
64 CFLE=2.5
CTOR=2.25
927 DO 921 I=1,N
C
C   OBTENCION DE LA SECCION MINIMA J PARA EL NUDO I
C
CALL SECM(I,J,N,SEC(I),SEC(I-1))

```



```

C
C   OBTENCION DEL COEFICIENTE AXIAL
C
ESBEL=ONGPA(J)/DSQRT(DMIN1(ERCIMX(J),ERCIMY(J))/SEC(J))
IF(ESBEL.GT.115) CAXI=ESBEL**2*FLUL/(PI**2/E)
CAXI=1./(1.-ESBEL**2*FLUL/(4.*PI**2*E))

C
C   OBTENCION DE LA TENSION NORMAL MEDIA Y VARIABLE
C
SIGM=AX(I)/SEC(J)
SIGA=SIG(I)-SIGM

C
C   OBTENCION DEL COEFICIENTE DE SEGURIDAD
C
IF(TAO(I).EQ.0.AND.SIG(I).EQ.0) THEN
COSEGA(I)=1000000.
ELSE
COSEGA(I)=FLUL/(2.*SQRT((TAO(I)*CTOR)**2+(SIGA*CFLE+CAXI*
*SIGM)**2/4.))
END IF
IF(COSEGA(I).GT.1000000.) COSEGA(I)=1000000.
921 CONTINUE

C
C   ANALISIS DE VIBRACIONES
C
151 WRITE(*,6)
6   FORMAT(1H1,/,5X,'DESEA CONSIDERAR LAS VIBRACIONES? (SI-NO):')
READ(*,1011) I1
IF(I1.EQ.'NO') GO TO 199
IVIBR=1

212 WRITE(*,175)
175 FORMAT(1H1,/,5X,'DESEA VARIAR ALGUNO DE LOS SIGUIENTES'/
*5X,' *PARAMETROS? (SI-NO):')
*5X,' *NUM. TOTAL DE FRECS. NATURALES'/
*5X,' *PRECISION DESEADA(CICLOS/SEG)'/
*5X,' *FREC. INICIAL DEE BARRIDO'/
*5X,' *FREC. FINAL DE BARRIDO'/
*5X,' *INTERVALO DE BARRIDO')
READ(*,1011) I1

1011 FORMAT(A)
DOSPI=2.*3.1415926535
RO=RO/981.
IF(I1.EQ.'SI') GO TO 254
IDELTA=0
MONATS=6
OMINI=0.00001
OMFIN=2500.
DELOM=1.
GO TO 256

254 IDELTA=1
WRITE(*,255)

255 FORMAT(1H1,/,5X,'INDICAR LOS VALORES DESEADOS PARA:')
*5X,' *NUMERO TOTAL DE FRECS. NATURALES'/
*5X,' *PRECISION DESEADA(CICLOS/SEG)'/
*5X,' *FREC. INICIAL DE BARRIDO'/
*5X,' *FREC. FINAL DE BARRIDO'/
*5X,' *INTERVALO DE BARRIDO'/
*5X,' (DATOS EN FILA)')
READ(*,*) MONATS,EPS,OMINI,OMFIN,DELOM
256 FRENA=0

```

