



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN INGENIERIA

**UN MÉTODO DIRECTO DE INTERACCIÓN
TRIDIMENSIONAL SUELO-ESTRUCTURA**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA

INGENIERÍA CIVIL-GEOTECNIA

P R E S E N T A :

GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

DIRECTOR:

DR. RIGOBERTO RIVERA CONSTANTINO



MÉXICO, D.F.

ENERO 2012

JURADO ASIGNADO:

Presidente: M.I. Agustín Deméneghi Colina
Secretario: M.I. Jaime Antonio Martínez Mier
Vocal: Dr. Rigoberto Rivera Constantino
1^{er.} Suplente: M.I. Octavio García Domínguez
2^{do.} Suplente: M.I. Roberto Magaña del Toro

Lugar donde se realizó la tesis:

México, D.F., Ciudad Universitaria

DIRECTOR DE TESIS:

DR. RIGOBERTO RIVERA CONSTANTINO

FIRMA

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mi esposa María Teresa, a mis hijos Mónica, Cecilia, Arturo y a la memoria de Germán, que han sido el motivo para superarme profesionalmente.

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco al Dr. Rigoberto Rivera Constantino su apoyo para realizar los estudios de posgrado. Sin este apoyo muy probablemente no lo hubiera hecho.

Les agradezco a mis compañeros del Departamento de Geotecnia, de los que he aprendido mucho en estos años en que me incorporé a la Facultad de Ingeniería.

Les agradezco a mis sinodales por su valiosa aportación para mejorar la calidad de este trabajo.

De manera especial le agradezco al M.I. Carmelino Zea Constantino por su desinteresada colaboración para desarrollar este trabajo.

“UN MÉTODO DIRECTO DE INTERACCIÓN TRIDIMENSIONAL SUELO-ESTRUCTURA”

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	4
3. MARCO TEÓRICO	7
3.1. Modelación del sistema estructural	
3.2. Modelación del subsuelo	
4. APLICACIÓN DEL MÉTODO	19
4.1 Cajón de cimentación	
4.2 Estructura reticular tridimensional	
5. CONCLUSIONES	32
APÉNDICE A: Cálculo de la matriz de rigidez del suelo. Programa “FLEXSU”	37
APÉNDICE B: Cálculo de la matriz de rigidez de la estructura. Programa “EMISES3D”	48
APÉNDICE C: Listado de los programas “FLEXSU” y “EMISES3D”	62
APÉNDICE D: Memoria de cálculos de los ejemplos.	105

1. INTRODUCCIÓN

El análisis y diseño de cimentaciones bajo métodos racionales ha sido, durante varios años, la preocupación de ingenieros estructuristas y geotecnistas; se ha dedicado mucho tiempo en la formulación de métodos que tomen en cuenta las propiedades mecánicas del subsuelo de apoyo de la cimentación y de la propia estructura. Los resultados que se han obtenido aún no son definitivos, por lo que queda todavía camino por recorrer.

En México, desde que se conoce el concepto de “módulo de reacción variable” en sustitución del suelo (Zeevaert, 1973), se han desarrollado varios métodos para calcular la distribución de reacciones bajo la cimentación.

Inicialmente la hipótesis de trabajo fue la de suponer la cimentación infinitamente rígida; más tarde se introdujo la flexibilidad de la cimentación mediante el concepto de rigidez nominal (EI).

El medio continuo sobre el que se apoya la estructura se representa, como se menciona líneas arriba, por el módulo de reacción k , producto del cociente entre la presión de contacto q bajo la cimentación y la deformación δ que experimenta el subsuelo por el efecto de dicha presión; esto es:

$$k = \frac{q}{\delta} \quad (1.1)$$

El valor de k no es constante, depende, como indica la ecuación (1.1), de la presión de contacto en el área tributaria del punto donde se calcula la deformación del suelo.

Las deformaciones bajo la cimentación son la suma del producto de la compresibilidad ($M \cdot d$) de cada estrato, por el incremento de esfuerzos ($\Delta\sigma$) que la presión de contacto induce en cada uno de ellos; esto es:

$$\delta = (M \cdot d) \cdot \Delta\sigma \quad (1.2)$$

M representa el módulo de deformación, cuyo valor depende de las propiedades

mecánicas de compresibilidad del suelo las que, a su vez, son función del tipo de material y del nivel de esfuerzos.

d es el espesor del estrato.

La distribución de reacciones bajo la cimentación depende tanto de la flexibilidad de la estructura como de la compresibilidad del suelo de apoyo, por lo que el objetivo de la interacción suelo-estructura es el de obtener la distribución de reacciones que haga compatibles las deformaciones de la estructura con las del subsuelo.

En este trabajo se presenta un método de cálculo que, si bien no es nuevo, permite el análisis y diseño de la estructura y su cimentación en conjunto.

Con este método se obtienen las deformaciones (desplazamientos lineales y angulares) de la estructura, sus elementos mecánicos (fuerza axial, fuerza cortante, momentos flexionantes y torsionante), además del asentamiento de la estructura y la distribución de reacciones en las áreas tributarias de los nudos de la cimentación que se utilizaron para establecer el modelo estructural.

Lo anterior sin la necesidad de recurrir a las, a veces, engorrosas iteraciones.

Antes de presentar formalmente el método, en el capítulo 2 se hace una revisión, no necesariamente exhaustiva, de las soluciones con que se cuenta actualmente y de las hipótesis de trabajo en las que se sustentan, para resolver el problema de interacción suelo-estructura.

Enseguida se expone, en el capítulo 3, la teoría en la que se basa el método y la manera en que se modela la estructura y su cimentación, así como la modelación que se hace del subsuelo y la forma en que se integran ambos modelos en el sistema suelo-cimentación-superestructura.

El método propuesto se utiliza para resolver algunos ejemplos sencillos que ilustran la manera en que se pueden estudiar varios problemas de la práctica profesional. Los resultados se comparan con la solución que se obtiene al utilizar un método iterativo. Estos ejemplos se exponen en el capítulo 4.

En el capítulo 5 se anotan las conclusiones sobre las ventajas que ofrece el método de cálculo propuesto en relación con un método iterativo o bien, otros análisis que no toman en cuenta la interacción suelo-estructura. Se expone también lo que puede incluirse en el futuro en cuanto a los tipos de elementos estructurales que, incorporados en el modelo, permitirán representar de manera más fidedigna a la estructura real.

Finalmente, en los apéndices a este trabajo se incluyen las hojas de cálculo de los ejemplos resueltos manualmente o con un programa comercial, así como los listados de los programas y sus manuales de uso. Se invita al lector a revisar su estructura y a mejorarlos para aumentar su capacidad y prestaciones. De esta manera se podrá crear “software” que permita estudiar en conjunto el comportamiento de la estructura y el suelo, más apegado a la realidad.

2. ANTECEDENTES

En general, se considera aceptable analizar la superestructura empotrada en la cimentación; las reacciones se calculan en los puntos de apoyo y se utilizan como acciones sobre la cimentación.

Se analiza la cimentación apoyada en una serie de resortes que representan al suelo, calculados a partir de un módulo de reacción constante, con lo que se obtienen las reacciones del suelo y las deformaciones generadas.

Si el asentamiento total y, sobre todo, el diferencial afectan el comportamiento de la superestructura, se introducen las deformaciones en los apoyos de la estructura y se rehace el análisis hasta obtener resultados consistentes.

El proceso anterior, hasta el inicio de la década de los 80's, fue posible llevarlo a cabo solamente mediante computadoras "mainframes", lo que dificultó en gran medida la aplicación del método, ya que el acceso a estas computadoras era posible solo para algunos cuantos.

En todo caso, el método se aplicaba parcialmente "a mano" al hacer simplificaciones importantes en el modelo estructural de la cimentación, al modelarla como una gran viga y analizarla únicamente en una dirección, mientras que en la dirección perpendicular se suponía infinitamente rígida.

Es todavía aceptable en algunos casos particulares, suponer que la cimentación es infinitamente rígida, con lo que es posible obtener la distribución de reacciones del suelo en ambas direcciones al mismo tiempo. Con estas reacciones y las cargas de la estructura se procede al diseño estructural de la cimentación.

Con el advenimiento de las computadoras personales se crearon programas de cómputo capaces de analizar grandes modelos estructurales en los que los apoyos del suelo son los resortes equivalentes calculados como se menciona líneas arriba.

Es posible suponer un módulo de reacción variable, solamente que esto obliga a separar el análisis estructural del estudio del comportamiento del suelo y a realizar iteraciones hasta que los cambios entre dos iteraciones sucesivas sean mínimos.

Cabe mencionar en este punto que, el "software" que se ofrece a la venta para las computadoras personales, aunque es muy amigable y menos caro que los utilizados en las computadoras "mainframes" tiene precios de varios miles de dólares, por lo que no está al alcance de todos.

En consecuencia, los ingenieros estructuristas o geotecnistas sin grandes recursos económicos se ven obligados a realizar simplificaciones importantes al modelo estructural para poder utilizar hojas de cálculo o programas desarrollados por ellos mismos.

Se han presentado en nuestro país varios métodos de análisis estructural donde se toma en cuenta la interacción suelo-estructura. En la referencia 3 Deméneghi hace un excelente resumen de los diferentes métodos que se han desarrollado en el mundo sobre interacción suelo-estructura tanto estática como dinámicamente.

Los métodos que se han desarrollado en México siguen los procedimientos planteados por Zeevaert (1973) para el estudio del comportamiento del subsuelo, sobre todo en el caso de los suelos blandos de compresibilidad media a alta. De estos métodos cabe destacar lo publicado por Sánchez-Enríquez (1982) y Deméneghi (1992).

En las publicaciones anteriores se utiliza el método de las rigideces o de los desplazamientos para el análisis estructural, a diferencia de lo desarrollado por Zeevaert, que utiliza el método de las flexibilidades o de las fuerzas; sin embargo, dada la relación que existe entre la matriz de flexibilidad y la de rigidez, ambos procedimientos son equivalentes.

En este trabajo se sigue también el método de las rigideces aprovechando lo desarrollado por Sánchez-Enríquez y Deméneghi; pero se amplían las posibilidades del método al hacer más general el cálculo de las matrices de rigidez, tanto de la estructura como del suelo.

Con el método que se propone es posible analizar estructuras reticulares tridimensionales, con la única restricción de la capacidad de memoria de la computadora que se utilice para el cálculo, además de que toma en cuenta los seis grados de libertad de los nudos de la estructura.

Si uno o varios de los nudos de la estructura o de la cimentación tienen alguna restricción, puede tomarse esto en cuenta al resolver el sistema de ecuaciones que plantea el método.

De esa manera se obtienen, en un solo paso, los desplazamientos lineales y angulares de los nudos de la estructura y los elementos mecánicos en sus miembros, así como los desplazamientos verticales del subsuelo de apoyo y la distribución de reacciones, compatible con dichos desplazamientos.

Como se menciona líneas arriba, la matriz de rigidez de la estructura considera únicamente la participación de elementos "viga", lo que obliga a modelarla como una retícula. Para incorporar otro tipo de elementos estructurales como son los

elementos placa o “shells”, con lo que es posible modelar losas de cimentación y/o diafragmas, se requiere desarrollar algoritmos que, por el momento, están fuera del alcance de este trabajo.

Para facilitar la aplicación del método, se exponen dos programas de computadora elaborados con anterioridad y adaptados para este trabajo, los que ejecutan los cálculos repetitivos. El primero de ellos se utiliza para la formulación de la matriz de rigidez del suelo y el segundo, además de formular la matriz de rigidez de la estructura, incorpora la matriz de rigidez del suelo, calcula los desplazamientos de la estructura, los elementos mecánicos en los miembros estructurales y la distribución de reacciones del suelo.

3. MARCO TEÓRICO

El modelo del sistema suelo-cimentación-superestructura incorpora en una sola la matriz de rigidez de la estructura y de la cimentación con la matriz de rigidez del subsuelo, obtenida ésta última a partir de la ecuación matricial de asentamiento del suelo, la que se describe más adelante.

Primero se plantea el desarrollo de la matriz de rigidez de la superestructura y su cimentación, siguiendo una metodología especial, ya que es muy conveniente que los nudos de la cimentación y sus elementos correspondientes sean los primeros dentro de la matriz de rigidez. Con esto se evita la dispersión y, sobre todo, la posible confusión al momento de ensamblar la matriz del suelo con la de la estructura; además de que uno de los objetivos particulares de este trabajo fue la elaboración de un programa de cómputo que simplificara el cálculo.

3.1 Modelación del sistema estructural

Como se menciona en la introducción, la metodología que se propone para el análisis tridimensional está limitada, por el momento, al uso de estructuras reticulares, por lo que la cimentación tiene que modelarse como una retícula de trabes (Figura 3.1).

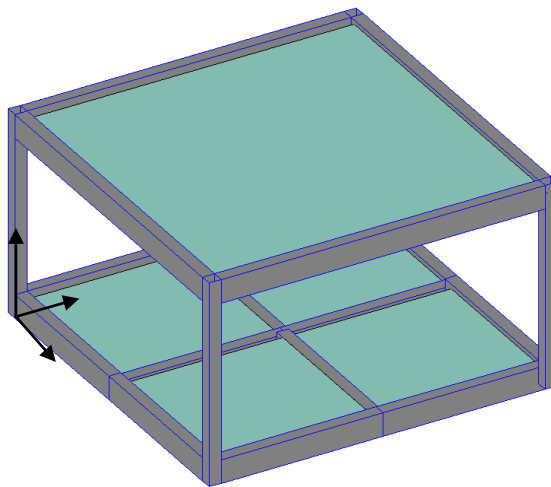


Figura 3.1. Modelación de la estructura y cimentación mediante barras y nudos

Es en los nudos de esta retícula (Figura 3.2), donde se van a calcular los desplazamientos verticales, equivalentes al asentamiento que sufre el suelo en esos puntos. Ese desplazamiento será igual a la razón entre la magnitud de la

reacción vertical R_i y la constante de resorte K_i que representa al suelo.

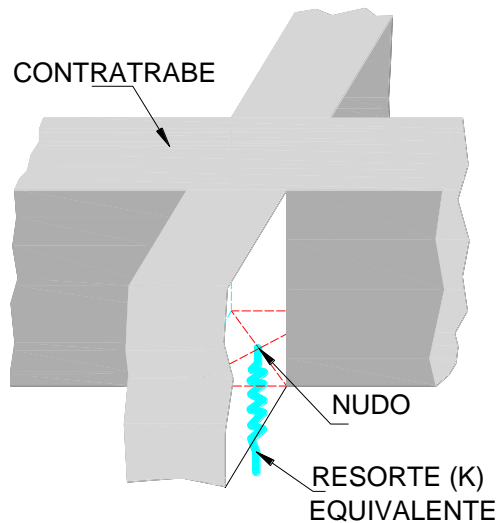


Fig. 3.2 Modelo físico para representar el suelo

Puesto que se trata de una estructura tridimensional, los nudos de la retícula tendrán, a saber, seis grados de libertad: giros alrededor de los ejes “X, Y y Z” y desplazamientos lineales también en las tres direcciones.

En este modelo, la resistencia al desplazamiento de los nudos, se deberá tanto a la rigidez de las barras de la estructura como a las constantes de los resortes que modelan el suelo. La resistencia al giro depende únicamente de la rigidez de las barras.

El equilibrio del modelo físico así planteado conduce a un sistema de $6 \cdot n$ ecuaciones (donde n = número de nudos), con el mismo número de incógnitas (los desplazamientos y giros de los nudos), el cual se representa con la siguiente expresión matricial:

$$([K'_e] + [K'_s])\{\delta'_i\} + \{F'_{it}\} = \{F'_{et}\} \quad [3.1]$$

donde:

$[K'_e]$ Matriz de rigidez del sistema estructura– cimentación

$[K'_s]$ Matriz de rigidez del sistema interdependiente de resortes del suelo

$\{\delta'_i\}$ Vector de desplazamientos lineales y angulares de los nudos.

$\{F'_{it}\}$ Vector de fuerzas internas o de empotramiento.

$\{F'_{et}\}$ Vector de fuerzas externas aplicadas en los nudos de la estructura.

La matriz de rigidez correspondiente a una barra sin resortes, definida por sus nudos "origen" y "destino" y con seis grados de libertad, es:

$$[K_{ei}] = \begin{bmatrix} [K_{aa}] & [K_{ab}] \\ [K_{ba}] & [K_{bb}] \end{bmatrix}_i \quad [3.2]$$

donde:

$$[K_{aa}] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} \end{bmatrix}$$

$$[K_{ab}] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} \end{bmatrix}$$

$$[K_{ba}] = [K_{ab}]$$

$$[K_{bb}] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} \end{bmatrix}$$

La matriz de rigidez anterior corresponde a un sistema local de ejes coordenados. Si el sistema general (global) de referencia no es paralelo al local de la barra, se realiza una transformación de ejes, mediante la expresión:

$$[K'_{ei}] = [T_{oi}]^T [K_{ei}] [T_{oi}] \quad [3.3]$$

donde:

[K_{ei}] Matriz de rigidez de una barra en el sistema global.

[T_{oi}] Matriz de transformación de ejes, esto es:

$$[T_{oi}] = \begin{bmatrix} [T] \vdots [0] \\ [0] \vdots [T] \end{bmatrix}_i; [T_{oi}]^T = \begin{bmatrix} [0] \vdots [T] \\ [T] \vdots [0] \end{bmatrix} \quad [3.4]$$

donde:

$$[T] = \begin{bmatrix} l_x & m_x & n_x & 0 & 0 & 0 \\ l_y & m_y & n_y & 0 & 0 & 0 \\ l_z & m_z & n_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & l_x & m_x & n_x \\ 0 & 0 & 0 & l_y & m_y & n_y \\ 0 & 0 & 0 & l_z & m_z & n_z \end{bmatrix}$$

“l, m y n”, son las componentes de los vectores unitarios que permiten obtener las proyecciones de las fuerzas o desplazamientos en las direcciones locales de las barras, sobre las direcciones globales (Figura 3.3).

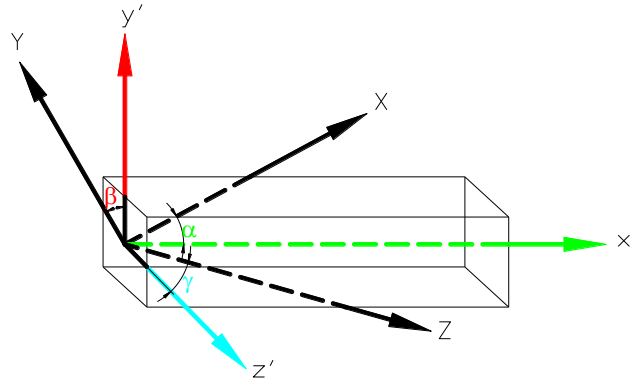


Fig. 3.3 Sistemas local (x,y z) y global (X,Y,Z) de coordenadas

Por su parte $[K'_s]$ representa la matriz de rigidez del suelo de apoyo, cuya determinación se ve más adelante.

Por otro lado, las fuerzas internas o de empotramiento se deben a fuerza axial, fuerza cortante, momento flexionante y momento torsionante producidos por su peso propio y por las cargas aplicadas sobre los elementos de la retícula. El vector de fuerzas de empotramiento se obtiene mediante el “ensamble” de los vectores de fuerzas de empotramiento correspondiente a cada una de las barras, proyectadas sobre el sistema global.

Para una barra con nudos “i” y “j”, en el sistema local, el vector correspondiente es:

$$\{F_{it}\} = \{F_{xi} \quad F_{yi} \quad F_{zi} \quad M_{xi} \quad M_{yi} \quad M_{zi} \quad F_{xj} \quad F_{yj} \quad F_{zj} \quad M_{xj} \quad M_{yj} \quad M_{zj}\}^T$$

En el sistema global:

$$\{F'_{it}\} = [T_o]^T \{F_{it}\} \quad [3.5]$$

Finalmente, el vector de fuerzas externas $\{F'_{et}\}$ se construye con las fuerzas y momentos puntuales aplicados directamente en los nudos de la retícula, en las direcciones de los grados de libertad.

Al sistema [3.1] se le da el nombre de “Ecuación Matricial de Interacción” (EMI).