```

DELOM=DELOM*DOSPI
OMINI=OMINI*DOSPI
OMFIN=OMFIN*DOSPI
OME=OMINI+DELOM
DET=0.
46 DETA=DET
   OMEA=OME
   IF(IDELTA.EQ.1) GO TO 251
   IF(OME.GT.10.*DOSPI) GO TO 1805
   IF(OME.GT.100.*DOSPI) GO TO 1806
   IF(OME.GT.500.*DOSPI) GO TO 1807
   IF(OME.GT.1000.*DOSPI) GO TO 1808
   IF(OME.GT.2000.*DOSPI) GO TO 1809
   GO TO 251
1805 DELOM=5.*DOSPI
   GO TO 251
1806 DELOM=10.*DOSPI
   GO TO 251
1807 DELOM=30.*DOSPI
   GO TO 251
1808 DELOM=50.*DOSPI
   GO TO 251
1809 DELOM=100.*DOSPI
251 OME=OME+DELOM
   IF(OME.GT.OMFIN) GO TO 47
   IMOD=0
   CALL MTRANS(RIGIM,RIGIQ,ERCFL,ASAIN,ONG,SEC,ERCIMX,RO,E,N,OME,A,
   *IMOD,JJ,MODOS1,MODOS2)
   DET=A(3,1)*A(4,2)-A(3,2)*A(4,1)
   IF(DETA.EQ.0) GO TO 46
   IF(DET/DETA.GT.0.) GO TO 46
   OMSUP=OME
   OME=OMEA
   GO TO 253
48 DETA=DET
259 IF(IDELTA.EQ.1) GO TO 253
   EPS=DOSPI
   IF(OME.LE.10.*DOSPI) EPS=.25*DOSPI
253 OME=OME+EPS
   IF(OME.GT.OMSUP) GO TO 46
   IMOD=0
   CALL MTRANS(RIGIM,RIGIQ,ERCFL,ASAIN,ONG,SEC,ERCIMX,RO,E,N,OME,A,
   *IMOD,JJ,MODOS1,MODOS2)
   DET=A(3,1)*A(4,2)-A(3,2)*A(4,1)
   IF(DETA.EQ.0.) GO TO 48
   IF(DET/DETA.GT.0) GO TO 48
   FRENA=FRENA+1
   EIGEN(FRENA)=(OME-0.5*EPS)/DOSPI
   IMOD=1
   JJ=FRENA
   MODOS1(1,1,JJ)=1.
   MODOS1(1,2,JJ)=-A(3,1)/A(3,2)
   MODOS1(1,3,JJ)=0.
   MODOS1(1,4,JJ)=0.
   CALL MTRANS(RIGIM,RIGIQ,ERCFL,ASAIN,ONG,SEC,ERCIMX,RO,E,N,OME,A,
   *IMOD,JJ,MODOS1,MODOS2)
   IF(FRENA.GE.MONATS) GO TO 47
   GO TO 48
47 MONATS=FRENA
   WRITE(*,257)

```

```

257 FORMAT(1H1,/,/,5X,'DESEA REPETIR EL ANALISIS A VIBRACIONES?'
*,/,5X,'(SI-NO):')
READ(*,1011) I1
IF(I1.EQ.SI) GO TO 212

```

C
C
C

SALIDA DE RESULTADÓS

```

199 WRITE(*,960)
960 FORMAT(1H1,/,/,5X,'DESEA CONOCER EL COEF. DE SEGURIDAD EN',/
*5X,'TODOS LOS NUDOS ? (SI,NO):')
READ(*,201) I1
IF(I1.EQ.'SI') THEN
  NTC=N
  DO 248 I=1,N
  NCS(I)=I
248 CONTINUE
  GO TO 912
  END IF
  WRITE(*,202)
202 FORMAT(1H1,/,/,5X,'INDICAR EL NUMERO TOTAL DE NUDOS EN LOS QUE',/
*5X,'SE DESEA CONOCER EL COEFICIENTE DE SEGURIDAD:')
  READ(*,*) NTC
  WRITE(*,203)
203 FORMAT(//,5X,'INDICAR LOS NUDOS: ',5X,'(DATOS EN COLUMNA)')
  DO 1621 I=1,NTCS
  READ(*,*) NCS(I)
1621 CONTINUE
912 WRITE(6,1504) N,ALFA,OMEGA,COESEG,FM,GIP,TM,NH
1504 FORMAT(9(/),5X,'CARACTERISTICAS GENERALES'
*5X,25('*')////////
*8X,'-NUMERO DE NUDOS:',31X,I4//
*8X,'-INCLINACION CON LA HORIZONTAL (GRAD.):',2X,F15.4//
*8X,'-VELOCIDAD DE GIRO (RPM):',16X,F15.4//
*8X,'-COEFICIENTE DE SEGURIDAD:',15X,F15.4//
*8X,'-DESPLAZAMIENTO MAX. ADMISIBLE (CM.):',16X,F15.4//
*8X,'-MAXIMO GIRO EN LOS APOYOS (GRADOS):',5X,F15.4//
*8X,'-MAXIMO GIRO TORSIONAL (GRADOS/METRO):',3X,F15.4//
*8X,'-GRADO DE CHOQUE',31X,I4)
  WRITE(6,1505)
1505 FORMAT(1H1,1X,'DATOS GEOMETRICOS',/2X,17('*')//
*2X,'VANO',1X,
*SEC. (CM**2) M. INER.X(CM**4) M. INER.Y(CM**4)',
*1X,'M. INER.TOR(CM**4) LONG.(CM)',/
*2X,4(' '),1X,
*12(' '),1X,16(' '),1X,15(' '),
*1X,18(' '),1X,9(' ')//)
  DO 1506 I=1,N-1
  WRITE(6,1507) I,SEC(I),ERCIMX(I),ERCIMY(I),ERCITO(I),ONG(I)
1507 FORMAT(1X,I3,2F12.2,8X,F12.2,2X,F12.2,5X,F12.2)
1506 CONTINUE
  WRITE(6,1508)
1508 FORMAT(//////////,5X,'CARGAS EXTERIORES SOBRE LOS NUDOS'
*5X,33('*')////////
*4X,'NUDO',15X,'TIPO DE CARGA',15X,'VALOR DE LA CARGA'
*4X,'-----',15X,13(' '),15X,17(' ')//)
  DO 1509 J=1,NTC
  IF(INC(J).EQ.1) WRITE(6,1510) IN(J),CARGA(J)
  IF(INC(J).EQ.2) WRITE(6,1511) IN(J),CARGA(J)
  IF(INC(J).EQ.3) WRITE(6,1512) IN(J),CARGA(J)
  IF(INC(J).EQ.4) WRITE(6,1513) IN(J),CARGA(J)

```

```

IF( INC(J).EQ.5) WRITE(6,1514) IN(J),CARGA(J)
IF( INC(J).EQ.6) WRITE(6,1515) IN(J),CARGA(J)
IF( INC(J).EQ.7) WRITE(6,1516) IN(J),CARGA(J)
IF( INC(J).EQ.8) WRITE(6,1517) IN(J),CARGA(J)
IF( INC(J).EQ.9) WRITE(6,1518) IN(J),CARGA(J)
IF( INC(J).EQ.10) WRITE(6,1519) IN(J),CARGA(J)
IF( INC(J).EQ.11) WRITE(6,1520) IN(J),CARGA(J)
IF( INC(J).EQ.12) WRITE(6,1521) IN(J),CARGA(J)
IF( INC(J).EQ.13) WRITE(6,1522) IN(J),CARGA(J)
1510 FORMAT(4X,I4,2X,'RIGIDEZ A EL DESPLA. (KG/CM)=' ,2X,F17.2/)
1511 FORMAT(4X,I4,2X,'RIGID. A EL GIRO POR MOM. FLEC.(KG*CM/RAD)='
*,F15.4/)
1512 FORMAT(4X,I4,2X,'RIGIDEZ AL GIRO POR MOM. TORSOR(KG*CM/RAD)=' ,
*,F15.4/)
1513 FORMAT(4X,I4,2X,'FUERZA EXTERIOR SEGUN X (KG)=' ,14X,F15.4/)
1514 FORMAT(4X,I4,2X,'FUERZA EXTERIOR SEGUN Y (KG)=' ,14X,F15.4/)
1515 FORMAT(4X,I4,2X,'FUERZA EXTERIOR SEGUN Z (KG)=' ,14X,F15.4/)
1516 FORMAT(4X,I4,2X,'MOMENTO FLECTOR EXT. SEGUN X (KG*CM)=' ,6X,
*,F15.4/)
1517 FORMAT(4X,I4,2X,'MOMENTO FLECTOR EXT. SEGUN Y (KG*CM)=' ,6X,
*,F15.4/)
1518 FORMAT(4X,I4,2X,'PAR TORSOR SEGUN Z MAXIMO (KG*CM)=' ,9X,
*,F15.4/)
1519 FORMAT(4X,I4,2X,'PAR TORSOR SEGUN Z MINIMO (KG*CM)=' ,9X,
*,F15.4/)
1520 FORMAT(4X,I4,2X,'MASA INERTE (UTM)=' ,26X,F15.4/)
1521 FORMAT(4X,I4,2X,'MOM. INER. TOR. DE LA MASA INERTE(UTM*CM**2)=' ,
*,E5.2/)
1522 FORMAT(4X,I4,2X,'MOM. INERCIA A FLEXION DE LA MASA INERTE
*(UTM*CM**2)=' ,E5.2/)
1509 CONTINUE
WRITE(6,1523)
1523 FORMAT(1H1,25(/),10X,51(/))
*,10X,'*',49X,'*',10X,'*',1X,47(/),1X,
*',*/2(10X,'*',45X,'*',*/),10X,'*',3X,
*',S A L I D A D E R E S U L T A D O S',3X,*/
*,2(10X,'*',45X,'*',*/),10X,'*',1X,47(/),1X,'*'
*,10X,'*',49X,'*'
*,10X,51(/)
WRITE(6,1524)
1524 FORMAT(1H1,10X,
*DEFORMACIONES EN EL PLANO XZ*****',
*///,3X,'NUDO',10X,'DESPLA. X',4X,'PENDIENTE X',
*5X,'M. FLECTOR X',7X,'CORTANTE X',/,3X,'-----',
*,10X,'-----',4X,'-----',5X,'-----',7X,
*-----')
DO 1525 I=1,N
WRITE(6,1526) I,(SOLX1(I,J),J=1,4),(SOLX2(I,J),J=1,4)
1526 FORMAT(3X,I3,5X,3F15.4,5X,F15.4/11X,3F15.4,5X,F15.4)
1525 CONTINUE
WRITE(6,1527)
1527 FORMAT(1H1,10X,
*DEFORMACIONES EN EL PLANO YZ*****',
*///,3X,'NUDO',10X,'DESPLA. Y',4X,'PENDIENTE Y',
*5X,'M. FLECTOR Y',7X,'CORTANTE Y',/,3X,'-----',
*,10X,'-----',4X,'-----',5X,'-----',7X,
*-----')
DO 1528 I=1,N
WRITE(6,1526) I,(SOLY1(I,J),J=1,4),(SOLY2(I,J),J=1,4)
1528 CONTINUE

```

Tesis de Maestría

Instituto de Ingeniería
Universidad Veracruzana