3.2 Modelación del subsuelo

El suelo se modela como un medio continuo representado por una serie de resortes elásticos de rigidez K_i , interrelacionados entre sí, mientras que la cimentación se discretiza mediante un número finito “nd” de dovelas o placas de área a_i , (figura 3.4)

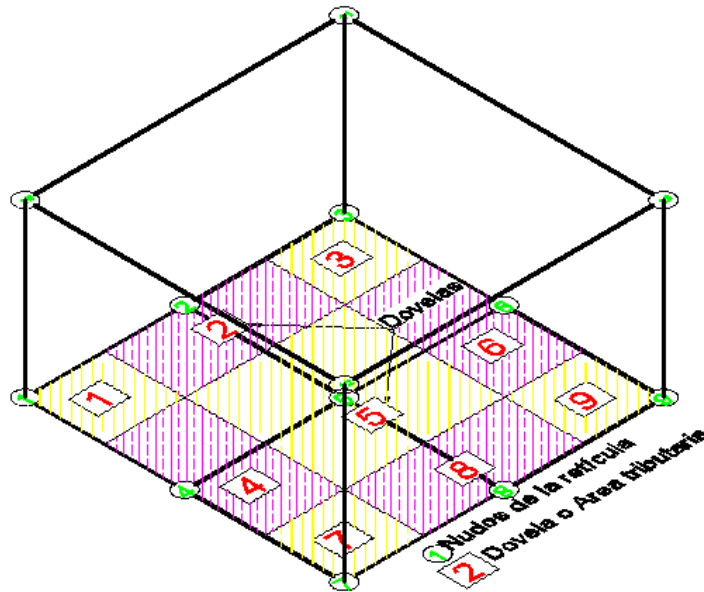


Fig 3.4 Distribución de dovelas en la cimentación

El cálculo de los módulos de reacción del subsuelo o constantes de resorte equivalentes se puede realizar, con una buena aproximación, aplicando la ecuación [3.6] denominada “Ecuación Matricial de Asentamiento” (EMA) (Zeevaert 1980 y 1983):

$$\{ \delta_i \} = \left[\bar{\delta}_{ji} \right] \cdot \{ q_i \} \quad [3.6]$$

en donde:

$\{\delta_i\}$: Vector de desplazamientos, de orden (nd*1).

$[\bar{\delta}_{ji}]$: Matriz de desplazamientos por carga unitaria, de orden (nd*nd).

$\{q_i\}$: Vector de cargas, correspondiente a la presión de contacto en el área tributaria a_i , de orden (nd).

Cada una de las columnas de la matriz $[\bar{\delta}_{ji}]$ en la ecuación [3.6] se puede calcular como:

$$\{\bar{\delta}_{ji}\} = [I_{ji}]^T \cdot \{\alpha_N\} \quad [3.7]$$

donde:

$[I_{ji}]$: Matriz de influencias por carga unitaria aplicada en el área a_i , de orden (ne*nd); **ne** es el número de estratos compresibles.

$\{\alpha_N\} = \{M_{zN} \cdot d_N\}$: Vector de compresibilidades para los diferentes estratos de suelo involucrados en el análisis, con módulo de deformación M_z y espesor d (Figura 3.5).

ESTRATO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Mz	d
1	I_{11}^1	I_{21}^1	I_{31}^1	I_{41}^1	I_{51}^1	I_{61}^1	I_{71}^1	I_{81}^1	I_{91}^1	Mz_1	d_1
2	I_{11}^2	I_{21}^2	I_{31}^2	I_{41}^2	I_{51}^2	I_{61}^2	I_{71}^2	I_{81}^2	I_{91}^2	Mz_2	d_2

Fig 3.5 Esquema para aplicación de la ecuación [3.7]

En la figura anterior se muestran 9 dovelas y dos estratos, por lo que para formar la matriz $[\bar{\delta}_{ji}]$ se requiere aplicar la ecuación [3.7] nueve veces, moviendo la

carga unitaria sobre cada una de las dovelas de la cimentación.

Sustituyendo la presión de contacto $\{q_{ij}\}$ por su equivalente, la ecuación [3.6] puede escribirse como:

$$\{\delta_i\} = [\bar{\delta}_{ji}] \cdot \left\{ \begin{matrix} R_i \\ a_i \end{matrix} \right\} \quad [3.8]$$

o bien:

$$\{\delta_i\} = [F_{ji}] \cdot \{R_i\} \quad [3.9]$$

donde:

$\{R_i\}$: Vector de reacciones en las placas

$[F_{ji}] = [\bar{\delta}_{ji}] \left[\frac{1}{a_i} \right]$: Matriz de flexibilidades del suelo y a_i el área de la placa

Despejando el vector $\{R_i\}$ de la ecuación [3.9], resulta:

$$\{R_i\} = [F_{ji}]^{-1} \cdot \{\delta_i\} \quad [3.10]$$

pero:

$[F_{ji}]^{-1} = [K'_s]$, es decir, la inversa de la matriz de flexibilidades del suelo es igual a la matriz de rigidez de los resortes que representan la deformabilidad del suelo.

Si los resortes en las diferentes placas se ubican en la posición de los nudos correspondientes al modelo de análisis estructural, la matriz $[K'_s]$ se puede “ensamblar” con la matriz $[K'_e]$ de la ecuación [3.1], de donde resulta:

$$[K_{es}] = [K'_e] + [K'_s] \quad [3.11]$$

Finalmente, aplicando la ecuación [3.1], se forma el sistema de ecuaciones que permite calcular los desplazamientos lineales y angulares de los nudos de la estructura.

Si se tienen restricciones en algún grado de libertad, en uno o varios nudos de la estructura se pueden, en este momento, hacer los ajustes correspondientes, lo que representa eliminar los renglones y columnas que involucran dichas restricciones.

Los desplazamientos obtenidos, producto de la solución del sistema de ecuaciones, permiten calcular los elementos mecánicos en los extremos de las barras de la estructura; es necesario sin embargo, transformar previamente los desplazamientos al sistema local de ejes de cada miembro; las ecuaciones para hacerlo son las siguientes:

$$\{\delta_i\} = [T_{oi}]\{\delta'_i\} \quad [3.12]$$

$$\{F_i\} = [K_{ei}]\{\delta_i\} + \{F_{it}\} \quad [3.13]$$

Las reacciones verticales en los nudos de la cimentación se obtienen al aplicar la ecuación siguiente:

$$\{R_i\} = [K_s]\{\delta_{vi}\} \quad [3.14]$$

En este caso $\{\delta_{vi}\}$ representa los desplazamientos verticales de los nudos de la cimentación.

Finalmente, las reacciones distribuidas bajo cada una de las dovelas en que se dividió la cimentación estarán dadas por:

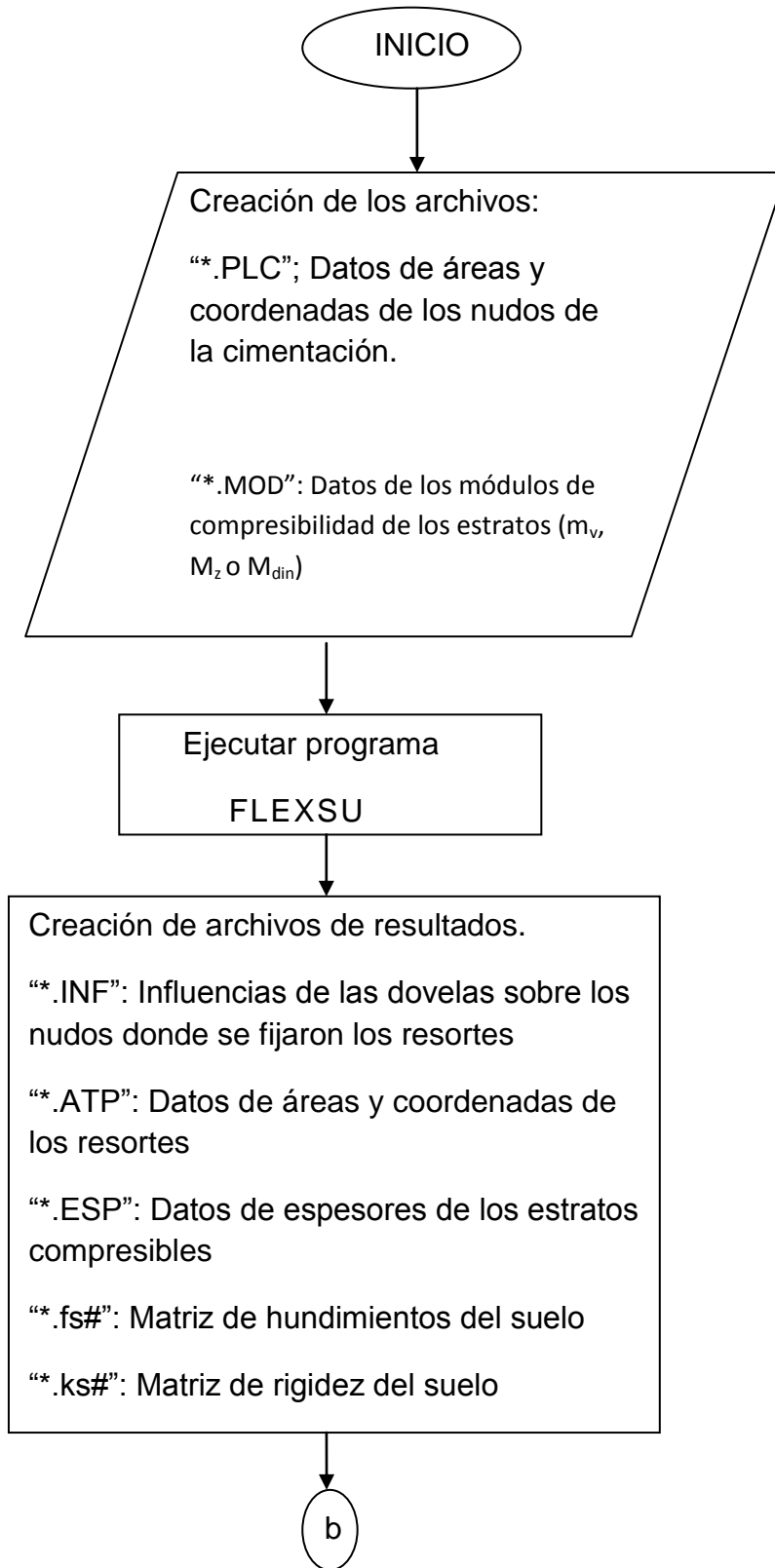
$$\{q_i\} = \left\{ \begin{array}{c} R_i \\ a_i \end{array} \right\} \quad [3.15]$$

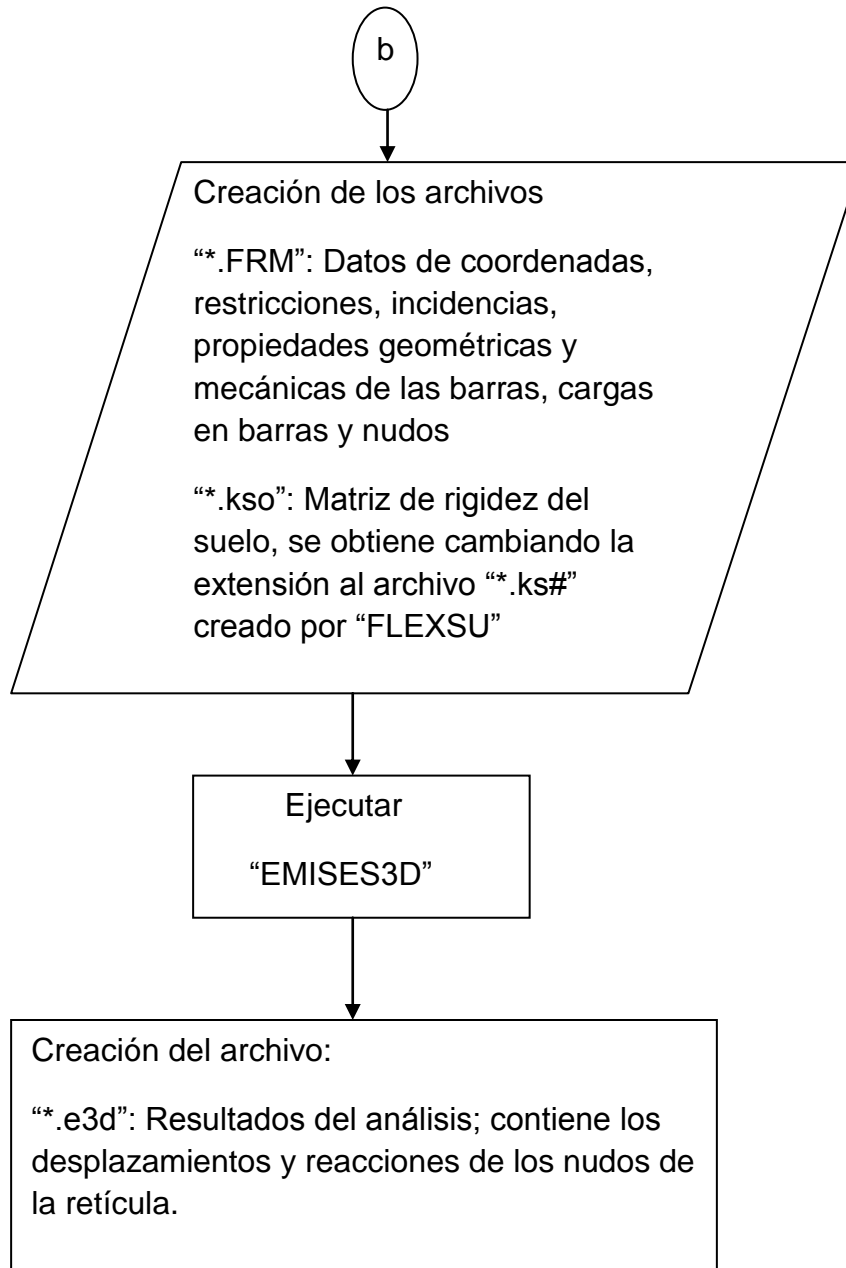
Es conveniente señalar que, la compresibilidad del suelo de apoyo de la cimentación depende de varios factores:

- a) Del tipo de suelo. El módulo de deformación M_z será diferente si se trata de un suelo granular o de un suelo cohesivo. En el primer caso las deformaciones que sufra el suelo ocurrirán prácticamente de manera inmediata, mientras que para un suelo cohesivo las deformaciones podrán ser, además, función del tiempo; como es el caso de los suelos cohesivos saturados.

- b) Del nivel de esfuerzos. Es bien sabido que el módulo de deformación depende del nivel de esfuerzos y que la variación no es lineal. Por lo tanto es necesario que, una vez obtenida la distribución de reacciones, se verifique si los parámetros de compresibilidad cambiaron con respecto a los inicialmente considerados. Si este cambio es importante, se requiere repetir el análisis con los nuevos valores de los parámetros. Más aún, si la compresibilidad del suelo cambia con respecto al tiempo, será necesario realizar el análisis de interacción para diferentes tiempos después de construida la obra; por ejemplo recién terminada la construcción, a mediano y a largo plazo.

En el diagrama de flujo siguiente se muestra la secuencia de cálculo de un análisis de interacción suelo-estructura.





4. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Para validar el método de cálculo que se expone en el capítulo anterior, se presentan algunos ejemplos resueltos por varios procedimientos, incluyendo el método de flexibilidades de Zeevaert (1980) conocido como “EMISES”, para cimentaciones modeladas como vigas.

Aunque es posible analizar un pilote sujeto a carga lateral por efecto de sismo, mediante algunos ajustes, por el momento el programa de computadora “EMISES3D” que se incluye en el Apéndice B, no contempla la inclusión de los desplazamientos del suelo producto de la oscilación de la masa de suelo durante un sismo, ni la restricción al giro que puede darse en la base de pilas rectas o con campana, cuya restricción al giro puede ser importante.

En el caso del ejemplo que contempla una estructura reticular tridimensional, la validación se hace utilizando el programa SAP2000, haciendo las iteraciones necesarias hasta alcanzar la convergencia en el cálculo de las reacciones del suelo.

A continuación se presenta cada uno de los ejemplos estudiados.

4.1 Cajón de cimentación (gran viga)

El caso que se presenta corresponde con el ejemplo 1.8.1 del libro de interacción suelo-estructura de Zeevaert (ref. 21); es un cajón de cimentación de 12x24m, pero modelado como una gran viga de 24m de longitud. En este caso se tomó en consideración una rigidez nominal de la viga $EI = 6 \times 10^5 \text{ t/m}^2$

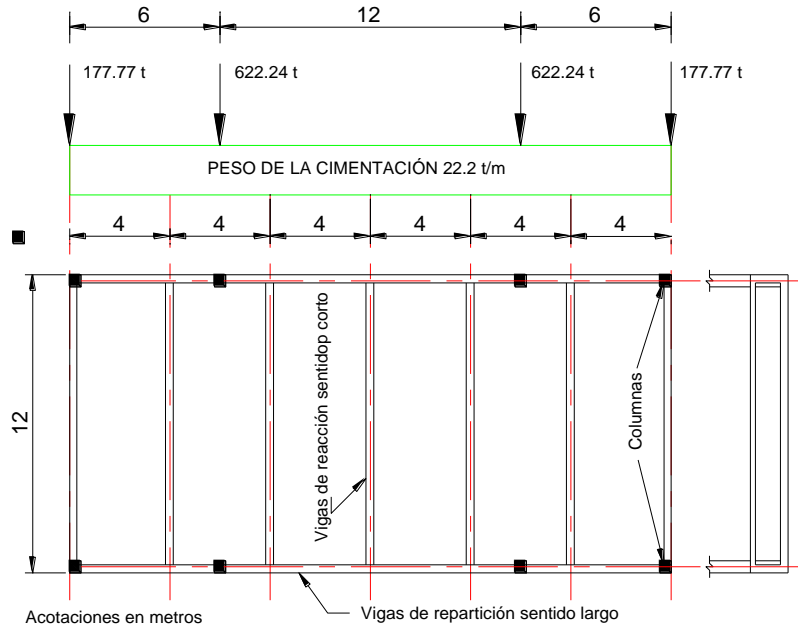
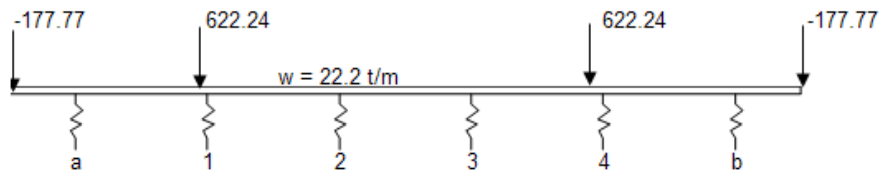


Figura 4.1 Cajón de cimentación

Las características del subsuelo donde se desplanta el cajón son las siguientes:

Tabla 4.1 Compresibilidad del suelo			
ESTRATO	M_z	d	α
#	cm^2/Kg	cm	cm^3/Kg
A	0.0383	300	11.5
B	0.0213	400	8.5
C	0.0194	800	15.5
D	0.0150	500	7.5
E	0.0075	600	4.5

El modelo equivalente como gran viga es como sigue:



La distribución de reacciones, calculadas mediante EMISES (Zeevaert 1980)

arroja los siguientes resultados:

REACC.	T	q (t/m ²)
Ra	449.820	9.371
R1	325.342	6.778
R2	291.248	6.068
R3	291.248	6.068
R4	325.342	6.778
Rb	449.820	9.371
SUMA	2132.820	

En el Apéndice D se muestra la hoja de cálculo utilizada para obtener las reacciones bajo cada una de las dovelas.