```

WRITE(6,1529)
1529 FORMAT(1H1, //8X,3(' '),
*NUDOS QUE EXCEDEN EL DESPLA. Y/O LA PEND. MAX.SUPUESTA'///
*10X,'NUDO',10X,'DESPLA. X',4X,'PENDIENTE MAX.'//
*10X,'-----',10X,'-----',4X,'-----'///)
DO 1530 I=1,N
  IF((DABS(SOLX1(I,1)).GT.FM
*.OR.DABS(SOLX2(I,1)).GT.FM
*.OR.DABS(SOLY1(I,1)).GT.FM
*.OR.DABS(SOLY2(I,1)).GT.FM).
*.AND.(DABS(SOLX1(I,2)).GT.GIP*PI/180.
*.OR.DABS(SOLX2(I,2)).GT.GIP*PI/180.
*.OR.DABS(SOLY1(I,2)).GT.GIP*PI/180.
*.OR.DABS(SOLY2(I,2)).GT.GIP*PI/180.)) WRITE(6,1531) I
  IF((DABS(SOLX1(I,1)).GT.FM
*.OR.DABS(SOLX2(I,1)).GT.FM
*.OR.DABS(SOLY1(I,1)).GT.FM
*.OR.DABS(SOLY2(I,1)).GT.FM).
*.AND.(DABS(SOLX1(I,2)).LE.GIP*PI/180.
*.AND.DABS(SOLX2(I,2)).LE.GIP*PI/180.
*.AND.DABS(SOLY1(I,2)).LE.GIP*PI/180.
*.AND.DABS(SOLY2(I,2)).LE.GIP*PI/180.)) WRITE(6,1532) I
  IF(DABS(SOLX1(I,1)).LE.FM
*.AND.DABS(SOLX2(I,1)).LE.FM
*.AND.DABS(SOLY1(I,1)).LE.FM
*.AND.DABS(SOLY2(I,1)).LE.FM
*.AND.(DABS(SOLX1(I,2)).GT.GIP*PI/180.
*.OR.DABS(SOLX2(I,2)).GT.GIP*PI/180.
*.OR.DABS(SOLY1(I,2)).GT.GIP*PI/180.
*.OR.DABS(SOLY2(I,2)).GT.GIP*PI/180.)) WRITE(6,1533) I
1530 CONTINUE
1531 FORMAT(10X,I4,14X,'*',13X,'*')
1532 FORMAT(10X,I4,14X,'*')
1533 FORMAT(10X,I4,28X,'*')
  WRITE(6,1534)
1534 FORMAT(1H1, //,10X,47(' '),
*3X,8(' '), 'ESFUERZOS Y DEFORMACIONES TORSIONALES Y AXIALES',
*8(' '),
*11X,47(' '),6(/),
*3X,'NUDO',1X,'TORSOR MAX.(KG*CM)',1X,'GIR. TOR(GRAD)',1X,
*'ESFZ. AXIAL(KG)',1X,'DEFORM. AXIAL(CM)'//,
*3X,4('-'),1X,19('-'),1X,14('-'),1X,15('-'),1X,17('-')//)
DO 1535 J=1,NTDTA
  I=NOTA(J)
  WRITE(6,1536) I,TOSOL1(I,1),ANGTOR(I),AXI1(I),DEFAX(I),
*TOSOL2(I,1),ANGTOR(I),AXI2(I),DEFAX(I)
1536 FORMAT(3X,I4,4F15.4/7X,4F15.4/)
1535 CONTINUE
  WRITE(6,1590)
1590 FORMAT(//
*4X,'**NUDO QUE SE EXCEDE EL MAXIMO GIRO TORSIONAL SUPUESTO'//
*10X,'NUDO'/10X,'____'//)
DO 1591 I=1,N-1
  IF(GITOR(I).GT.TM*PI/18000.) WRITE(6,1592) I
1591 CONTINUE
1592 FORMAT(8X,I4)
  WRITE(6,1537)
1537 FORMAT(1H1,10X,52(' ')//
*3X,8(' '), 'COEFICIENTES DE SEGURIDAD SEGUN RESISTENCIA ESTÁTICA',
*8(' ')/11X,52(' '),6(/))

```