Los resultados anteriores no difieren en más del 0.25% de los obtenidos utilizando el procedimiento expuesto en el capítulo anterior, como puede verse en la tabla siguiente:

Cálculo con EMISES3D diferencia		
REACC.	T	%
Ra	450.490	-0.15%
R1	326.010	-0.21%
R2	291.900	-0.22%
R3	291.900	-0.22%
R4	326.010	-0.21%
Rb	450.490	-0.15%
SUMA	2136.800	-0.19%

4.2 Estructura reticular tridimensional

El ejemplo que aquí se muestra fue tomado de la referencia 2 (Demeneghi 1992). La estructura reticular tiene la siguiente geometría:

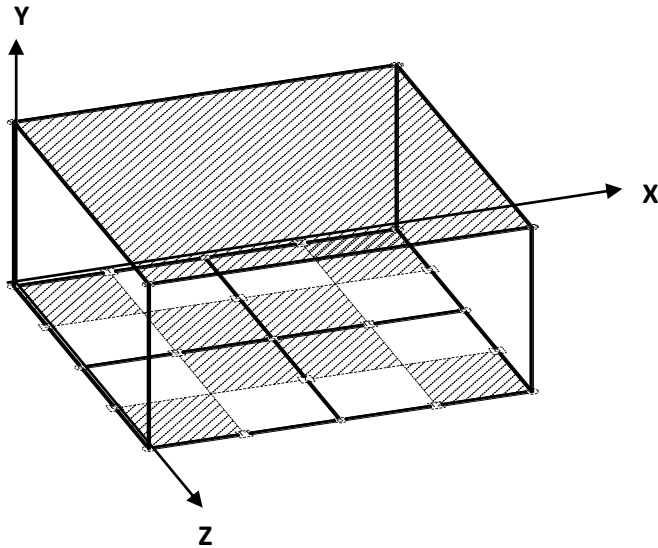


Figura 4.2 Estructura original

Para resolver el problema la estructura se modela como una retícula apoyada en resortes bajo los nudos de la retícula, representando al suelo de apoyo.

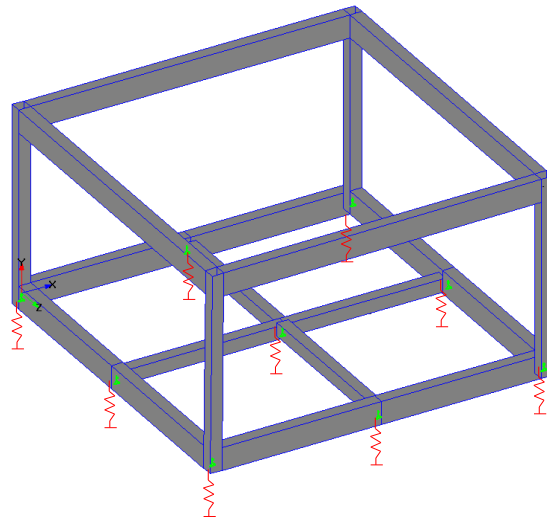


Figura 4.3 Estructura reticular equivalente

La distribución de carga sobre los elementos de la estructura y la cimentación así como las propiedades geométricas y mecánicas de los elementos estructurales, de acuerdo con la referencia 3, son:

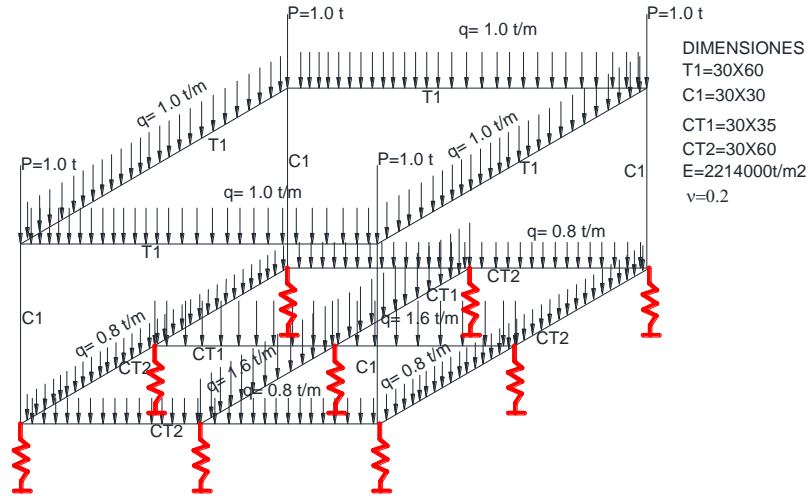


Figura 4.4 Distribución de cargas sobre la retícula

La numeración de nudos y barras, conforme al manual de uso del programa EMISES3D, se muestra en la figura siguiente; donde los nudos correspondientes a la posición de los resortes que representan al subsuelo, son los primeros para evitar confusiones en la conformación de la matriz de rigidez.

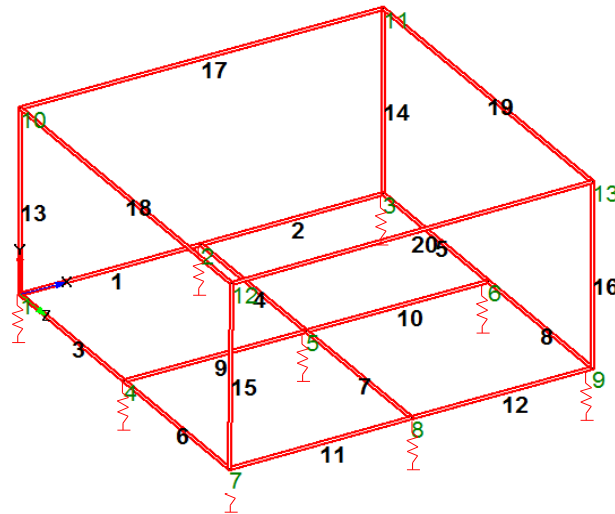


Figura 4.5 Numeración de nudos y barras de la estructura reticular

La estratigrafía y propiedades del suelo donde se apoya la estructura son:

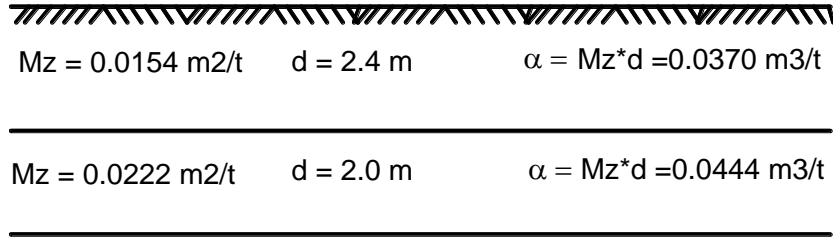


Figura 4.6 Estratigrafía y propiedades del subsuelo

Para generar la matriz de rigidez del suelo se dividió la cimentación en 9 dovelas y se calculó el asentamiento en los nudos 1 a 9 de la estructura utilizando la distribución de esfuerzos para $\chi=3$, Damy-Casales (1985).

La matriz de asentamiento $[\delta_{ij}]$, bajo estos nudos, por carga unitaria aplicada en cada una de las 9 dovelas, resulta:

Tabla 4.2 Matriz $[\delta_{ij}]$ del suelo bajo los nudos de la cimentación

	δ_1	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5	δ_6	δ_7	δ_8	δ_9
δ_1	3.5199E+02	-2.8639E+01	1.6302E+00	-2.8639E+01	-4.0600E+00	1.2510E-01	1.6302E+00	1.2510E-01	-1.2388E-01
δ_2	-4.7686E+01	3.5609E+02	-4.7694E+01	-5.2592E+00	-2.7363E+01	-5.2555E+00	4.9288E-01	1.7872E+00	4.9430E-01
δ_3	1.6302E+00	-2.8644E+01	3.5206E+02	1.2511E-01	-4.0585E+00	-2.8674E+01	-1.2397E-01	1.2639E-01	1.6263E+00
δ_4	-4.7686E+01	-5.2592E+00	4.9287E-01	3.5609E+02	-2.7363E+01	1.7872E+00	-4.7694E+01	-5.2555E+00	4.9431E-01
δ_5	-7.0113E+00	-4.5911E+01	-7.0007E+00	-4.5911E+01	3.6011E+02	-4.5915E+01	-7.0007E+00	-4.5915E+01	-7.0039E+00
δ_6	4.9286E-01	-5.2518E+00	-4.7789E+01	1.7873E+00	-2.7365E+01	3.5614E+02	4.9471E-01	-5.2587E+00	-4.7713E+01
δ_7	1.6302E+00	1.2512E-01	-1.2397E-01	-2.8644E+01	-4.0585E+00	1.2639E-01	3.5206E+02	-2.8674E+01	1.6263E+00
δ_8	4.9286E-01	1.7873E+00	4.9471E-01	-5.2518E+00	-2.7365E+01	-5.2587E+00	-4.7789E+01	3.5614E+02	-4.7713E+01
δ_9	-1.2375E-01	1.2466E-01	1.6378E+00	1.2466E-01	-4.0598E+00	-2.8642E+01	1.6378E+00	-2.8642E+01	3.5199E+02

La matriz de flexibilidades del suelo bajo los nudos de la cimentación, calculada como se indica en la ecuación [3.9], resulta:

Tabla 4.3 Matriz de flexibilidades del suelo bajo los nudos de la cimentación

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2.90989E-03	2.49127E-04	2.31616E-05	2.49127E-04	7.32703E-05	1.33194E-05	2.31616E-05	1.33194E-05	5.17971E-06
2	4.11999E-04	2.90975E-03	4.11999E-04	1.09207E-04	2.49119E-04	1.09207E-04	1.68240E-05	2.31568E-05	1.68241E-05
3	2.31616E-05	2.49127E-04	2.90989E-03	1.33194E-05	7.32703E-05	2.49127E-04	5.17982E-06	1.33194E-05	2.31612E-05
4	4.11999E-04	1.09207E-04	1.68240E-05	2.90975E-03	2.49119E-04	2.31569E-05	4.11999E-04	1.09207E-04	1.68242E-05
5	1.66944E-04	4.11977E-04	1.66944E-04	4.11977E-04	2.90971E-03	4.11977E-04	1.66944E-04	4.11977E-04	1.66944E-04
6	1.68238E-05	1.09207E-04	4.11999E-04	2.31568E-05	2.49119E-04	2.90975E-03	1.68241E-05	1.09207E-04	4.11999E-04
7	2.31616E-05	1.33193E-05	5.17984E-06	2.49127E-04	7.32703E-05	1.33194E-05	2.90989E-03	2.49127E-04	2.31612E-05
8	1.68238E-05	2.31568E-05	1.68241E-05	1.09207E-04	2.49119E-04	1.09207E-04	4.11999E-04	2.90975E-03	4.11999E-04
9	5.17964E-06	1.33194E-05	2.31613E-05	1.33194E-05	7.32703E-05	2.49127E-04	2.31613E-05	2.49127E-04	2.90989E-03

Al invertir la matriz anterior se obtiene la matriz de rigidez del suelo [K'_s]

Para acoplar la matriz de rigidez del suelo a la de la estructura es necesario indicar cuál es el grado de libertad que le corresponde ya que a cada nudo de la estructura le corresponden 6 grados de libertad, tres desplazamientos y tres giros. En este caso la matriz de rigidez del suelo está asociada con los desplazamientos verticales únicamente, por lo que solo el desplazamiento en “Y” está considerado.

Para el ejemplo que se está analizando, el número de nudos de la estructura es de 13, por lo que, al tomar en cuenta los seis grados de libertad por nudo, se forma un sistema de ecuaciones de 78x78. El número de ecuaciones se puede reducir al poner restricciones al giro o al desplazamiento en uno o varios nudos; sin embargo en este caso, como no hay cargas laterales, no es necesario poner restricciones.

Al ser los primeros 9 nudos de la estructura los que se están apoyando en los resortes, los grados de libertad que les corresponden y, en consecuencia, su posición dentro del sistema de ecuaciones es la que se indica en la tabla siguiente:

Tabla 4.4 Grados de libertad y posición en el sistema de ecuaciones

NUDO	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
1	1	2	3	4	5	6
2	7	8	9	10	11	12
3	13	14	15	16	17	18
4	19	20	21	22	23	24
5	25	26	27	28	29	30
6	31	32	33	34	35	36
7	37	38	39	40	41	42
8	43	44	45	46	47	48
9	49	50	51	52	53	54

La matriz de rigidez del suelo, obtenida invirtiendo la de flexibilidades, se muestra en la tabla siguiente, donde también se anota su posición dentro del sistema de ecuaciones.

Tabla 4.5 Matriz de rigidez del suelo bajo los nudos de la cimentación

	2= δ_{y1}	8= δ_{y2}	14= δ_{y3}	20= δ_{y4}	26= δ_{y5}	32= δ_{y6}	38= δ_{y7}	44= δ_{y8}	50= δ_{y9}
2= δ_{y1}	3.5197E+02	-2.8638E+01	1.6313E+00	-2.8638E+01	-4.0598E+00	1.2516E-01	1.6313E+00	1.2515E-01	-1.2386E-01
8= δ_{y2}	-4.7708E+01	3.5609E+02	-4.7708E+01	-5.2571E+00	-2.7362E+01	-5.2571E+00	4.9346E-01	1.7871E+00	4.9342E-01
14= δ_{y3}	1.6313E+00	-2.8638E+01	3.5197E+02	1.2516E-01	-4.0598E+00	-2.8638E+01	-1.2388E-01	1.2515E-01	1.6313E+00
20= δ_{y4}	-4.7708E+01	-5.2571E+00	4.9346E-01	3.5609E+02	-2.7362E+01	1.7871E+00	-4.7708E+01	-5.2571E+00	4.9342E-01
26= δ_{y5}	-7.0043E+00	-4.5910E+01	-7.0043E+00	-4.5910E+01	3.6011E+02	-4.5910E+01	-7.0043E+00	-4.5910E+01	-7.0043E+00
32= δ_{y6}	4.9347E-01	-5.2571E+00	-4.7708E+01	1.7871E+00	-2.7362E+01	3.5609E+02	4.9343E-01	-5.2571E+00	-4.7708E+01
38= δ_{y7}	1.6313E+00	1.2516E-01	-1.2388E-01	-2.8638E+01	-4.0598E+00	1.2515E-01	3.5197E+02	-2.8638E+01	1.6313E+00
44= δ_{y8}	4.9347E-01	1.7871E+00	4.9343E-01	-5.2571E+00	-2.7362E+01	-5.2571E+00	-4.7708E+01	3.5609E+02	-4.7708E+01
50= δ_{y9}	-1.2386E-01	1.2516E-01	1.6313E+00	1.2516E-01	-4.0598E+00	-2.8638E+01	1.6313E+00	-2.8638E+01	3.5197E+02

En la tabla 4.5 se indica el grado de libertad correspondiente a los desplazamientos verticales de los nudos de la cimentación según se indica en la tabla 4.4 con números en negritas.

Por otra parte, la matriz de rigidez de la estructura se forma acoplado, de acuerdo con su grado de libertad correspondiente, las matrices de rigidez individuales de cada uno de los elementos de la estructura. Estas matrices se formulan aplicando la ecuación [3.2].

Como ejemplo se presenta la matriz de rigidez del elemento 3, que resulta:

Tabla 4.6 Matriz de rigidez del elemento 3 en sistema local

Barra 3	δ_{x1}	δ_{y1}	δ_{z1}	θ_{x1}	θ_{y1}	θ_{z1}	δ_{x4}	δ_{y4}	δ_{z4}	θ_{x4}	θ_{y4}	θ_{z4}
δ_{x1}	92679.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-92679.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
δ_{y1}	0.0	1804.5	0.0	0.0	0.0	3879.6	0.0	-1804.5	0.0	0.0	0.0	3879.6
δ_{z1}	0.0	0.0	451.1	0.0	-969.9	0.0	0.0	0.0	-451.1	0.0	-969.9	0.0
θ_{x1}	0.0	0.0	0.0	795.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-795.5	0.0	0.0
θ_{y1}	0.0	0.0	-969.9	0.0	2780.4	0.0	0.0	0.0	969.9	0.0	1390.2	0.0
θ_{z1}	0.0	3879.6	0.0	0.0	0.0	11121.5	0.0	-3879.6	0.0	0.0	0.0	5560.7
δ_{x4}	-92679.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92679.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
δ_{y4}	0.0	-1804.5	0.0	0.0	0.0	-3879.6	0.0	1804.5	0.0	0.0	0.0	-3879.6
δ_{z4}	0.0	0.0	-451.1	0.0	969.9	0.0	0.0	0.0	451.1	0.0	969.9	0.0
θ_{x4}	0.0	0.0	0.0	-795.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	795.5	0.0	0.0
θ_{y4}	0.0	0.0	-969.9	0.0	1390.2	0.0	0.0	0.0	969.9	0.0	2780.4	0.0
θ_{z4}	0.0	3879.6	0.0	0.0	0.0	5560.7	0.0	-3879.6	0.0	0.0	0.0	11121.5

En la tabla 4.6 se indican los grados de libertad correspondientes según los ejes locales del elemento que, como se puede ver en la fig. 4.5, no coinciden con los ejes de referencia globales; por lo que es necesario transformar la matriz al sistema global de ejes. Lo anterior puede hacerse aplicando la ecuación de transformación [2.4].

Los cosenos directores del elemento 3 con respecto al sistema global de referencia quedan representados por la siguiente matriz:

$$[T_3] = \begin{bmatrix} 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ -1.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & -1.00 & 0.00 & 0.00 \end{bmatrix}$$

Al aplicar la ecuación [2.4], la matriz de rigidez resulta:

Tabla 4.7 Matriz de rigidez del elemento 3 en sistema global

Barra 3	δ_{x1}	δ_{y1}	δ_{z1}	θ_{x1}	θ_{y1}	θ_{z1}	δ_{x4}	δ_{y4}	δ_{z4}	θ_{x4}	θ_{y4}	θ_{z4}
δ_{x1}	451.115	0.000	-0.002	0.000	969.897	0.000	-451.115	0.000	0.002	0.000	969.897	0.000
δ_{y1}	0.000	1804.460	-0.002	-3879.589	0.000	0.000	0.000	-1804.460	0.002	-3879.589	0.000	0.000
δ_{z1}	-0.002	-0.002	92679.070	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	-92679.070	0.000	0.000	0.000
θ_{x1}	0.000	-3879.589	0.000	11121.488	0.000	0.000	0.000	3879.589	0.000	5560.744	0.000	0.000
θ_{y1}	969.897	0.000	0.000	0.000	2780.372	0.000	-969.897	0.000	0.000	0.000	1390.186	0.000
θ_{z1}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	795.465	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-795.465
δ_{x4}	-451.115	0.000	0.002	0.000	-969.897	0.000	451.115	0.000	-0.002	0.000	-969.897	0.000
δ_{y4}	0.000	-1804.460	0.002	3879.589	0.000	0.000	0.000	1804.460	-0.002	3879.589	0.000	0.000
δ_{z4}	0.002	0.002	-92679.070	0.000	0.000	0.000	-0.002	-0.002	92679.070	0.000	0.000	0.000
θ_{x4}	0.000	-3879.589	0.000	5560.744	0.000	0.000	0.000	3879.589	0.000	11121.488	0.000	0.000
θ_{y4}	969.897	0.000	0.000	0.000	1390.186	0.000	-969.897	0.000	0.000	0.000	2780.372	0.000
θ_{z4}	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-795.465	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	795.465

Siguiendo el procedimiento anterior para cada una de las barras de la estructura y, acoplándolas de acuerdo con el grado de libertad correspondiente, se formó la matriz de rigidez de toda la estructura. En la tabla siguiente se muestra una parte de esta matriz para los primeros grados de libertad, ya que la matriz completa resulta de 78x78.

Tabla 4.8 Matriz de rigidez global de la estructura para los primeros 12 grados de libertad.

	1= δ_{x1}	2= δ_{y1}	3= δ_{z1}	4= θ_{x1}	5= θ_{y1}	6= θ_{z1}	7= δ_{x2}	8= δ_{y2}	9= δ_{z2}	10= θ_{x2}	11= θ_{y2}	12= θ_{z2}
1= δ_{x1}	93314.427	-0.003	-0.004	0.000	969.897	-423.757	-92679.07	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000
2= δ_{y1}	-0.003	46926.311	-0.003	-3879.589	0.000	3879.589	0.002	-1804.460	0.000	0.000	0.000	3879.589
3= δ_{z1}	-0.004	-0.003	93314.427	423.757	-969.897	0.000	0.002	0.000	-451.115	0.000	-969.897	0.000
4= θ_{x1}	0.000	-3879.589	423.757	13216.475	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-795.465	0.000	0.000
5= θ_{y1}	969.897	0.000	-969.897	0.000	5789.514	0.000	0.000	0.000	969.897	0.000	1390.186	0.000
6= θ_{z1}	-423.757	3879.589	0.000	0.000	0.000	13216.475	0.000	-3879.589	0.000	0.000	0.000	5560.744
7= δ_{x2}	-92679.07	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	185621.29	-0.004	-0.006	0.000	565.773	0.000
8= δ_{y2}	0.002	-1804.460	0.000	0.000	0.000	-3879.589	-0.004	3967.097	-0.001	-770.080	0.000	0.000
9= δ_{z2}	0.002	0.000	-451.115	0.000	969.897	0.000	-0.006	-0.001	54965.021	0.000	0.000	0.000
10= θ_{x2}	0.000	0.000	0.000	-795.465	0.000	0.000	0.000	-770.080	0.000	3798.494	0.000	-0.001
11= θ_{y2}	0.000	0.000	-969.897	0.000	1390.186	0.000	565.773	0.000	0.000	0.000	7182.628	-0.001
12= θ_{z2}	0.000	3879.589	0.000	0.000	0.000	5560.744	0.000	0.000	0.000	-0.001	-0.001	22570.253

Para poder acoplar la matriz de rigidez de la estructura con la del suelo es

necesario recordar que ésta última toma únicamente en cuenta los desplazamientos verticales de los primeros 9 nudos de la estructura. Así, el elemento (2,2) de la matriz de rigidez que acopla la estructura y el suelo, se forma con la suma del elemento (1,1), de la matriz de rigidez del suelo, con el elemento (2,2) de la matriz de rigidez de la estructura; para el ejemplo es la suma de (351.971+46926.311)=47278.282. El elemento (2,8) se forma con la suma del elemento (1,2), de la matriz de rigidez del suelo, con el elemento (2,8) de la matriz de rigidez de la estructura; esto es, (-28.638-1804.460)=-1833.098 y así sucesivamente.

Finalmente, la matriz de rigidez que toma en cuenta tanto la estructura como el suelo, resulta:

Tabla 4.9 Matriz de rigidez suelo-estructura para los primeros 12 grados de libertad

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	93314.43	0	0	0	969.8972	-423.7571	-92679.07	0	0	0	0	0
2	0	47278.2809	0	-3879.589	0	3879.589	0	-1833.09766	0	0	0	3879.589
3	0	0	93314.43	423.7571	-969.8972	0	0	0	-451.115	0	-969.8972	0
4	0	-3879.589	423.7571	13216.5	0	0	0	0	0	-795.4953	0	0
5	969.8972	0	-969.8972	0	5789.564	0	0	0	969.8972	0	1390.186	0
6	-423.7571	3879.589	0	0	0	13216.5	0	-3879.589	0	0	0	5560.744
7	-92679.07	0	0	0	0	0	0	185621.5	0	0	566.1326	0
8	0	-1852.16831	0	0	0	-3879.589	0	4323.22894	0	-770.1702	0	0
9	0	0	-451.115	0	969.8972	0	0	0	54965.02	0	0	0
10	0	0	0	-795.4953	0	0	0	-770.1702	0	3798.812	0	0
11	0	0	-969.8972	0	1390.186	0	566.1326	0	0	0	7183.658	0
12	0	3879.589	0	0	0	5560.744	0	0	0	0	0	22570.36

El vector de fuerzas internas o de empotramiento se calcula mediante las ecuaciones conocidas de la estática. Para carga uniforme ω sobre la barra, la fuerza cortante y el momento de empotramiento se calculan con las ecuaciones siguientes:

$$V_y = \frac{\omega \cdot l}{2} \quad \text{y} \quad M_z = \frac{\omega \cdot l^2}{12}$$

Para otras condiciones de carga sobre barras puede consultarse el apéndice C de la referencia 5.

Siguiendo con el ejemplo, el vector de fuerzas de empotramiento para el elemento 3, en el sistema de ejes local es:

$\{F'_{i3}\} =$	0.0000	1.7200	0.0000	0.0000	0.0000	1.2327	0.0000	1.7200	0.0000	0.0000	0.0000	-1.2327
-----------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	---------

el que transformado al sistema de referencia global, aplicando la ecuación [3.5] e indicando su posición dentro del sistema de ecuaciones, resulta:

	1	2	3	4	5	6	19	20	21	22	23	24
$\{F'_{i3}\} =$	0.0000	1.7200	0.0000	-1.2327	0.0000	0.0000	0.0000	1.7200	0.0000	1.2327	0.0000	0.0000

siguiendo el mismo procedimiento para todas las barras, el vector de fuerzas de empotramiento de la estructura se forma sumando los vectores individuales de cada una. El vector de fuerzas en los nudos de la estructura se forma directamente con las fuerzas y momentos externos aplicados en los nudos; para el ejemplo que se está analizando solamente los nudos 10, 11, 12 y 13 tienen una fuerza F_y negativa de 1.0 t; por lo que este vector solamente tiene cuatro valores diferentes de cero y su posición dentro del sistema de ecuaciones es como sigue:

	56	62	68	74
$\{F'_{et}\} =$	-1.0000	-1.0000	-1.0000	-1.0000

Finalmente puede formarse el sistema de ecuaciones [3.1], cuyas incógnitas son los desplazamientos lineales y angulares de los nudos de la estructura.

La solución al sistema de ecuaciones arroja los siguientes resultados:

Para los desplazamientos:

Tabla 4.10 Desplazamientos de los nudos

nudo	δx	δy	δz	θx	θy	θz
#	m	m	m	rad	rad	rad
1	-0.0002	-0.0409	0.0001	0.0002	0.0000	-0.0002
2	-0.0002	-0.0412	0.0000	0.0025	0.0000	0.0000
3	-0.0002	-0.0410	-0.0001	0.0002	0.0000	0.0002
4	-0.0001	-0.0412	0.0001	0.0000	0.0000	-0.0025
5	-0.0001	-0.0497	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	-0.0001	-0.0412	0.0000	0.0000	0.0000	0.0025
7	0.0000	-0.0409	0.0001	-0.0002	0.0000	-0.0002
8	0.0000	-0.0412	0.0000	-0.0025	0.0000	0.0000
9	0.0000	-0.0410	0.0000	-0.0002	0.0000	0.0002
10	-0.0002	-0.0412	0.0001	0.0015	0.0000	-0.0015
11	-0.0002	-0.0412	0.0000	0.0015	0.0000	0.0015
12	0.0000	-0.0412	0.0001	-0.0015	0.0000	-0.0015
13	0.0000	-0.0412	-0.0001	-0.0015	0.0000	0.0015

Para las reacciones:

Tabla 4.11 Reacciones en los nudos de la cimentación

Nudo	R	q	δ	K
#	t	t/m ²	m	t/m
1	11.9945	2.5948	0.0410	292.8829
2	9.0670	0.9807	0.0412	220.3376
3	11.9945	2.5948	0.0410	292.8829
4	9.0670	0.9807	0.0412	220.3376
5	9.1941	0.4972	0.0497	184.9796
6	9.0670	0.9807	0.0412	220.3376
7	11.9945	2.5948	0.0410	292.8829
8	9.0670	0.9807	0.0412	220.3376
9	11.9945	2.5948	0.0410	292.8829

Utilizando el programa de cómputo comercial SAP2000, se analizó la estructura del ejemplo, ejecutándose 8 iteraciones, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 4.12 Resultados 8ª Iteración

nudo	fx	fy	fz	mx	my	mz
#	t	t	t	t-m	t-m	t-m
1	0	11.9936	0	0	0	0
2	0	9.0713	0	0	0	0
3	0	11.9954	0	0	0	0
4	0	9.0712	0	0	0	0
5	0	9.1788	0	0	0	0
6	0	9.0693	0	0	0	0
7	0	11.9953	0	0	0	0
8	0	9.0692	0	0	0	0
9	0	11.9958	0	0	0	0

Como puede verse, al comparar las tablas 4.10, 4.11 y 4.12, los resultados son prácticamente los mismos, por lo que puede decirse que el método propuesto es confiable.

5. CONCLUSIONES

Se ha presentado un método de cálculo que permite analizar estructuras reticulares tridimensionales, incluyendo la superestructura, la cimentación y el suelo de apoyo, estableciendo la compatibilidad de deformaciones entre el suelo de apoyo y la estructura, esto es, desarrollando la **interacción suelo-estructura**.

La ventaja del método expuesto es que el análisis se realiza en un solo paso, sin la necesidad de iteraciones para obtener la convergencia en los resultados.

Como se utiliza el método de las rigideces, es fácilmente programable y se pueden analizar estructuras de mediano tamaño hasta 1000 nudos, aproximadamente, lo que depende de la cantidad de memoria que tenga el equipo de cómputo utilizado.

En virtud de que se calcula por separado la matriz de rigidez del suelo, de la matriz de rigidez de la estructura, es sencillo estudiar varias condiciones de análisis, como por ejemplo etapas de construcción o bien, etapas durante la vida útil de la misma, ya sea recién construida, a mediano y a largo plazo; solamente es necesario modificar las propiedades mecánicas de compresibilidad de los estratos del subsuelo, las que pueden ser diferentes con el tiempo, sobre todo en suelos finos de alta compresibilidad que exhiben viscosidad intergranular.

Además de lo anterior, es posible tomar en cuenta el comportamiento no lineal del subsuelo, los parámetros de compresibilidad pueden determinarse para el nivel de esfuerzos que la carga de la construcción aplica a los diferentes estratos del suelo.

Aún cuando el tipo de estructura que se puede analizar está limitado a elementos "barra", mediante un refinamiento en la modelación se pueden analizar losas de cimentación rigidizadas con trabes, hasta cajones de cimentación. La dificultad mayor está en el incremento del número de nudos y barras que se introducen al modelo.

El método expuesto no es nuevo; sin embargo, tiene a su favor que considera los seis grados de libertad por nudo que tiene una barra en un sistema de tres dimensiones. Si uno o varios nudos tienen alguna restricción, es posible indicarlo en el archivo de datos del programa para que, una vez que se haya incorporado la matriz de rigidez del suelo, se hagan las modificaciones a la matriz de rigidez global y se tomen en cuenta dichas restricciones.

Si bien el análisis que se hace es solamente para cargas estáticas, es posible

introducir fuerzas laterales debidas a viento o sismo, si éstas se calculan previamente mediante alguno de los métodos comúnmente aceptados por las normas vigentes al respecto; además de lo anterior, se podrán modificar las propiedades mecánicas del suelo de apoyo, sustituyéndolas por sus correspondientes propiedades dinámicas.

Finalmente se considera que, el lector interesado en el tema de la interacción suelo-estructura podrá tomar como punto de partida lo que aquí se expone y enriquecerlo, para darle mayores prestaciones, de manera que cada vez más, los modelos de análisis estructural representen con mayor fidelidad las condiciones reales en las que tiene que trabajar la estructura durante su vida útil.

REFERENCIAS

1. Badillo, E. y Rico, A. (1979). “Mecánica de Suelos”. Tomo II (Teoría y Aplicaciones de la Mecánica de Suelos), Ed. LIMUSA, 2ª edición.
2. Damy, J. y Casales, C. (1985). Integración de las Superficies de Boussinesq, Westergaard y Frölich sobre Superficies Poligonales”. Revista Ingeniería, Facultad de Ingeniería, UNAM.
3. Bathe, K., Wilson, E. (1976). Numerical Methods in finite Element Analysis. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, USA.
4. “Interacción Suelo-Estructura y Diseño Estructural de Cimentaciones”. Reunión conjunta SMMS, SMIS y SMIE. SMMS, Septiembre de 1991.
5. Deméneghi, A. (1979). “Un Método para el Análisis Conjunto de la Estructura y el Suelo”. Revista Ingeniería, Vol. XLIX, N° 3.
6. Deméneghi, A. (1992). Interacción Estática Suelo-Estructura. Análisis Tridimensional”. Revista Ingeniería, Facultad de Ingeniería, UNAM.
7. Ghali, A y Neville, A.M. Análisis Estructural. Instituto Mexicano del Cemento y del concreto, A.C. México, 2004
8. Hammond, R. y Critendern, (1994). “Introducción al FORTRAN 77 y la PC”. Mc Graw Hill Inc. USA
9. López, G., Zea, C. y Rivera C. (2011). “Una solución directa al problema de interacción suelo-estructura”. Artículo publicado en las memorias de la XIV Conferencia Panamericana de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Toronto, Ca.
10. López, G. (1977). “Diseño de una Cimentación Compensada para un Edificio de 9 Pisos Localizado en la Zona de Alta Compresibilidad de la Ciudad de México”. Tesis de licenciatura (Director: Leonardo Zeevaert), Facultad de Ingeniería, UNAM.
11. Luthe, R. (1971). Análisis Estructural. Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A. México.

12. Luthe, R. et al (1991). "Métodos Numéricos", Ed. LIMUSA. México.
13. Meli, R. (2001). "Diseño Estructural" 2ª Ed. Limusa, México.
14. Poulos, H. and Davis, E. (1974). "Elastic Solutions For Soil and Rock Mechanics". Ed. John Wiley and Sons, USA.
15. Puebla, H. (1994). "Influencia de la Rigidez del Terreno de Cimentación en los Resultados de la Interacción Suelo-Estructura". Tesis de maestría (Director: Agustín Deméneghi C.), DEPIFI, UNAM.
16. Rivera, R. y Zea, C. (1994). "Un Programa de Computadora para el Análisis de Interacción Suelo-Cimentación Rígida en Suelos Finos Saturados con el Método de Zeevaert", Revista N° 7 de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
17. Rivera, R., Zea, C. y Monroy, F. (1996). "Procedimiento de Análisis de Interacción Suelo-Retícula de Cimentación". Memorias de la XVIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Morelia, Michoacán.
18. Rivera, R. y Zea, C. (1996). "Cálculo de los Parámetros de Consolidación en Suelos Finos Saturados Utilizando el Modelo de Viscosidad Intergranular de Zeevaert Mediante un Programa de Computadora". Revista N° 12 de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
19. Sánchez, J. L. y Enríquez, P. (1982) "Un Método de Interacción Suelo-Estructura". Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Morelia, Mich., México, 1982
20. Zea, C. (1998). "Metodología Para Casos Especiales de Interacción Suelo-Retícula de Cimentación en Suelos Finos Saturados, con Ayuda de un Programa de Computadora". Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM.
21. Zeevaert, L. (1973). "Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions". Ed. Van Nostrand Reinhold, Co. New York, USA.
22. Zeevaert, L. (1980). "Interacción Suelo-Estructura de Cimentación". Ed. Limusa, México.

23. Zeevaert, L. (1983). "Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions". De. Van Nostrand Reinhold Co. New York, 2nd edition.
24. Zeevaert, L. (1984). "Viscosidad Intergranular en Suelos Finos Saturados". DEPMI, UNAM.
25. Zeevaert, L. (1988). "Sismo-geodinámica de la Superficie del Suelo". Ed. Privada, México.

APÉNDICE A: cálculo de la matriz de rigidez del suelo. Programa "FLEXSU"

MANUAL DE USUARIO DEL PROGRAMA FLEXSU

1. INTRODUCCIÓN

El programa FLEXSU (flexibilidades del suelo de apoyo de la cimentación y superestructura), escrito en lenguaje FORTRAN para PC y basado en una versión debida a López (ref. 7), se desarrolló para resolver el problema de interacción suelo-cimentación siguiendo el método de análisis de Zeevaert con modificaciones planteadas por López (ref. 8) para hacer que el método en lugar de ser iterativo sea “directo” (sin considerar la variación de los módulos de deformabilidad o compresibilidad con los niveles de esfuerzo).

FLEXSU permite:

- Calcular la influencia media de esfuerzo por planta de cimentación, auxiliando así al usuario en el cálculo de los parámetros de compresibilidad (primeros pasos del método de Zeevaert).
- Generar las matrices de flexibilidad del suelo.
- Generar las matrices de rigidez del suelo.

2. ARCHIVOS DE DATOS

Mediante archivos se proporcionan los datos del problema a los programas; todos los datos se pueden dar en formato libre separados por comas o espacios. Los archivos requeridos deben tener todos un mismo nombre (familia de archivos, ejemplo: example1) variando sólo en extensión (ejemplo: example1.plc, example1.mod, etc.), éstos son:

Los nombres de archivos deberán tener 8 caracteres (ni más ni menos) y se

pueden generar mediante el Block de Notas (NOTEPAD) de Windows.

2.1. *Archivo de placas.*- La extensión se fija como “.plc”(ejemplo: example1.plc), debiendo contener los siguientes datos:

- a) En el primer renglón se introduce el “titulo” de la corrida.
- b) En el segundo renglón se teclea el número total de nodos (NNOD, máximo 1000) y el número total de placas (NPLC, máximo 1000).
- c) En los siguientes “NNOD” renglones se introducen las coordenadas “z” y “x” de los nodos (un renglón por cada nodo). El sistema de coordenadas que se da, es para hacerlo congruente con el sistema de coordenadas del programa EMISES3D. Para otros casos puede adoptarse un sistema de coordenadas “x-y-z”, donde el eje “z” es el eje vertical.
- d) En los siguientes “2*NPLC” renglones se da el número de vértices de cada placa (máximo 16) y el número de nodo que representa el resorte de la placa; abajo en el siguiente renglón se dan las incidencias de cada placa (números con los que se etiqueta a los vértices que le corresponden a cada placa), en sentido antihorario (Fig. 2.1).

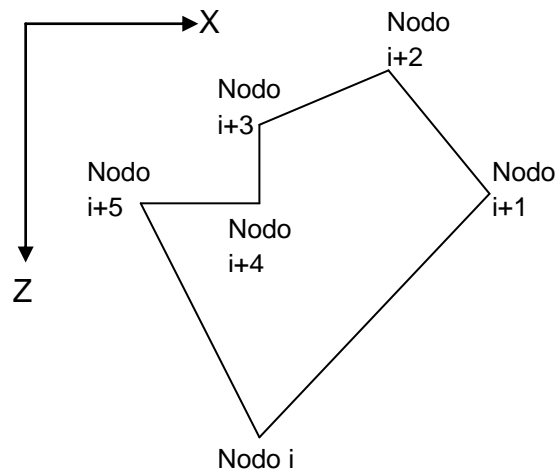


Fig. 2.1 Numeración de nodos y sentido de la numeración

- e) En el renglón que sigue se introduce el número de zonas de la cimentación en que se dividirá el problema (NPC, máximo 50) y el “factor de distribución de esfuerzos” (ref. 2). El dividir la cimentación en varias zonas permite manejar diferencias tanto en las profundidades de desplante como en los espesores de los estratos.

Placa

- f) En los últimos “NPC” renglones se dan por cada renglón: La última placa del grupo, la profundidad de desplante de ese grupo, las profundidades inferiores de los estratos, empezando por el estrato más superficial y terminado con el más profundo.

2.2. *Archivo de módulos de compresibilidad (fenómeno de consolidación) o deformabilidad (comportamiento dinámico).*- La extensión se fija como “.MOD”, con los siguientes datos:

- a) En el renglón 1.- Número de grupos de placas (NGRUP), número de datos de módulos de compresibilidad (NMODS) y número de casos de análisis (NETPS). Con “NGRUP” se pueden definir diferencias entre las compresibilidades de una zona de placas y otra. Con “NETPS” se pueden calcular las rigideces del suelo para distintas condiciones de análisis (Estáticas: a corto, mediano y largo plazo; Pseudoestáticas: para un análisis sísmico simplificado, etc.); estas características sirven para ahorrar tiempos de cómputo.
- b) Los siguientes “NGRUP” renglones deben tener como datos, por cada grupo de placas: La etiqueta de la última placa del grupo y los “números con que se etiquetan” las compresibilidades que le corresponden a los estratos de suelo en el orden que se dan en el archivo de placas.
- c) En los renglones siguientes se dan los valores de los módulos de compresibilidad volumétrica (m_v , M_z o módulos dinámicos M_{din}) que se van a manejar (un bloque de datos por cada caso de análisis). El programa de cómputo reconoce la primera compresibilidad que aparece en el archivo como la número “1”, la segunda como la “2”, etc.