```

CALL PCOSEG(NTCS,NCS,COESEG,COSEG)
IF(IASME.NE.1) GO TO 1538
WRITE(6,1539)
1539 FORMAT(1H1,/,10X,45('*')/
*3X,8('*'),'COEFICIENTES DE SEGURIDAD SEGUN CODIGO "ASME",
*8('*')/11X,45('*'),6(/)
CALL PCOSEG(NTCS,NCS,COESEG,COSEGA)
1538 IF(IVIBR.NE.1) GO TO 1701
WRITE(6,913)
913 FORMAT(1H1,/,15X,8('*'),'FRECUENCIAS Y MODOS NATURALES',
*8('*'),/,,)
DO 909 I=1,MONATS
PRR=EIGEN(I)*60
WRITE(6,990) I,EIGEN(I),PRR
990 FORMAT(3X,'FRECUENCIA NATURAL',I3,'=',F15.4,'(CIC/S)',
*F15.2,'(RPM)',/,3X,'NUDO',11X,'DESPLA.',9X,'PENDIENTE',
*7X,'M.FLEC.',7X,'CORTANTE',/,3X,'---',11X,7('*'),9X,
*9('*'),7X,7('*'),7X,8('*'),/)
WRITE(6,258) (K,(MODOS1(K,J,I),J=1,4),(MODOS2(K,J,I),
*J=1,4),K=1,N)
258 FORMAT(3X,I3,5X,4F17.2/11X,4F17.2/)
909 WRITE(6,1605)
1605 FORMAT(1H1)
IF(OMEGA.EQ.0) GO TO 1701
OMEGA=OMEGA/60
DO 243 I=1,MONATS
IF(EIGEN(I).GE.0.9*OMEGA.AND.EIGEN(I).LE.1.1*OMEGA)
*WRITE(6,244) I
243 CONTINUE
244 FORMAT(/,5X,'**OJO**LA VELOCIDAD CRITICA',I4,/,
*5X,'ESTA PROXIMA A LA VELOCIDAD DE GIRO DEL EJE')
1701 END
SUBROUTINE ESFDEF(N,E,ONG,RIGIM,RIGIQ,PF,FX,ER,S01,S02)
INTEGER N,I,J,K,LIN
DOUBLE PRECISION ONG(20),RIGIM(20),RIGIQ(20),FX(20),X,
*H(4,4),E,PF(20),ER(20),U(4,4),A(4,4),B(4,4),F(4),
*S01(20,4),S02(20,4)
DO 16 J=1,4
DO 17 K=1,4
U(J,K)=0.
17 CONTINUE
U(J,J)=1.
16 CONTINUE
LIN=1
25 I=1
DO 18 J=1,4
DO 19 K=1,4
A(J,K)=U(J,K)
19 CONTINUE
F(J)=0
18 CONTINUE
32 DO 20 J=1,4
DO 20 K=1,4
20 B(J,K)=U(J,K)
B(3,2)=-RIGIM(I)
B(4,1)=-RIGIQ(I)
DO 21 J=1,4
H(J,1)=B(J,1)*F(1)+B(J,2)*F(2)+B(J,3)*F(3)+B(J,4)*F(4)
21 CONTINUE
DO 33 J=1,4

```