3. CORRIENDO EL PROGRAMA

Una vez creados los archivos de datos se corre el programa “FLEXSU” haciendo doble click en su ícono según su ubicación, apareciendo las siguientes imágenes en pantalla:

```

      F _ L _ E _ X _ S _ U (VERSION 2010)
PROGRAMA PREPROCESADOR PARA EL CALCULO DE INFLUENCIAS,
INCREMENTOS DE ESFUERZO, FLEXIBILIDADES Y RIGIDECESES
PARA EL ANALISIS DE INTERACCION SUELO-CIMENTACION-ESTRUCTURA

AUTORES: CARMELINO ZEA CONSTANTINO
          RIGOBERTO RIVERA CONSTANTINO Y
          GERMAN LOPEZ RINCON

      *** A D V E R T E N C I A ***
      LOS AUTORES DE ESTE PROGRAMA
      NO SE HACEN RESPONSABLES POR
      EL USO INDEBIDO DEL MISMO NI
      POR LOS RESULTADOS QUE ARROJE.

PARA ACLARACIONES, FAVOR DE COMUNICARSE AL TEL.:
55-13-08-36 O AL 56-22-80-03 MEXICO..

Fortran Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.

```

Fig. 3.1 Portada del programa FLEXSU

```

_____
OPCIONES:

[1] EDITAR DATOS (*NO ACTIVO*)
[2] GENERAR LA(S) MATRIZ(ES) DE *INFLUE*NCIAS DEL SUELO
[3] CALCULAR INCREMENTOS DE ESFUERZO VERTICAL *INESV*
[4] CALCULAR FLEXIBILIDADES DEL SUELO *FLEXS*
[5] CREAR LA MATRIZ DE *RIGID*EZ DEL SUELO DE APOYO
[6] COMANDO DE *DOS*
[0] *SALIR*

_____

CANCEL = CANCELA UNA APERTURA DE ARCHIVO
¿OPCION?: _

```

Fig. 3.2 Menú del programa FLEXSU

Se elige la opción número 2 para generar las matrices de influencias, pidiendo el programa para ello el nombre de la familia de archivos (ejemplo: example1).

Se elige la opción 3 para cuando se necesita calcular los incrementos o decrementos de esfuerzo producidos por las cargas al centro de cada estrato de la masa de suelo; esto permite realizar el cálculo de compresibilidades o deformabilidades (recordar que ellas dependen del nivel y trayectoria de esfuerzos). Nuevamente el programa pide el nombre de la familia de archivos, los resultados se guardan en un fichero con igual nombre de familia pero con

extensión “inc” (ej.: example1.inc). Se requiere haber creado previamente el archivo “*.cgs”, que son las cargas distribuidas en las dovelas.

Con las opción 4 se crean los ficheros de las matrices de hundimiento del suelo con extensiones “fs#” (ej. example1.fs1) para ello el programa pide el nombre de la familia de archivos.

Con la opción 5 se crean los ficheros de las matrices de rigidez del suelo con extensiones “ks#” (ej. example1.ks1) para ello el programa pide el nombre de la familia de archivos. Estos archivos son necesarios para correr el programa de computadora de interacción denominado “EMISES3D”.

4. Ejemplo

La figura 4.1 muestra las 9 placas en las que se ha dividido la planta de cimentación en tanto que en la 4.2 se proporciona la estratigrafía y propiedades.

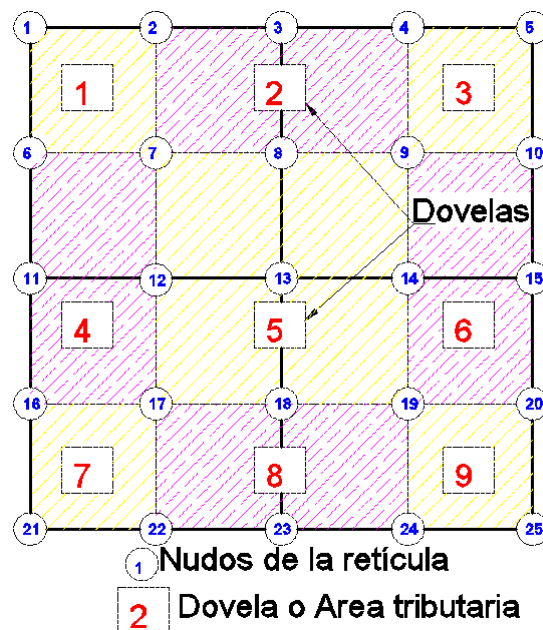


Fig. 4.1 Planta de cimentación dividida en 9 placas y 25 nudos (nota: algunos de los nudos no se utilizan en el análisis)

$Mz = 0.0154 \text{ m}^2/\text{t}$	$d = 2.4 \text{ m}$	$\alpha = Mz \cdot d = 0.0370 \text{ m}^3/\text{t}$
$Mz = 0.0222 \text{ m}^2/\text{t}$	$d = 2.0 \text{ m}$	$\alpha = Mz \cdot d = 0.0444 \text{ m}^3/\text{t}$

Fig. 4.2 Características del suelo de apoyo (d = espesor)

Uso de los Programas

Para mayor claridad véanse en el apéndice D los archivos de datos siguientes:

- | | |
|---------------------------|--------------|
| a) de las placas y nodos; | example1.plc |
| b) de compresibilidades; | example1.mod |

Al correr el programa FLEXSU se generan los siguientes archivos:

- | | |
|--|--------------|
| d) de áreas y centroides de las placas | example1.atp |
| e) de influencias; | example1.inf |
| f) de flexibilidades del suelo; | example1.fs1 |
| g) de rigideces | example1.ks1 |

```
[6] COMANDO DE *DOS*
[0] *SALIR*

-----
CANCEL = CANCELA UNA APERTURA DE ARCHIVO
¿OPCION?: 2

¡HOLA!
EL ARCHIVO DE DATOS DE LAS PLACAS DEBE TENER POR FUERZA LA
EXTENSION ".PLC"

      NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS
      (no teclee la extension ".PLC" ya que el programa se la agrega)
      (e.j. B:XYZ) --> EXAMPLE1

EL ARCHIVO DE DATOS ES : EXAMPLE1.PLC
Fortran Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.
```

Fig. 4.3 Corriendo la opción 2 con el ejemplo

```

SE GENERARAN LOS SIGUIENTES ARCHIVOS

DE INFLUENCIAS           : EXAMPLE1.INF
DE AREAS Y CENTROIDES    : EXAMPLE1.ATP
DE ESPESORES DE LOS ESTRATOS : EXAMPLE1.ESP

Fortran Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.

NUMERO DE PLACAS :    9
NUMERO DE NODOS  :   25

Fortran Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.

```

Fig. 4.4 Se generan varios archivos al correr el programa

```

AREA:      4
DOV.: 4 4.6225 P.RESORTE: 8.6000 0.0000
        0.00 2.15 2.15 2.15 2.15 6.45 0.00 6.45

AREA:      4
DOV.: 5 9.2450 P.RESORTE: 0.0000 4.3000
        2.15 2.15 6.45 2.15 6.45 6.45 2.15 6.45

AREA:      4
DOV.: 6 18.4900 P.RESORTE: 4.3000 4.3000
        6.45 2.15 8.60 2.15 8.60 6.45 6.45 6.45

AREA:      4
DOV.: 7 9.2450 P.RESORTE: 8.6000 4.3000
        0.00 6.45 2.15 6.45 2.15 8.60 0.00 8.60

AREA:      4
DOV.: 8 4.6225 P.RESORTE: 0.0000 8.6000
        2.15 6.45 6.45 6.45 6.45 8.60 2.15 8.60

AREA:      4
DOV.: 9 9.2450 P.RESORTE: 4.3000 8.6000
        6.45 6.45 8.60 6.45 8.60 8.60 6.45 8.60

AREA:      4
        4.6225 P.RESORTE: 8.6000 8.6000
NUMERO DE ZONAS DE COMPRESIBILIDAD: 1
FACTOR DE DISTRIBUCION DE ESFUERZOS (X): 3.0 (Boussinesq)
ortran Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.
LA PROFUNDIDAD DE LAS PLACAS EN LA ZONA 1 ES: 0.0000000E+00

ortran Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.
CALCULANDO LAS INFLUENCIAS DE LA PLACA: 1
CALCULANDO LAS INFLUENCIAS DE LA PLACA: 2
CALCULANDO LAS INFLUENCIAS DE LA PLACA: 3
CALCULANDO LAS INFLUENCIAS DE LA PLACA: 4
CALCULANDO LAS INFLUENCIAS DE LA PLACA: 5
CALCULANDO LAS INFLUENCIAS DE LA PLACA: 6
CALCULANDO LAS INFLUENCIAS DE LA PLACA: 7
CALCULANDO LAS INFLUENCIAS DE LA PLACA: 8
CALCULANDO LAS INFLUENCIAS DE LA PLACA: 9

** TERMINO EL CALCULO DE LA MATRIZ DE INFLUENCIAS **

ortran Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.

```

Fig. 4.5 Se leen los datos y se guardan las matrices de influencias en el archivo correspondiente


```

- -
[4] CALCULAR FLEXIBILIDADES DEL SUELO *FLEXS*
[5] CREAR LA MATRIZ DE *RIGID*EZ DEL SUELO DE APOYO
[6] COMANDO DE *DOS*
[0] *SALIR*

-----

CANCEL = CANCELA UNA APERTURA DE ARCHIVO
¿OPCION?: 4

¡HOLA!
EL ARCHIVO DE DATOS DE LOS MODULOS DEBE TENER LA
EXTENSION ".MOD"

        NOMBRE DEL ARCHIVO DE MODULOS (no teclee la extensión ".MOD" ya que
el programa se la agrega)
        (e.j. B:XYZ) --> EXAMPLE1

EL ARCHIVO DE DATOS ES : EXAMPLE1.PLC
Fortran Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.

SE EMPLEARAN LOS SIGUIENTES ARCHIVOS

DE INFLUENCIAS           : EXAMPLE1.INF
DE AREAS Y CENTROIDES    : EXAMPLE1.ATP
DE ESPESORES DE LOS ESTRATOS : EXAMPLE1.ESP

Fortran Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.

NUMERO DE ESTRATOS           :           2
NUMERO DE ZONAS CON DIFERENTES PROP. :           1
NUMERO MODULOS QUE SE VAN A DEFINIR   :           2
NUMERO DE ANÁLISIS QUE SE VAN A REALIR:           1
Fortran Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.

```

Fig. 4.6 Calculando la matriz de flexibilidades del ejemplo

```

NUMERO DE ESTRATOS           :           2
NUMERO DE ZONAS CON DIFERENTES PROP. :           1
NUMERO MODULOS QUE SE VAN A DEFINIR  :           2
NUMERO DE ANALISIS QUE SE VAN A REALIR:           1
Por favor Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.

```

```

1   1   2
2   1   2
3   1   2
4   1   2
5   1   2
6   1   2
7   1   2
8   1   2
9   1   2

```

```

Por favor Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.

```

LA MATRIZ DE FLEXIBILIDAD DEL SUELO SE SALVARA EN EL SIGUIENTE ARCHIVO:

EXAMPLE1.F51

ETAPA: 1

MODULOS:

0.015400 0.022200

```

Por favor Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.

```

```

PLACA:   1  ESTRATO:   1  MODULO=   0.015400
PLACA:   1  ESTRATO:   2  MODULO=   0.022200
PLACA:   2  ESTRATO:   1  MODULO=   0.015400
PLACA:   2  ESTRATO:   2  MODULO=   0.022200
PLACA:   3  ESTRATO:   1  MODULO=   0.015400
PLACA:   3  ESTRATO:   2  MODULO=   0.022200
PLACA:   4  ESTRATO:   1  MODULO=   0.015400
PLACA:   4  ESTRATO:   2  MODULO=   0.022200
PLACA:   5  ESTRATO:   1  MODULO=   0.015400
PLACA:   5  ESTRATO:   2  MODULO=   0.022200
PLACA:   6  ESTRATO:   1  MODULO=   0.015400
PLACA:   6  ESTRATO:   2  MODULO=   0.022200
PLACA:   7  ESTRATO:   1  MODULO=   0.015400
PLACA:   7  ESTRATO:   2  MODULO=   0.022200
PLACA:   8  ESTRATO:   1  MODULO=   0.015400
PLACA:   8  ESTRATO:   2  MODULO=   0.022200
PLACA:   9  ESTRATO:   1  MODULO=   0.015400
PLACA:   9  ESTRATO:   2  MODULO=   0.022200

```

```

Por favor Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.

```

** TERMINO LA GENERACION DE FLEXIBILIDADES **

```

Por favor Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.

```

Fig. 4.7 Pantalla que permite revisar que la asignación de módulos en cada estrato sea correcta

```
OPCIONES:  
[1] EDITAR DATOS (*NO ACTIVO*)  
[2] GENERAR LA(S) MATRIZ(CES) DE *INFLUE*NCIAS DEL SUELO  
[3] CALCULAR INCREMENTOS DE ESFUERZO VERTICAL *INESV*  
[4] CALCULAR FLEXIBILIDADES DEL SUELO *FLEXS*  
[5] CREAR LA MATRIZ DE *RIGID*EZ DEL SUELO DE APOYO  
[6] COMANDO DE *DOS*  
[0] *SALIR*  
  
CANCEL = CANCELA UNA APERTURA DE ARCHIVO  
¿OPCION?: 5  
  
    NOMBRE DE LA FAMILIA DE ARCHIVOS  
    (no teclee la extensiones ya que el programa se las agrega)  
    (e.j. B:XYZ) --> EXAMPLE1  
  
    ARCHIVO DE FLEXIBILIDADES NUMERO?:  
    (ENTRE 1 y 10) --> 1  
  
ARCHIVO DE RIGIDECEs:  
  
ARCHIVO DE FLEXIBILIDADES: EXAMPLE1.FS1  
ARCHIVO DE AREAS          : EXAMPLE1.ATP  
ARCHIVO DE RIGIDECEs     : EXAMPLE1.KS1  
Fortran Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.  
  
** TERMINO EL CALCULO DE RIGIDECEs **  
Fortran Pause - Enter command<CR> or <CR> to continue.
```

Fig. 4.8 Generando la matriz de rigideces del ejemplo

APÉNDICE B: Cálculo de la matriz de rigidez de la estructura. Programa
“EMISES3D”

Instructivo para Utilizar el Programa “EMISES3D”

El programa fue realizado en lenguaje QuickBasic, por lo que se requiere del compilador del Qbasic del MS-DOS o cualquier versión del QuickBasic.

El programa analiza marcos ubicados en el espacio haciendo uso del elemento finito barra sometida a flexión y carga axial. Las barras pueden estar sometidas a carga axial, carga concentrada y carga uniformemente distribuida.

Para obtener los elementos mecánicos de las barras y reacciones se emplean las siguientes matrices y operaciones algebraicas.

Matriz Característica $[K']$ (sistema local)

$$\begin{bmatrix}
 \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{12EI}{L^3} z & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI}{L^2} z & 0 & -\frac{12EI}{L^3} z & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI}{L^2} z \\
 0 & 0 & \frac{12EI}{L^3} y & 0 & -\frac{6EI}{L^2} y & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EI}{L^3} y & 0 & -\frac{6EI}{L^2} y & 0 \\
 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -\frac{6EI}{L^2} y & 0 & \frac{4EI}{L} y & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI}{L^2} y & 0 & \frac{2EI}{L} y & 0 \\
 0 & \frac{6EI}{L^2} z & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI}{L} z & 0 & -\frac{6EI}{L^2} z & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI}{L} z \\
 -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -\frac{12EI}{L^3} z & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI}{L^2} z & 0 & \frac{12EI}{L^3} z & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI}{L^2} z \\
 0 & 0 & -\frac{12EI}{L^3} y & 0 & \frac{6EI}{L^2} y & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI}{L^3} y & 0 & \frac{6EI}{L^2} y & 0 \\
 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -\frac{6EI}{L^2} y & 0 & \frac{2EI}{L} y & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI}{L^2} y & 0 & \frac{4EI}{L} y & 0 \\
 0 & \frac{6EI}{L^2} z & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI}{L} z & 0 & -\frac{6EI}{L^2} z & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI}{L} z
 \end{bmatrix}$$

$$[K'] = \begin{bmatrix} [K'aa] & [K'ab] \\ [K'ba] & [K'bb] \end{bmatrix}$$

Vector de desplazamiento $\{d'\}$ (sistema local)

$$\begin{Bmatrix} dx & dy & dz & \theta_x & \theta_y & \theta_z \end{Bmatrix}^T \\
 \{d'a \quad \vdots \quad d'b\}^T$$

Vector de fuerzas $\{f'\}$ (sistema local)

$$\{f'\} = [K'] \{d'\}$$

$$\{F_x \quad F_y \quad F_z \quad \vdots \quad M_x \quad M_y \quad M_z\}^T$$

$$\left\{ \begin{array}{l} f'a \\ \vdots \\ f'b \end{array} \right\}^T$$

Matriz de transformación $[T]$

$$\begin{bmatrix} \cos \alpha_x & \cos \beta_x & \cos \gamma_x & 0 & 0 & 0 \\ \cos \alpha_y & \cos \beta_y & \cos \gamma_y & 0 & 0 & 0 \\ \cos \alpha_z & \cos \beta_z & \cos \gamma_z & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha_x & \cos \beta_x & \cos \gamma_x \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha_y & \cos \beta_y & \cos \gamma_y \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha_z & \cos \beta_z & \cos \gamma_z \end{bmatrix}$$

Para obtener los cosenos directores se conocen los nudos A y B de una barra que definen a un vector cuya dirección es la que indican sus incidencias, este vector define al eje x' local $(\alpha_x, \beta_x, \gamma_x)$, una vez definido x' se debe definir al eje y' $(\alpha_y, \beta_y, \gamma_y)$ o al eje z' $(\alpha_z, \beta_z, \gamma_z)$ local, para ello se tiene que especificar otro vector como más adelante se indica.

Transformación del sistema local al sistema global de coordenadas.

Matriz característica $[K]$

$$[K] = [T]^T [K'] [T]$$

Vector de desplazamiento $\{d\}$

$$\{d\} = [T]^T \{d'\}$$

Vector de fuerzas $\{f\}$

$$\begin{aligned}\{f\} &= [T]^T \{f'\} \\ \{f\} &= [K] \{d\}\end{aligned}$$

Ecuación de equilibrio

$$[K] \{d\} + \{f_{ext}\} + \{f_{nud}\} = \{0\}$$

$\{f_{ext}\}$ = Vector de fuerzas externas que actúan sobre el nudo

$\{f_{nud}\}$ = Vector de fuerzas de empotramiento que actúan en el nudo

Transformación del sistema global al sistema local de coordenadas.

Matriz característica $[K']$

$$[K'] = [T] [K] [T]^T$$

Vector de desplazamiento $\{d\}$

$$\{d'\} = [T] \{d\}$$

Vector de elementos mecánicos $\{R\}$

$$\{R\} = [K'] \{d'\} + \{f_{ext}\}$$

$\{f_{ext}\}$ = Vector de fuerzas externas que actúan sobre el nudo

ENTRADA DE DATOS PARA EL PROGRAMA

Los datos que necesita el programa para que su ejecución sea la correcta se deben hacer de la forma indicada a continuación.

1. No se deben dejar líneas en blanco entre las líneas de datos
2. No se dejarán espacios entre los datos
3. Los datos deben estar separados únicamente por comas

4. Archivo de datos de la estructura (se debe tomar en cuenta que los primeros “ndov” nodos representan los puntos donde la estructura se apoya a base de resortes)

a) Título. Debe estar entre comillas.