```

F(J)=H(J,1)
33 CONTINUE
DO 34 J=1,4
DO 34 K=1,4
H(J,K)=B(J,1)*A(1,K)+B(J,2)*A(2,K)+B(J,3)*A(3,K)+B(J,4)*A(4,K)
34 CONTINUE
DO 35 J=1,4
DO 35 K=1,4
A(J,K)=H(J,K)
35 CONTINUE
F(3)=F(3)+PF(1)
F(4)=F(4)+FX(I)
IF(I-N) 22,23,23
23 IF(LIN.EQ.1) GO TO 24
S02(N,1)=S01(N,1)
S02(N,2)=S01(N,2)
S02(N,3)=0
S02(N,4)=0
RETURN
24 LIN=2
S01(1,1)=-F(3)*A(4,2)+F(4)*A(3,2)/(A(3,1)*A(4,2)-A(4,1)
-A(3,2))
S01(1,2)=-F(4)*A(3,1)+F(3)*A(4,1)/(A(3,1)*A(4,2)-A(4,1)
-A(3,2))
S01(1,3)=0
S01(1,4)=0
GO TO 25
22 IF(LIN.EQ.1) GO TO 26
DO 27 J=1,4
27 S02(I,J)=A(J,1)*S01(1,1)+A(J,2)*S01(1,2)+F(J)
DO 28 J=1,4
DO 28 K=1,4
28 B(J,K)=U(J,K)
X=ONG(I)
B(1,2)=X
B(1,3)=-X*X/(2.*E*ER(I))
B(1,4)=X**3/16.*E*ER(I)
B(2,3)=-X/(E*ER(I))
B(2,4)=X*X/(2.*E*ER(I))
B(3,4)=-X
DO 29 J=1,4
H(J,1)=B(J,1)*F(1)+B(J,2)*F(2)+B(J,3)*F(3)+B(J,4)*F(4)
29 CONTINUE
DO 36 J=1,4
F(J)=H(J,1)
36 CONTINUE
DO 37 J=1,4
DO 37 K=1,4
H(J,K)=B(J,1)*A(1,K)+B(J,2)*A(2,K)+B(J,3)*A(3,K)+B(J,4)*
-A(4,K)
37 CONTINUE
DO 38 J=1,4
DO 38 K=1,4
A(J,K)=H(J,K)
38 CONTINUE
IF(LIN.EQ.1) GO TO 30
DO 31 J=1,4
S01(I+1,J)=A(J,1)*S01(1,1)+A(J,2)*S01(1,2)+F(J)
31 CONTINUE
30 I=I+1

```

```

GO TO 32
END
SUBROUTINE MTRANS(RIGIM,RIGIQ,ERCFL,ASAIN,ONG,SEC,ERCIMX,
*RO,E,N,OME,A,IMOD,JJ,MODOS1,MODOS2)
INTEGER I,J,K,N,IMOD,JJ
DOUBLE PRECISION A(4,4),B(4,4),H(4,4),U(4,4),RIGIM(20)
*,RIGIQ(20),ERCFL(20),ASAIN(20),ONG(20),SEC(20),ERCIMX(20)
*,RO,E,OME,ALF,SN,CN,SH,CH,MODOS1(20,4,20),MODOS2(20,4,20)
*,X
DO 36 J=1,4
DO 37 K=1,4
U(J,K)=0.
37 CONTINUE
U(J,J)=1.
36 CONTINUE
DO 38 J=1,4
DO 38 K=1,4
A(J,K)=U(J,K)
38 CONTINUE
DO 39 J=1,N
DO 39 K=1,4
DO 39 L=1,4
B(J,K)=U(J,K)
39 CONTINUE
B(3,2)=-RIGIM(I)+ERCFL(I)*OME**2
B(4,1)=-RIGIQ(I)+ASAIN(I)*OME**2
DO 40 J=1,4
DO 40 K=1,4
H(J,K)=B(J,1)*A(1,K)+B(J,2)*A(2,K)+B(J,3)*A(3,K)+B(J,4)*A(4,K)
40 CONTINUE
DO 41 J=1,4
DO 41 K=1,4
A(J,K)=H(J,K)
41 CONTINUE
IF(IMOD.EQ.1) THEN
DO 250 J=1,4
MODOS2(I,J,JJ)=A(J,1)*MODOS1(1,1,JJ)+A(J,2)*MODOS1(1,2,JJ)
250 CONTINUE
END IF
IF(I.LT.N) GO TO 252
IF(IMOD.EQ.0) RETURN
MODOS2(N,1,JJ)=MODOS1(N,1,JJ)
MODOS2(N,2,JJ)=MODOS1(N,2,JJ)
MODOS2(N,3,JJ)=0.
MODOS2(N,4,JJ)=0.
RETURN
252 DO 42 J=1,4
DO 42 K=1,4
B(J,K)=U(J,K)
42 CONTINUE
X=ONG(I)
ALF=((RO*OME**2*SEC(I))/(E*ERCIMX(I)))**(1./4.)
SN=DSIN(ALF*X)
CN=DCOS(ALF*X)
SH=DSINH(ALF*X)
CH=DCOSH(ALF*X)
B(1,1)=(CH+CN)/2.
B(1,2)=(SH+SN)/(2.*ALF)
B(1,3)=(-CH+CN)/(2.*E*ERCIMX(I)*ALF**2)
B(1,4)=(SH-SN)/(2.*E*ERCIMX(I)*ALF**3)

```