“título”

b) Número de Barras y Nudos

nbar, nnud

c) Coordenadas en sistema global y restricciones al desplazamiento y giros (depende del número de nudos)

X, Y, Z, RX, RY, RZ, RGX, RGY, RGZ

d) Nudo origen “A” y nudo destino “B” de las barras (depende del número de barras)

no, nd

e) Área, momentos de inercia en x' , y' y z' (depende del número de barras)

área, inerciax, inerciay, inerciaz

f) Módulo elástico y relación de Poisson (depende del número de barras)

E, ν

g) Definición de ejes locales x' , y' , z' (depende del número de barras)

n1, n2, x1, y1, z1, x2, y2, z2

El eje local x' siempre quedará definido por el vector:

$$\begin{aligned} \{Vx\} &= \{nd\} - \{no\} \\ \{Vx\} &= \{xd - xo \quad yd - yo \quad zd - zo\} \end{aligned}$$

$$\{no\} = \{xo \quad yo \quad zo\} \quad \text{nudo origen}$$

$$\{nd\} = \{xd \quad yd \quad zd\} \quad \text{nudo destino}$$

Si $n1 = 0$ y $n2 = 0$

$\{n1\} = \{x1, y1, z1\}$ y $\{n2\} = \{x2, y2, z2\}$ definen a un vector ubicado en el plano local $\mathbf{x}' - \mathbf{z}'$ de la siguiente manera:

$$\{Vn\} = \{x2 - x1 \quad y2 - y1 \quad z2 - z1\}$$

por lo que el eje \mathbf{y}' se define por el vector

$$\{Vy\} = \{Vn\} \times \{Vx\}$$

y el eje \mathbf{z}' por

$$\{Vz\} = \{Vx\} \times \{Vy\}$$

Si $n1 = 1$ y $n2 = 0$ z' es paralelo al eje $x \Rightarrow \{Vz\} = \{1 \ 0 \ 0\}$

Si $n1 = 2$ y $n2 = 0$ z' es paralelo al eje $y \Rightarrow \{Vz\} = \{0 \ 1 \ 0\}$

Si $n1 = 3$ y $n2 = 0$ z' es paralelo al eje $z \Rightarrow \{Vz\} = \{0 \ 0 \ 1\}$

NOTA IMPORTANTE: siempre deben orientarse las incidencias de tal manera que el vector \mathbf{z}' tenga la dirección y sentido del eje \mathbf{Z} global.

Y el eje \mathbf{y}' se define por el vector

$$\{Vy\} = \{Vz\} \times \{Vx\}$$

Si $n1 = 1$ y $n2 < 0$

Donde $n2$ es un nudo de la estructura ubicado en el plano local $x' - y'$ y define al vector cuya dirección va del nudo origen de la barra al nudo $n2$

$$\{Vn\} = \{n2\} - \{no\}$$

$$\{ n2 \} = \{ xk \quad yk \quad zk \}$$

$$\{ no \} = \{ xo \quad yo \quad zo \}$$

el eje z' queda definido por

$$\{ Vz \} = \{ Vx \} \times \{ Vn \}$$

el eje y' por

$$\{ Vy \} = \{ Vz \} \times \{ Vx \}$$

- h) Número de barras con carga uniforme, carga concentrada y nudos con carga

bcw, bcc, ncc

- i) Cargas distribuidas (depende del número de barras cargadas)

barra, cargax, cargay, cargaz

- j) Cargas concentradas (depende del número de barras cargadas)

barra, fuerzax, fuerzay, fuerzas, distx, disty, distz

- fuerzax = fuerza aplicada en dirección del eje x'
- distx = distancia sobre el eje perpendicular a la fuerza desde el nudo origen hasta donde se aplica

- k) Nudos con carga (depende del número de nudos cargados)

nudo, Fuerzax, Fuerzay, Fuerzaz, MomentoX, MomentoY, MomentoZ

5. Se debe contar con el archivo de rigideces del suelo con extensión “*.KSO” que contenga:

- a) Título

“título”

- b) Número de resortes que modelan el suelo (se debe asegurar de que la posición de los resortes corresponda con los primeros nodos de la estructura)

ndov

- c) Matriz de rigidez del suelo (**ndov x ndov**).

6. Resultados

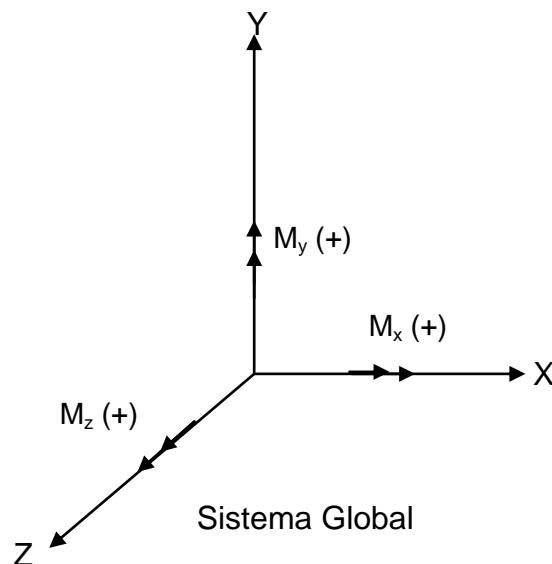
Al correr el programa y si todo resulta correcto se generarán tres tipos de archivos:

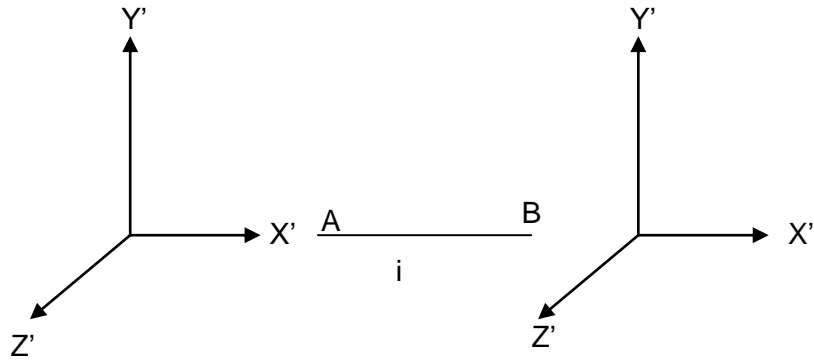
a) Archivo “Matriz01.txt” Contiene la matriz de rigideces de la estructura no acoplada con la del suelo.

b) Archivo “Matriz02.txt” Contiene la matriz de rigideces de la estructura acoplada con la del suelo.

7. Archivo “*.E3D” Contiene los resultados de la corrida con los desplazamientos de los nudos, las reacciones en los apoyos y los elementos mecánicos.

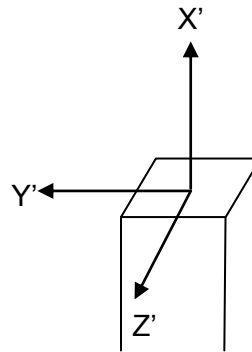
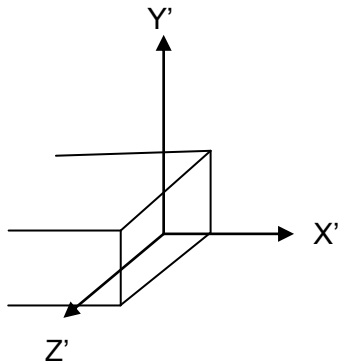
La convención de signos utilizada en sistema global y local es la siguiente.





A nudo origen
B nudo destino

Sistema Local



8. Ejemplo

Al correr el programa con la familia de archivos "EXAMPLE1.*" resultan los siguientes cuadros:

```
----- Analisis de Marcos en 3D -----  
----- Utilizando el elemento finito barra -----  
----- Programa realizado por: -----  
----- Cesar Vazquez Lorenzana -----  
  
----- Modificado por: German Lopez Rincon -----  
-- Para el analisis de Interaccion Suelo-Estructura --  
  
----- Colaboradores: Carmelino Zea Constantino -----  
----- Rigoberto Rivera Constantino -----  
  
  
para continuar presione cualquier tecla...
```

Fig. 1 Carátula del programa

```
Dame el subdirectorio donde estan tus archivos?  
  
El volumen de la unidad C no tiene etiqueta  
El número de serie del volumen es 2424-E317  
Directorio de C:\CARMEL~1\ANALISIS\ISE\EMISES3D  
  
EXAMPLE1 FRM      1937 24/01/11 10:30a  
      1 archivo(s)      1937 bytes  
      1023932928 bytes libres  
  
Archivos con extension '*.frm': Datos de la Estructura  
  
Dame el nombre de la familia de archivos? EXAMPLE1  
Mediante el archivo:  
EXAMPLE1.kso  
Se incorporara la matriz K del suelo a la K de la estructura  
  
  
para continuar presione cualquier tecla...
```

Fig. 2 Se proporciona el nombre de la familia de archivos

```

Estructura : EJEMPLO ISE 3D
Numero de barras= 20
Numero de nudos= 13

      Coordenadas          Restricciones
nudo   x    y    z    rx    ry    rz    gx    gy    gz
1      0    0    0     0     0     0     0     0     0
2      4.3  0    0     0     0     0     0     0     0
3      8.6  0    0     0     0     0     0     0     0
4      0    0    4.3   0     0     0     0     0     0
5      4.3  0    4.3   0     0     0     0     0     0
6      8.6  0    4.3   0     0     0     0     0     0
7      0    0    8.6   0     0     0     0     0     0
8      4.3  0    8.6   0     0     0     0     0     0
9      8.6  0    8.6   0     0     0     0     0     0
10     0    4.6  0     0     0     0     0     0     0
11     8.6  4.6  0     0     0     0     0     0     0
12     0    4.6  8.6   0     0     0     0     0     0
13     8.6  4.6  8.6   0     0     0     0     0     0

para continuar presione cualquier tecla...

```

Fig. 3 Leyendo los datos

```

Se almaceno la matriz K de la estructura
en el archivo 'matriz01.txt'.

Se termino de incorporar K del suelo a K de la estructura.

Se almaceno la matriz K suelo-estructura
en el archivo 'matriz02.txt'.

para continuar presione cualquier tecla...

```

Fig.4 Generando las matrices de rigidez

# de barras con carga uniforme	# de barras con carga concentrada	# de nudos con carga
16	0	4

Cargas Distribuidas en las Barras

barra	wx	wy	wz
1	0.000	-0.800	0.000
2	0.000	-0.800	0.000
3	0.000	-0.800	0.000
4	0.000	-1.600	0.000
5	0.000	-0.800	0.000
6	0.000	-0.800	0.000
7	0.000	-1.600	0.000
8	0.000	-0.800	0.000
9	0.000	-1.600	0.000
10	0.000	-1.600	0.000
11	0.000	-0.800	0.000
12	0.000	-0.800	0.000
17	0.000	-1.000	0.000
18	0.000	-1.000	0.000
19	0.000	-1.000	0.000
20	0.000	-1.000	0.000

para continuar presione cualquier tecla...

Fuerzas y Momentos en los Nudos

nudo	Px	Py	Pz	Mx	My	Mz
10	0.000	-1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	0.000	-1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	0.000	-1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13	0.000	-1.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Cargas Concentradas en las Barras

barra	Px	ax	Py	ay	Pz	az
-------	----	----	----	----	----	----

Fig. 5 Leyendo el sistema de cargas

Desplazamientos de los nudos						
nudo	dx	dy	dz	tx	ty	tz
1	-0.0000	-0.0020	0.0000	-0.0004	0.0000	-0.0001
2	-0.0000	-0.0023	0.0000	-0.0010	0.0000	0.0000
3	-0.0000	-0.0020	-0.0000	-0.0004	0.0000	0.0001
4	-0.0000	-0.0011	0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0008
5	-0.0000	-0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
6	-0.0000	-0.0011	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0008
7	-0.0000	-0.0020	0.0000	0.0004	0.0000	-0.0001
8	-0.0000	-0.0023	0.0000	0.0010	0.0000	-0.0000
9	-0.0000	-0.0020	-0.0000	0.0004	0.0000	0.0001
10	-0.0000	-0.0020	0.0000	-0.0015	0.0000	-0.0015
11	-0.0000	-0.0020	-0.0000	-0.0015	0.0000	0.0015
12	-0.0000	-0.0020	0.0000	0.0015	0.0000	-0.0015
13	-0.0000	-0.0020	-0.0000	0.0015	0.0000	0.0015

para continuar presione cualquier tecla...

Fig. 6 Resultados de la corrida (Desplazamientos de los nudos)

```
barra 1      Fuerzas Locales
nudo 1
fuerza  x = -.6898341
fuerza  y = 1.643672
fuerza  z = 1.151307E-03
momento x = .5005844
momento y = -6.473446E-04
momento z = .6583384
barra 1      Fuerzas Locales
nudo 2
fuerza  x = .6898341
fuerza  y = 1.796328
fuerza  z = -1.151307E-03
momento x = -.5005844
momento y = -4.303274E-03
momento z = -.9865483

para continuar presione cualquier tecla...
.
.
.
.

barra 20     Fuerzas Locales
nudo 12
fuerza  x = .6906351
fuerza  y = 4.300004
fuerza  z = -3.482506E-06
momento x = -1.114607E-05
momento y = -2.435116E-04
momento z = 2.02419
barra 20     Fuerzas Locales
nudo 13
fuerza  x = -.6906351
fuerza  y = 4.299996
fuerza  z = 3.482506E-06
momento x = 1.114607E-05
momento y = 2.734622E-04
momento z = -2.024155

para continuar presione cualquier tecla...
```

Fig. 7 Generando las fuerzas nodales

nudo	Reacciones					
	δ_{fx}	δ_{fy}	δ_{fz}	δ_{mx}	δ_{my}	δ_{mz}
1	0.0000	0.6132	-0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000
2	0.0000	0.5801	0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000
3	-0.0000	0.6133	0.0000	0.0000	-0.0000	0.0000
4	0.0000	0.1316	0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000
5	0.0000	0.1239	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000
6	-0.0000	0.1314	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
7	0.0000	0.6133	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
8	0.0000	0.5800	0.0000	-0.0000	0.0000	-0.0000
9	-0.0000	0.6133	0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000
10	-0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0000
11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	-0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000	0.0000
13	0.0000	0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000	0.0000

FIN DEL ANALISIS
para continuar presione cualquier tecla...

Fig. 8 Resultados de la corrida (Reacciones)

Los resultados se guardan en el archivo denominado:

“EXAMPLE1.E3D”

Si fuera necesario, con las reacciones en los nudos de la cimentación se pueden corregir, por trayectorias de esfuerzo, los parámetros de deformabilidad o compresibilidad considerados en la determinación de la matriz de rigidez del suelo e iniciar un nuevo análisis.

APÉNDICE C: Listado de los programas “FLEXSU” y “EMISES3D”

LISTADO DEL PROGRAMA "FLEXSU"

C PROGRAMA ESCRITO EN LENGUAJE DE PROGRAMACION FORTRAN

CHARACTER OPCION*6,LET*80

WRITE(*,*)

WRITE(*,*) ' F _ L _ E _ X _ S _ U (VERSION 2010)'

WRITE(*,*)

WRITE(*,*) ' PROGRAMA PREPROCESADOR PARA EL CALCULO DE

+INFLUENCIAS, '

WRITE(*,*) ' INCREMENTOS DE ESFUERZO, FLEXIBILIDADES Y

+ RIGIDECES'

WRITE(*,*) ' PARA EL ANALISIS DE INTERACCION SUELO-

+CIMENTACION-ESTRUCTURA'

WRITE(*,*)

WRITE(*,*) ' AUTORES: CARMELINO ZEA CONSTANTINO'

WRITE(*,*) ' RIGOBERTO RIVERA CONSTANTINO Y'

WRITE(*,*) ' GERMAN LOPEZ RINCON'

WRITE(*,*)

WRITE(*,*) ' *** A D V E R T E N C I A ***

WRITE(*,*) ' LOS AUTORES DE ESTE PROGRAMA'

WRITE(*,*) ' NO SE HACEN RESPONSABLES POR'

WRITE(*,*) ' EL USO INDEBIDO DEL MISMO NI'

WRITE(*,*) ' POR LOS RESULTADOS QUE ARROJE.'

WRITE(*,*)

WRITE(*,*) ' PARA ACLARACIONES, FAVOR DE COMUNICARSE AL TEL.:'

WRITE(*,*) ' 55-13-08-36 O AL 56-22-80-03 MÉXICO..'

WRITE(*,*)

C

C LA DISTRIBUCION DE ESFUERZOS SE CALCULA CON LAS TEORIAS DE

C BOUSSINESQ, WESTERGAARD Y FROHLICH (SOLUCION DE DAMY-CASALES).

C

PAUSE

1 WRITE(*,32)

32 FORMAT(//)////////////////////

WRITE(*,*)'

WRITE(*,*)

WRITE(*,*) ' OPCIONES: '

WRITE(*,*)

WRITE(*,*) ' [1] EDITAR DATOS (*NO ACTIVO*)'

WRITE(*,*)

WRITE(*,*) ' [2] GENERAR LA(S) MATRIZ(ES) DE *INFLUE*NCIAS

+DEL SUELO '

WRITE(*,*)

WRITE(*,*) ' [3] CALCULAR INCREMENTOS DE ESFUERZO VERTICAL

+*INESV* '

WRITE(*,*)

WRITE(*,*) ' [4] CALCULAR FLEXIBILIDADES DEL SUELO *FLEXS* '

WRITE(*,*)

WRITE(*,*) ' [5] CREAR LA MATRIZ DE *RIGID*EZ

<pre> DEL SUELO DE APOYO' WRITE(*,*) WRITE(*,*) ' [6] COMANDO DE *DOS* ' WRITE(*,*) WRITE(*,*) ' [0] *SALIR*' WRITE(*,*) WRITE(*,*) ' _____ ' WRITE(*,*) WRITE(*,*) ' CANCEL = CANCELA UNA APERTURA DE ARCHIVO ' WRITE(*,*) WRITE(*,8000) 8000 FORMAT(' OPCION?: \\\) READ(*,24)OPCION 24 FORMAT(A6) IF(OPCION.EQ.'EDIT')OPCION='1' IF(OPCION.EQ.'1')GOTO 1 C CALL EDIT(OPCION) IF(OPCION.EQ.'INFLU')OPCION='2' IF(OPCION.EQ.'2')CALL INFLUE(OPCION) IF(OPCION.EQ.'INESV')OPCION='3' IF(OPCION.EQ.'3')CALL INESV IF(OPCION.EQ.'FLEXS')OPCION='4' IF(OPCION.EQ.'4')CALL GENFLEX(OPCION) IF(OPCION.EQ.'RIGID')OPCION='5' IF(OPCION.EQ.'5')CALL GENRIGS IF(OPCION.EQ.'6'.OR.OPCION.EQ.'DOS')THEN WRITE(*,*) WRITE(*,12) 12 FORMAT(' POR FAVOR TECLE EL COMANDO',/(EJ.: DIR *.PLC): ') </pre>	<pre> PAUSE ELSE ENDIF IF(OPCION.EQ.'0'.OR.OPCION.EQ.'SALIR')THEN WRITE(*,30) 30 FORMAT(////////////////////) GOTO 9999 ELSE ENDIF PAUSE GOTO 1 C***** TERMINA PROGRAMA PRINCIPAL ***** 9998 CLOSE (5) GOTO 1 9999 END SUBROUTINE INFLUE(OPCION) INTEGER CASO CHARACTER F2*8,ATPC*14,INF*14,AD*14,AA*14,OPCION*6,AESP*1 4 WRITE(*,8850) WRITE(*,8026) 8850 FORMAT(/// -HOLA!, +/ EL ARCHIVO DE DATOS DE LAS PLACAS DEBE TENER POR FUERZA LA') 8026 FORMAT(' EXTENSION ".PLC"') 8830 WRITE(*,8020) 8020 FORMAT(/10X,' NOMBRE DEL ARCHIVO DE DATOS',/10X, +' (no teclee la extension ".PLC" ya que el programa se la agrega)') + /10X,' (e.j. B:XYZ) --> \') READ(*,8800,ERR=8830)F2 </pre>
--	---

```

8800 FORMAT(A8)                                WRITE(*,1021)INF,ATPC,AESP
        IF(F2.EQ.'CANCEL')GOTO 9998            1021 FORMAT(////////////////////
                CASO=1                          +' SE GENERARAN LOS SIGUIENTES ARCHIVOS
        CALL                                     ',//
GENARCHI(ATPC,INF,AD,AA,F2,AESP,CASO)          +' DE INFLUENCIAS      : ',A14/
        CALL GENINFLU(ATPC,INF,AD,AESP)         +' DE AREAS Y CENTROIDES : ',A14/
        OPCION=EMA'                             +' DE ESPESORES DE LOS ESTRATOS : ',A14/)
9998 RETURN                                     ELSE
        END                                     WRITE(*,1050)INF,ATPC,AESP
                                                1050 FORMAT(////////////////////
                                                +' SE EMPLEARAN LOS SIGUIENTES ARCHIVOS
SUBROUTINE                                       ',//
GENARCHI(ATPC,INF,AD,AA,F2,AESP,CASO)          +' DE INFLUENCIAS      : ',A14,/
C                                                +' DE AREAS Y CENTROIDES : ',A14,/
C SE DA NOMBRE A LOS ARCHIVOS                  +' DE ESPESORES DE LOS ESTRATOS : ',A14,/)
C
        INTEGER CASO                             ENDIF
        CHARACTER                                8860 FORMAT(A8)
F2*8,INF*14,ATPC*14,AD*14,AA*14,AESP*14        PAUSE
        VAR=8                                     RETURN
        AD  ='      .PLC'
        INF ='      .INF'
        ATPC='      .ATP'
        AA  ='      .MOD'
        AESP='      .ESP'
        WRITE(AD(1:VAR),8860)F2
        WRITE(*,1124)AD
1124  FORMAT(/,' EL ARCHIVO DE DATOS ES :
',A14/)
        PAUSE
        WRITE(INF(1:VAR),8860) F2
        WRITE(ATPC(1:VAR),8860)F2
        WRITE(AA(1:VAR),8860)F2
        WRITE(AESP(1:VAR),8860)F2
        IF(CASO.EQ.1)THEN
                                                SUBROUTINE GENINFLU(ATPC,INF,AD,AESP)
C ***** SE GENERAN LAS INFLUENCIAS DE LAS
PLACAS *****
        CHARACTER                                8860 FORMAT(A8)
INF*14,TITLE*72,ATPC*14,AD*14,AESP*14        PAUSE
        CHARACTER SOBRE*2
        DIMENSION NODO(1000,1000)
        DIMENSION
        XN(1000),YN(1000),XI(1000,1000),YI(1000,1000)
        DIMENSION
        XJP(1001),YJP(1001),XP(1000),YP(1000)
        DIMENSION RHO(25),AKP(25),RNU(25),HEF(25)

```

```

DIMENSION NVERT(1000)
DIMENSION
ZP(25),SZ(1250,25),ZE(25),ZPLC(1000),ZEP(1000,26)
DIMENSION NUR(1000),AREA(1000)
GOTO 7
8830 WRITE(*,*)' ERROR: NO EXISTE O ESTA MAL
DECLARADO
+ EL ARCHIVO DE DATOS DE LAS PLACAS'
1 WRITE(*,8025)
8025 FORMAT(/10X,' NOMBRE ARCHIVO DE PLACAS
(no teclee la ext.".PLC")/
+ 10X,' (e.j. B:XYZ) --> \)
READ(*,8800,ERR=8830)F2
8800 FORMAT(A8)
AD=' .PLC'
WRITE(AD(1:8),8800)F2
7
OPEN(2,FILE=AD,STATUS='OLD',ACCESS='SEQUENT
IAL',ERR=8830)
6 OPEN(3,FILE=INF
,STATUS='NEW',ACCESS='SEQUENTIAL',ERR=2)
5
OPEN(4,FILE=ATPC,STATUS='NEW',ACCESS='SEQU
ENTIAL',ERR=1102)
1100
OPEN(5,FILE=AESP,STATUS='NEW',ACCESS='SEQU
ENTIAL',ERR=3)
GOTO 4
C ERROR EN EL ARCHIVO DE INFLUENCIAS
2 WRITE(*,*)' ADVERTENCIA: EL ARCHIVO DE
INFLUENCIAS YA EXISTE'
WRITE(*,402)
402 FORMAT(14X,' DESEA SOBRESCRIBIRLO?
[S]=SI ',)
READ(*,43)SOBRE
43 FORMAT(A2)
IF(SOBRE.EQ.'S'.OR.SOBRE.EQ.'S')THEN
OPEN(3,FILE=INF
,STATUS='OLD',ACCESS='SEQUENTIAL',ERR=2)
WRITE(*,*)
GOTO 5
ELSE
1104 WRITE(*,8026)
8026 FORMAT(/10X,' SALVAR INFLUENCIAS COMO
(no teclee la extensión")/
+ 10X,' (e.j. B:XYZ) --> \)
READ(*,8800,ERR=1104)F2
INF=' .INF'
WRITE(INF(1:8),8800)F2
GOTO 6
ENDIF
C ERROR EN EL ARCHIVO DE AREAS
TRIBUTARIAS
1102 WRITE(*,*)' ADVERTENCIA: EL ARCHIVO
AREAS Y CENTR. YA EXISTE'
WRITE(*,402)
READ(*,43)SOBRE
IF(SOBRE.EQ.'S'.OR.SOBRE.EQ.'S')THEN
OPEN(4,FILE=ATPC,STATUS='OLD',ACCESS='SEQUE
NTIAL',ERR=1102)
WRITE(*,1122)
1122 FORMAT(/)
GOTO 1100
ELSE
1106 WRITE(*,8029)
8029 FORMAT(/10X,' SALVAR AREA-CENT. COMO
(no teclee la ext. ".ATP")/
+ 10X,' (e.j. B:XYZ) --> \)
READ(*,8800,ERR=1106)F2
ATPC=' .ATP'
WRITE(ATPC(1:8),8800)F2

```

```

GOTO 5                                WRITE(5,1040)TITLE

ENDIF                                  1040 FORMAT (A72)

C   ERROR EN EL ARCHIVO DE ESPESORES DE LOS ESTRATOS
C   *****

      3 WRITE(*,*) ADVERTENCIA: EL ARCHIVO
      ESPESORES-EST. YA EXISTE'

      WRITE(*,402)

      READ(*,43)SOBRE

      IF(SOBRE.EQ.'S'.OR.SOBRE.EQ.'s')THEN

OPEN(5,FILE=AESP,STATUS='OLD',ACCESS='SEQUEN
TIAL',ERR=3)

      GOTO 4

      ELSE

1108 WRITE(*,1112)

1112 FORMAT(/10X,' SALVAR ESP-EST. COMO (no
teclea la ext. ".ESP")/

+      10X,' (e.j. B:XYZ) --> \)

      READ(*,8800,ERR=1108)F2

      AESP=' .ESP'

      WRITE(AESP(1:8),8800)F2

      GOTO 1100

      ENDIF

C   APERTURA FISICA DE ARCHIVOS

4 REWIND (2)

      REWIND (3)

      REWIND (4)

          REWIND (5)

C   *****

C   LECTURA E IMPRESION DEL TITULO

C   *****

      READ(2,1040,ERR=9999,END=9999)TITLE

      WRITE(3,1040)TITLE

C   *****

C   LECTURA E IMPRESION DE LAS
COORDENADAS DE LAS PLACAS

C   TRIANGULARES O TRAPEZOIDALES (ANG.INTS
NO > 180 GRADOS)

C   *****

      READ (2,*)NNOD,NDOV

      WRITE(*,2019)NDOV,NNOD

2019 FORMAT(/' NUMERO DE PLACAS : ',I4,'
NUMERO DE NODOS : ',I4/)

      PAUSE

      WRITE(3,2018)NDOV

2018 FORMAT(2I5)

      DO 1020 I=1,NNOD

1020 READ(2,*)XN(I),YN(I)

2032 FORMAT(2F10.6)

      DO 10 I=1,NDOV

      READ(2,*)NVERT(I),NUR(I)

10 READ(2,*)(NODO(I,J),J=1,NVERT(I))

2028 FORMAT(16I5)

      DO 1024 I=1,NDOV

      DO 1028 J=1,NVERT(I)

          XI(I,J)=XN(NODO(I,J))

1028 YI(I,J)=YN(NODO(I,J))

1024 CONTINUE

C   *****

C   CALCULO DEL AREA Y UBICACION DEL
RESORTE EN CADA PLACA

C   *****

```

```

DO 20 I=1,NDOV
AREA(I)=0.0
WRITE(*,2026)I,NVERT(I),(XI(I,J),YI(I,J),J=1,NVERT(I))
2026 FORMAT(' DOV.: ',I3,' NUM.VERTS: ',I3,'
VERTS.:',/32F10.2)
C
XMO=0.0
YMO=0.0
ATR=0.0
WRITE(*,*)NVERT(I)
DO 1052 IA=2,NVERT(I)
XJP(IA)=XI(I,IA)-XI(I,1)
YJP(IA)=YI(I,IA)-YI(I,1)
1052 CONTINUE
DO 1054 IA=2,NVERT(I)-1
ATR=(XJP(IA)*YJP(IA+1)-XJP(IA+1)*YJP(IA))/2
AREA(I)=AREA(I)+ATR
1054 CONTINUE
IF(NUR(I).EQ.0)THEN
DO 1056 IA=2,NVERT(I)-1
XAM=(XI(I,IA)+XI(I,IA+1))/2
YAM=(YI(I,IA)+YI(I,IA+1))/2
XAR=(XI(I,1)+2*XAM)/3
YAR=(YI(I,1)+2*YAM)/3
XMO=XAR*ATR+XMO
YMO=YAR*ATR+YMO
1056 CONTINUE
XP(I)=XMO/AREA(I)
YP(I)=YMO/AREA(I)
ELSE
ENDIF
IF(NUR(I).GT.0)THEN
XP(I)=XN(NUR(I))
YP(I)=YN(NUR(I))
ELSE
ENDIF
WRITE(*,2926)AREA(I),XP(I),YP(I)
2926 FORMAT(' AREA: ',F10.4,' P.RESORTE: ',2F10.4)
20 CONTINUE
WRITE(4,3035)
3035 FORMAT('AREAS DE LAS PLACAS Y POSICIÓN
DE LOS RESORTES')
DO 3038 I = 1, NDOV
WRITE(4,3037)AREA(I), XP(I), YP(I)
3038 CONTINUE
3037 FORMAT(3E20.12)
CLOSE (4)
C
*****
C CALCULO DE INFLUENCIAS
C
*****
READ(2,*)NZON,CHI
WRITE(*,24)NZON
24 FORMAT(' NUMERO DE ZONAS DE
COMPRESIBILIDAD: ',I4)
V1=1.5
V2=2.0
V3=3.0
V4=4.0
IF(CHI.EQ.V1.OR.CHI.EQ.V2.OR.CHI.EQ.V3.OR.CHI.E
Q.V4)GOTO 30
WRITE(*,1000)
1000 FORMAT(' ADVERTENCIA:',

```



```

+/ FACTOR DE DISTRIBUCION DE ESFUERZOS
MAL DECLARADO',/)
WRITE(*,*) SE TOMARA EL:
CHI=2.0
30 WRITE(*,26)CHI
26 FORMAT(' FACTOR DE DISTRIBUCION DE
ESFUERZOS (X): ',F4.1)
IF(CHI.EQ.V1)WRITE(*,426)
426 FORMAT(' (Weestergard)')
IF(CHI.EQ.V2)WRITE(*,526)
526 FORMAT(' (Fr"lich (X=2))')
IF(CHI.EQ.V3)WRITE(*,626)
626 FORMAT(' (Boussinesq)')
IF(CHI.EQ.V4)WRITE(*,726)
726 FORMAT(' (Fr"lich (X=4))')
PAUSE
NEM=0
NPLCI=1
DO 1073 I=1,NZON
READ(2,*)NPLCF,ZPL,NE,(ZE(I2+1),I2=1,NE)
WRITE(*,*)'LA PROFUNDIDAD DE LAS
PLACAS EN LA ZONA',I,' ES:',ZPL
ZE(1)=ZPL
DO 1074 J=NPLCI,NPLCF
ZPLC(J)=ZPL
DO 1076 I2=1,NE+1
ZEP(J,I2)=ZE(I2)
1076 CONTINUE
1074 CONTINUE
NPLCI=NPLCF+1
IF(NEM.LE.NE)THEN
NEM=NE
ELSE
ENDIF
1073 CONTINUE
WRITE(*,1122)
PAUSE
NE=NEM
WRITE(3,101)NE
101 FORMAT(I5,F10.1)
IF(CHI.GT.1.5)GOTO 103
READ(2,*)(RNU(NN),NN=1,NE)
2020 FORMAT(5X,10F10.3)
DO 34 NN=1,NE
AKP(NN)=SQRT((1-2*RNU(NN))/(2*(1-RNU(NN))))
34 CONTINUE
C 103 CLOSE(2)
103 NC=NDOV
Q=1.0
C *****
C COMIENZA EL CALCULO
C *****
DO 44 IP=1,NDOV
WRITE(*,2024)IP
2024 FORMAT(' CALCULANDO LAS INFLUENCIAS DE
LA PLACA: ',I3)
C
C INFLUENCIAS EN LOS CENTROIDES
C
NV=NVERT(IP)
C CALCULO DE ESPESORES DE LOS
ESTRATOS Y CENTROS DE CADA ESTRATO

```

```

WRITE (5,1110)IP                                HEF(I)=0.0
1110 FORMAT(1X,                                  ZP(I)=1000
+ ESPEORES DE LOS ESTRATOS DESDE LA           ELSE
PROFUNDIDAD DE LA PLACA:',I5)                 ENDIF
DO 12 K=1,NDOV                                  1077 CONTINUE

DO 1077 I=1,NE
CERO=0.0                                         WRITE(5,2042)(HEF(I),I=1,NE)

IF(ZPLC(IP).LE.ZEP(K,I))THEN
HEF(I)=ZEP(K,I+1)-ZEP(K,I)                       CALL
ZP(I)=(ZEP(K,I+1)+ZEP(K,I))/2-ZPLC(IP)          ESFUMAS(IP,K,Q,NV,0,XI,YI,XP,YP,ZP,CHI,SZ,RHO,A
KP,NE)

IF(HEF(I).LT.CERO)THEN                          12 CONTINUE
WRITE(*,*)'ERROR LA PROFUNDIDAD
INFERIOR NO PUEDE SE MENOR
+A LA PROFUNDIDAD
SUPERIOR',ZEP(K,I),ZEP(K,I+1)
WRITE(*,1122)
PAUSE
GOTO 9999
ELSE
ENDIF

ELSE
ENDIF

IF(ZPLC(IP).GT.ZEP(K,I).AND.ZPLC(IP).LT.Z
EP(K,I+1))THEN
HEF(I)=ZEP(K,I+1)-ZPLC(IP)
ZP(I)=HEF(I)/2
ELSE
ENDIF

IF(ZPLC(IP).GE.ZEP(K,I+1))THEN

```

	IF(C.LT.0)ALFA=3.1415927+ATAN(ABS(F)/C)
SUBROUTINE	ELE=SQRT((XJP(I+1)-XJP(I))**2+(YJP(I+1)-
ESFUMAS(N,K,Q,NV,NA,XI,YI,XP,YP,ZP,CHI,SZ,RHO,	YJP(I))**2)
AKP,NE)	H=RHO(I)*RHO(I+1)*SIN(ALFA)/ELE
C **** ESFUERZOS EN LA MASA DE SUELO	IF(RHO(I),LE.RHO(I+1))GOTO 66

C **** PRODUCIDOS POR UNA SOLA PLACA EN UN	RM1=RHO(I+1)
SOLO PUNTO ****	RM2=RHO(I)
C **** EN "NE" PROFUNDIDADES	GOTO 48
DIMENSION	
XI(1000,25),YI(1000,25),XP(1000),YP(1000)	66 RM1=RHO(I)
DIMENSION XJP(26),YJP(26)	RM2=RHO(I+1)
DIMENSION RHO(25),AKP(25)	48 D=RM1-RM2*COS(ALFA)
DIMENSION ZP(25),SZ(1250,25),SZP(25)	IF(D.EQ.0)SP=0
DIMENSION AUX(1000)	IF(D.GT.0)SP=1
DO 42 II=1,NV	IF(D.LT.0)SP=-1
XJP(II)=XI(N,II)-XP(K)	IF(H.EQ.RM1)Q1=1
YJP(II)=YI(N,II)-YP(K)	IF(H.GT.0.AND.RM1.GT.0)Q1=RM1/H
IF(II.EQ.NV)XJP(II+1)=XJP(1)	IF(H.EQ.0.AND.RM1.GT.0)Q1=99999
IF(II.EQ.NV)YJP(II+1)=YJP(1)	IF(Q1.LT.1.0)Q1=1.0000000001
RHO(II)=SQRT(XJP(II)**2+YJP(II)**2)	IF(H.EQ.0)Q2=99999
IF(II.EQ.NV)RHO(II+1)=RHO(1)	IF(H.GT.0)Q2=RM2/H
42 CONTINUE	IF(Q2.LT.1.0)Q2=1.0000000001
DO 44 J=1,NE	DO 50 J=1,NE
AUX(J)=0.0	IF(H.GT.0)A=ZP(J)/H
44 CONTINUE	IF(H.EQ.0)A=99999
DO 46 I=1,NV	R1=RM1/ZP(J)
F=XJP(I)*YJP(I+1)-XJP(I+1)*YJP(I)	R2=RM2/ZP(J)
IF(F.EQ.0)S=0	IF(CHI.EQ.1.5)GOTO 52
IF(F.LT.0)S=-1	IF(CHI.EQ.2.0)GOTO 54
IF(F.GT.0)S=1	IF(CHI.EQ.4.0)GOTO 56
C=XJP(I)*XJP(I+1)+YJP(I)*YJP(I+1)	C
IF(C.EQ.0)ALFA=3.1415927/2	C BOUSSINESQ
IF(C.GT.0)ALFA=ATAN(ABS(F)/C)	C

```

C  WRITE(*,*)' VOY POR BOUSSINESQ',' R1=',R1,'
R2=',R2,' A=',A
C  WRITE(*,*)' Q1>1=',Q1,' Q2>1=',Q2
      B1=SQRT((Q1**2-1)/(R1**2+1))
      B2=SQRT((Q2**2-1)/(R2**2+1))
      SZP(J)=S*(ALFA-SP*ATAN(B1)-
ATAN(B2)+(SP*B1+B2)/(A**2+1))
      SZ(K+NA,J)=SZP(J)+AUX(J)
      AUX(J)=SZ(K+NA,J)
C  WRITE(*,*)' SALGO DE BOUSSINESQ'
C  PAUSE
      GOTO 50
C
C  WEESTERGARD
C
52 W1=AKP(J)*SQRT((Q1**2-1)/(R1**2+AKP(J)**2))
      W2=AKP(J)*SQRT((Q2**2-1)/(R2**2+AKP(J)**2))
      SZP(J)=S*(ALFA-SP*ATAN(W1)-ATAN(W2))
      SZ(K+NA,J)=SZP(J)+AUX(J)
      AUX(J)=SZ(K+NA,J)
      GOTO 50
C
C  FROLICH X=2
C
54 E1=SQRT(Q1**2-1)/SQRT(A**2+1)
      E2=SQRT(Q2**2-1)/SQRT(A**2+1)
      SZP(J)=S/SQRT(A**2+1)*(SP*ATAN(E1)+ATAN(E2))
      SZ(K+NA,J)=SZP(J)+AUX(J)
      AUX(J)=SZ(K+NA,J)
      GOTO 50
C
C  FROLICH X=4
C
56 CTE=(3*A**2+2)/SQRT(A**2+1)
      G1=CTE*ATAN(SQRT((Q1**2-
1)/(A**2+1)))+SQRT(Q1**2-1)/(R1**2+1)
      G2=CTE*ATAN(SQRT((Q2**2-
1)/(A**2+1)))+SQRT(Q2**2-1)/(R2**2+1)
      SZP(J)=S/(A**2+1)*(SP*G1+G2)/2
      SZ(K+NA,J)=SZP(J)+AUX(J)
      AUX(J)=SZ(K+NA,J)
C
50 CONTINUE
46 CONTINUE
      DO 58 I=1,NE
          SZ(K+NA,I)=SZ(K+NA,I)/6.2831853*Q
          IF(SZ(K+NA,I).LE.0.0.AND.SZ(K+NA,I).GE.-
0.0001)THEN
              SZ(K+NA,I)=0.0
          ELSE
              ENDF
          IF(SZ(K+NA,I).LT.-0.0001)WRITE(*,*)
          +' ADVERTENCIA ESF. NEGATIVOS "REVISE
ARCHIVO DE ESFS. O INF."'
          IF(SZ(K+NA,I).LT.-0.0001)PAUSE
58 CONTINUE
      RETURN
C *** FIN DE LA SUBROUTINA DE ESFUERZOS EN LA
MASA DE SUELO *****
      END
      SUBROUTINE GENFLEX(OPCION)
          INTEGER CASO
          CHARACTER
F2*8,ATPC*14,INF*14,AD*14,AA*14,OPCION*6,AESP*1
4
          WRITE(*,8850)
          WRITE(*,8026)