```

B(2,1)=ALF*(SH-SN)/2.
B(2,2)=B(1,1)
B(2,3)=(-SH-SN)/(2.*E*ERCIMX(I)*ALF)
B(2,4)=(CH-CN)/(2.*E*ERCIMX(I)*ALF**2)
B(3,1)=(E*ERCIMX(I)*ALF**2)*(-CH+CN)/2.
B(3,2)=(E*ERCIMX(I)*ALF)*(-SH+SN)/2.
B(3,3)=B(1,1)
B(3,4)=(-SH-SN)/(2.*ALF)
B(4,1)=(E*ERCIMX(I)*ALF**3)*(SH+SN)/2.
B(4,2)=(E*ERCIMX(I)*ALF**2)*(CH-CN)/2.
B(4,3)=ALF*(-SH+SN)/2.
B(4,4)=B(1,1)
DO 43 J=1,4
DO 43 K=1,4
H(J,K)=B(J,1)*A(1,K)+B(J,2)*A(2,K)+B(J,3)*A(3,K)+B(J,4)*A(4,K)
43 CONTINUE
DO 44 J=1,4
DO 44 K=1,4
A(J,K)=H(J,K)
44 CONTINUE
IF(IMOD.EQ.1) THEN
DO 251 J=1,4
MODOSI(I+1,J,JJ)=A(J,1)*MODOSI(1,1,JJ)+A(J,2)*MODOSI(1,2,JJ)
251 CONTINUE
END IF
45 CONTINUE
END
SUBROUTINE SECMI(I,J,N,SECP,SECPP)
C
C SUBROUTINA PARA CALCULAR LA SECCION MINIMA DEL NUDO
C
C INTEGER I,J,N
C
C REAL SECP,SECPP
C
J=1
IF(I.EQ.1) RETURN
IF(I.EQ.N) GO TO 61
IF(SECP.GT.SECPP) J=I-1
RETURN
61 J=N-1
RETURN
END
SUBROUTINE PCOSEC(NTCS,NCS,COESE6,CS)
C
C SUBROUTINA PARA IMPRIMIR LOS COEFICIENTES DE SEGURIDAD
C
C
C INTEGER NTCS,NCS(20),I,J
C
REAL CS(20)
WRITE(6,1548)
1548 FORMAT(7X,'NUDO',5X,'COEF. DE SEGURIDAD'/
*7X,'-----',5X,'-----'/)
DO 1549 J=1,NTCS
I=NCS(J)
WRITE(6,1550) I,CS(I)
1550 FORMAT(7X,I3,9X,F12.2)
1549 CONTINUE
WRITE(6,1551)
1551 FORMAT(//)

```

```
*4X,  
***NUDOS EN QUE NO SE ALCANZA EL COEF. DE SEG. MINIMO SUPUESTO : *  
*//10X, 'NUDO'/10X, '----'//)  
DO 1552 J=1,NTCS  
I=NCS(J)  
IF(CS(I).LT.COESE6) WRITE(6,1553) I  
1552 CONTINUE  
1553 FORMAT(8X,14)  
RETURN  
END
```

Instituto de Ingeniería
Universidad Veracruzana