```

```

8850 FORMAT(///' -HOLA!',
+/' EL ARCHIVO DE DATOS DE LOS MODULOS
DEBE TENER LA')

8026 FORMAT(' EXTENSION ".MOD" ')

8830 WRITE(*,8020)

8020 FORMAT(/10X,' NOMBRE DEL ARCHIVO DE
MODULOS (no teclee
+ la extensión ".MOD" ya que el programa se la
agrega)'/
+ 10X,' (e.j. B:XYZ) --> \)

READ(*,8800,ERR=8830)F2

8800 FORMAT(A8)

IF(F2.EQ.'CANCEL')GOTO 9998

        CASO=2

        CALL
GENARCHI(ATPC,INF,AD,AA,F2,AESP,CASO)

        CALL GENFLEXS(INF,AA,F2,AESP)

        OPCION='EMA'

9998 RETURN

        END

        SUBROUTINE GENFLEXS(AI,AA,F2,AESP)

        CHARACTER AA*14,AI*14,TITLE*72

        CHARACTER F2*8,AREL*14,SOBRE*2,AESP*14

        DIMENSION SZT(25)

        DIMENSION DT(25,1001)

        DIMENSION ALF(1000),NALF(1000,25),EEF(25)

        DIMENSION
ALFE(1000,25),NGALF(1000,25),NUDG(1000)

        GOTO 2

8830 WRITE(*,*)'ERROR: NO EXISTE O ESTA MAL
DECLARADO

+ EL ARCHIVO DE DATOS DE MODULOS DE
COMP.'

8032 WRITE(*,8025)

8025 FORMAT(/10X,' NOMBRE DEL ARCHIVO DE
MODULOS'/10X,
+ '(no teclee la extensión ".MOD" ya que el programa
se la agrega)'/
+ 10X,' (e.j. B:XYZ) --> \)

READ(*,8800,ERR=8032)F2

8800 FORMAT(A8)

AA=' .MOD'

WRITE(AA(1:8),8800)F2

2
OPEN(2,FILE=AA,STATUS='OLD',ACCESS='SEQUENT
IAL',ERR=8830)

5
OPEN(3,FILE=AI,STATUS='OLD',ACCESS='SEQUENTI
AL',ERR=1)

GOTO 3

1 WRITE(*,4)

4 FORMAT(/' ERROR: NO EXISTE O ESTA MAL
DECLARADO')

WRITE(*,*)' EL ARCHIVO DE DATOS DE
INFLUENCIAS'

8034 WRITE(*,8045)

8045 FORMAT(/10X,' NOMBRE DEL ARCHIVO DE
INFLUENCIAS
+ (no teclee la extensión ".INF")'/
+ 10X,' (e.j. B:XYZ) --> \)

READ(*,8800,ERR=8034)F2

AI=' .INF'

WRITE(AA(1:8),8800)F2

GOTO 3

1102 WRITE(*,4)

WRITE(*,*)' EL ARCHIVO DE DATOS DE
ESPESORES DE LOS ESTRATOS'

8038 WRITE(*,8036)

8036 FORMAT(/10X,' NOMBRE DEL ARCHIVO DE
ESPESORES DE LOS ESTRATOS

```

```

+ (no teclee la extensión ".ESP")/                                1032 CONTINUE
+      10X,' (e.j. B:XYZ) --> \)
READ(*,8800,ERR=8038)F2                                         IF(IALFA.EQ.1) THEN
AESP='      .ESP'                                               DO 1027 KALFA=1,NUDG(IALFA)
WRITE(AESP(1:8),8800)F2                                          IF(KALFA.EQ.NUDG(IALFA))GOTO 1027
C  EL ARCHIVO DE INFLUENCIAS SE ABRE Y                           DO 1028 KALFE=1,NE
CIERRA POR EL NUMERO DE ETAPAS
3 REWIND(3)                                                      NALF(NUDG(IALFA)-
                                                                    KALFA,KALFE)=NGALF(IALFA,KALFE)
READ(3,2000)TITLE                                               1028 CONTINUE
READ(3,*)NDOV                                                    1027 CONTINUE
READ(3,*)NE                                                       ELSE
CLOSE(3)                                                          ENDIF

C                                                                    IF(IALFA.GT.1) THEN
*****
C  LECTURA DE MODULOS                                           DO 1025 KALFA=1,NUDG(IALFA)-NUDG(IALFA-1)
                                                                    IF(KALFA.EQ.NUDG(IALFA)-NUDG(IALFA-1))GOTO
C                                                                    1025
*****
READ(2,*)NGRUP,NALFAS,NETPS                                       DO 1026 KALFE=1,NE
                                                                    NALF(NUDG(IALFA)-
                                                                    KALFA,KALFE)=NGALF(IALFA,KALFE)
WRITE(*,*) 'NUMERO DE ESTRATOS                                    1026 CONTINUE
: ',NE                                                            1025 CONTINUE
WRITE(*,*) 'NUMERO DE ZONAS CON
DIFERENTES PROP. : ',NGRUP                                       ELSE
                                                                    ENDIF
WRITE(*,*) 'NUMERO MODULOS QUE SE VAN A
DEFINIR : ',NALFAS
WRITE(*,*) 'NUMERO DE ANÁLISIS QUE SE VAN A
REALIR: ',NETPS                                                  1021 CONTINUE
PAUSE
                                                                    CONTR=1
DO 1021 IALFA=1,NGRUP                                             DO 1030 IPALFA=1,NDOV
READ(2,*)NUDG(IALFA),(NGALF(IALFA,I),I=1,NE)
                                                                    WRITE(*,1023)IPALFA,(NALF(IPALFA,IEST),IEST=1,NE
                                                                    )
DO 1032 IALFE=1,NE                                               1023 FORMAT(15I5)
NALF(NUDG(IALFA),IALFE)=NGALF(IALFA,IALFE)                       IF(IPALFA.EQ.20*CONTR)PAUSE

```

```

IF(IPALFA.EQ.20*CONTR)CONTR=CONTR+1          +EXISTE')
1030 CONTINUE                                  WRITE(*,35)
PAUSE                                          35 FORMAT(13X,' DESEA SOBRESCRIBIRLO?
[S]=SI ',\))
IF(NETPS.GT.1)WRITE(*,126)                   READ(*,15)SOBRE
IF(NETPS.EQ.1)WRITE(*,127)                   15 FORMAT(A2)
126 FORMAT(/' LAS MATRICES DE FLEXIBILIDADES  IF(SOBRE.EQ.'S'.OR.SOBRE.EQ.'s')THEN
DEL SUELO SE SALVARAN EN
+LOS SIGUIENTES ARCHIVOS: '/')
127 FORMAT(/////////' LA MATRIZ DE FLEXIBILIDAD  OPEN(IETA,FILE=AREL,STATUS='OLD',ACCESS='SE
DEL SUELO SE SALVARA                               QUENTIAL',ERR=8830)
+ EN EL SIGUIENTE ARCHIVO: '/')
DO 8810 IETA=6,NETPS+5
IF(IETA.EQ.6) AREL=' .FS1'                   + 10X,' (e.j. B:XYZ) --> \))
IF(IETA.EQ.7) AREL=' .FS2'                   READ(*,8800,ERR=8830)F2
IF(IETA.EQ.8) AREL=' .FS3'                   AREL=' .FS1'
IF(IETA.EQ.9) AREL=' .FS4'                   WRITE(AREL(1:8),8800)F2
IF(IETA.EQ.10)AREL=' .FS5'                   GOTO 8
IF(IETA.EQ.11)AREL=' .FS6'                   ENDIF
IF(IETA.EQ.12)AREL=' .FS7'                   7 REWIND(IETA)
IF(IETA.EQ.13)AREL=' .FS8'                   8810 CONTINUE
IF(IETA.EQ.14)AREL=' .FS9'                   DO 1012 IETP=6,NETPS+5
IF(IETA.EQ.15)AREL=' .FSX'                   WRITE(*,226)IETP-5
WRITE(AREL(1:8),8860)F2                       226 FORMAT(/' ETAPA: ',I3,/' MODULOS: ')
WRITE(*,*) 'AREL
8860 FORMAT(A8)
8
OPEN(IETA,FILE=AREL,STATUS='NEW',ACCESS=SE  OPEN(3,FILE=AI,STATUS='OLD',ACCESS='SEQUENTI
QUENTIAL',ERR=6)                                AL')
GOTO 7
6 WRITE(*,25)
25 FORMAT(/' ADVERTENCIA: EL ARCHIVO DE  OPEN(5,FILE=AESP,STATUS='OLD',ACCES
FLEXIBILIDADES DEL SUELO YA                     S='SEQUENTIAL')
REWIND(3)
REWIND(5)
READ(2,*)(ALF(I),I=1,NALFAS)
WRITE(*,326)(ALF(I),I=1,NALFAS)

```

<pre> 326 FORMAT(8F10.6) PAUSE READ(5,2000) READ(3,2000)TITLE 2000 FORMAT(1X,A72) WRITE(IETP,2000)TITLE READ(3,*)NDOV WRITE(IETP,2018)NDOV 2018 FORMAT(2I5) READ(3,*)NE 101 FORMAT(I5,F10.1) CONTR=1 DO 3000 I=1,NDOV DO 1022 JALFA=1,NE C DO 1053 III=1,NALFAS IF(NALF(I,JALFA).EQ.III)ALFE(I,JALFA)=ALF(III) 1053 CONTINUE C WRITE(*,1033)I,JALFA,ALFE(I,JALFA) 1033 FORMAT(' PLACA: ',I5,' ESTRATO: ',I5,' MODULO= ',F10.6) 1022 CONTINUE IF(I.GT.20*CONTR/NE)PAUSE IF(I.GT.20*CONTR/NE)CONTR=CONTR+1 READ(3,3020) 3020 FORMAT(//) READ(5,2000) </pre>	<pre> DO 3030 K=1,NDOV READ(3,*)(SZT(IE),IE=1,NE) READ(5,*)(EEF(IE),IE=1,NE) 2042 FORMAT(10E20.12) AUXIL=0.0 C DO 3040 IE=1,NE DT(I,K)=SZT(IE)*ALFE(I,IE)*EEF(IE)+AUXIL AUXIL=DT(I,K) 3040 CONTINUE C 3030 CONTINUE 3000 CONTINUE DO 3050 I=1,NDOV 3050 WRITE(IETP,2042)(DT(K,I),K=1,NDOV) CLOSE(3) CLOSE(5) CLOSE(IETP) 1012 CONTINUE CLOSE(2) PAUSE WRITE(*,9990) 9990 FORMAT('/ ** TERMINO LA GENERACION DE FLEXIBILIDADES **') 9999 RETURN END SUBROUTINE INESV CHARACTER AQ*14,AI*14,TITLE*72 CHARACTER F2*8,AREL*14,SOBRE*2 DIMENSION SZT(25) DIMENSION AUX(1000),AUX2(1000,1000),DT(1000,1000) </pre>
--	--


```

WRITE(*,7074)
7074 FORMAT(' NOMBRE DEL GRUPO DE
ARCHIVOS, SIN TECLEAR SU EXTENSION',/
+ ' [EJ. XXX <Ù]: \')
READ(*,8800)F2
AQ=' .CGS'
WRITE(AQ(1:8),8800)F2
AI=' .INF'
WRITE(AI(1:8),8800)F2
GOTO 2
8830 WRITE(*,*)ERROR: NO EXISTE O ESTA MAL
DECLARADO EL ARCHIVO DE DAT
+OS DE CARGAS'
WRITE(*,8025)
8025 FORMAT(/10X,' NOMBRE DEL ARCHIVO DE
CARGAS(no teclee el ".CGS")'/
+ 10X,' (e.j. B:XYZ) --> \')
READ(*,8800,ERR=8830)F3
8800 FORMAT(A8)
AQ=' .CGS'
WRITE(AQ(1:8),8800)F3
2
OPEN(2,FILE=AQ,STATUS='OLD',ACCESS='SEQUEN
TIAL',ERR=8830)
5
OPEN(3,FILE=AI,STATUS='OLD',ACCESS='SEQUENTI
AL',ERR=1)
GOTO 3
1 WRITE(*,4)
4 FORMAT(/' ERROR: NO EXISTE O ESTA MAL
DECLARADO')
WRITE(*,*)' EL ARCHIVO DE DATOS DE
INFLUENCIAS'
WRITE(*,8045)
8045 FORMAT(/10X,' NOMBRE DEL ARCHIVO DE
INFLS(no teclee el ".INF")'/
+ 10X,' (e.j. B:XYZ) --> \')
READ(*,8800,ERR=8830)F3
AI=' .INF'
WRITE(AI(1:8),8800)F3
GOTO 5
3 REWIND(3)
READ(3,2000)TITLE
READ(3,*)NDOV
READ(3,*)NE
CLOSE(3)
C
*****
C LECTURA DE CARGAS
C
*****
DO 1021 IQ=1,NDOV
READ(2,*)AUX(IQ)
1021 CONTINUE
WRITE(*,127)
127 FORMAT(/'////////// LA MATRIZ DE INCREMENTOS
DE ESFUERZO SE SALVAR
+A EN EL SIGUIENTE ARCHIVO: '/')
AREL=' .INC'
WRITE(AREL(1:8),8860)F2
WRITE(*,*)AREL
8860 FORMAT(A8)
8
OPEN(15,FILE=AREL,STATUS='NEW',ACCESS='SEQ
UENTIAL',ERR=6)
GOTO 7
6 WRITE(*,25)
25 FORMAT(/' ADVERTENCIA: EL ARCHIVO DE
INCREMENTOS DE ESFUERZO YA EX
+ISTE')
WRITE(*,35)
35 FORMAT(13X,' DESEA SOBRESCRIBIRLO?

```

```

[S]=SI ',)
    READ(*,15)SOBRE
15 FORMAT(A2)
    IF(SOBRE.EQ.'S'.OR.SOBRE.EQ.'s')THEN
OPEN(15,FILE=AREL,STATUS='OLD',ACCESS='SEQU
ENTIAL',ERR=8830)
    GOTO 7
    ELSE
    WRITE(*,8055)
8055 FORMAT(/10X,' NOMBRE DEL ARCHIVO DE
INCRE(no teclee el ".FS1")/
+    10X,' (e.j. B:XYZ) --> \)
    READ(*,8800,ERR=8830)F2
    AREL=' .INC'
    WRITE(AREL(1:8),8800)F2
    GOTO 8
    ENDIF
7 REWIND(15)
    AI=' .INF'
    WRITE(AI(1:8),8860)F2
OPEN(3,FILE=AI,STATUS='OLD',ACCESS='SEQUENTI
AL')
    REWIND(3)
    READ(3,2000)TITLE
2000 FORMAT (1X,A72)
    WRITE(15,2000)TITLE
    READ(3,*)NDOV
2018 FORMAT(2I5)
    WRITE(15,2018)NDOV
    READ(3,*)NE
101 FORMAT(I5,F10.1)
    CONTR=1
    DO 3000 I=1,NDOV
        READ(3,3020)
3020 FORMAT(/)
        DO 3030 K=1,NDOV
            READ(3,*)(SZT(IE),IE=1,NE)
            DO 3040 IM=1,NE
                DT(K,IM)=SZT(IM)*AUX(I)+AUX2(K,IM)
3040 CONTINUE
            3030 CONTINUE
        DO 7070 K=1,NDOV
            DO 7072 IM=1,NE
                7072 AUX2(K,IM)=DT(K,IM)
            7070 CONTINUE
        3000 CONTINUE
        DO 3050 K=1,NDOV
            3050 WRITE(15,2042)(DT(K,IM),IM=1,NE)
            2042 FORMAT(10E20.12)
        CLOSE(2)
        CLOSE(3)
        CLOSE(15)
        WRITE(*,9990)
9990 FORMAT(////
+ '** TERMINO EL CALCULO DE INCREMENTOS
DE ESFUERZO **')
9999 RETURN
    END
SUBROUTINE GENRIGS
    CHARACTER F2*8,ATP*14,AFX*14,ARI*14
    VAR=8
8860 FORMAT(A8)
8830 WRITE(*,8020)

```

```

8020 FORMAT(/10X,' NOMBRE DE LA FAMILIA DE          ARI='  .KS3'
ARCHIVOS',/10X,
+ ' (no teclee la extensiones ya que el programa se las
agrega)'
+ /10X,' (e.j. B:XYZ) --> ')
READ(*,8800,ERR=8830)F2
8800 FORMAT(A8)
IF(F2.EQ.'CANCEL')GOTO 9998
ATP='  .ATP'
WRITE(ATP(1:VAR),8860)F2

830 WRITE(*,20)
20 FORMAT(/10X,' ARCHIVO DE FLEXIBILIDADES
NUMERO?: ',/10X,
+ /10X,' (ENTRE 1 y 10) --> ')
READ(*,*,ERR=830)NFX
IF(NFX.EQ.0.OR.NFX.GT.10)GOTO 9998

WRITE(*,1021)
1021 FORMAT(//' ARCHIVO DE RIGIDECES: ',//)

IF(NFX.EQ.1)THEN
  AFX='  .FS1'
  ARI='  .KS1'
ELSE
  ENDIF
IF(NFX.EQ.2)THEN
  AFX='  .FS2'
  ARI='  .KS2'
ELSE
  ENDIF
IF(NFX.EQ.3)THEN
  AFX='  .FS3'
  ARI='  .KS3'
ELSE
  ENDIF
IF(NFX.EQ.4)THEN
  AFX='  .FS4'
  ARI='  .KS4'
ELSE
  ENDIF
IF(NFX.EQ.5)THEN
  AFX='  .FS5'
  ARI='  .KS5'
ELSE
  ENDIF
IF(NFX.EQ.6)THEN
  AFX='  .FS6'
  ARI='  .KS6'
ELSE
  ENDIF
IF(NFX.EQ.7)THEN
  AFX='  .FS7'
  ARI='  .KS7'
ELSE
  ENDIF
IF(NFX.EQ.8)THEN
  AFX='  .FS8'
  ARI='  .KS8'
ELSE
  ENDIF
IF(NFX.EQ.9)THEN
  AFX='  .FS9'
  ARI='  .KS9'
ELSE
  ENDIF

```

```

ENDIF                                GOTO 1

IF(NFX.EQ.10)THEN
    AFX='      .FSX'
    ARI='      .KSX'
ELSE
    WRITE(*,1002)
ENDIF

WRITE(AFX(1:VAR),8860)F2
WRITE(ARI(1:VAR),8860)F2

WRITE(*,*) ' ARCHIVO DE FLEXIBILIDADES:
', AFX

WRITE(*,*) ' ARCHIVO DE AREAS      :', ATP
WRITE(*,*) ' ARCHIVO DE RIGIDECES  :',
ARI
PAUSE

CALL GENRIG(AFX,ATP,ARI)

WRITE(*,9990)
9990 FORMAT(////
+ ' ** TERMINO EL CALCULO DE RIGIDECES **')
9998 RETURN
END

SUBROUTINE GENRIG(AFXU,AAPR,ARIR)
C ***** SE GENERAN LAS RIGIDECES DE LOS
RESORTES *****

CHARACTER
TITLE*72,AFXU*14,AAPR*14,ARIR*14

CHARACTER F2*8,SOBRE*2

DIMENSION AREA(1000), DT(1000,1001),
A(1000,1000), B(1000,1000)

10 WRITE(*,*) ' ADVERTENCIA: EL ARCHIVO DE
RIGIDECES YA EXISTE'

WRITE(*,402)

402 FORMAT(14X,' DESEA SOBRESCRIBIRLO?
[S]=SI ',\ )

READ(*,43)SOBRE

43 FORMAT(A2)

IF(SOBRE.EQ.'s'.OR.SOBRE.EQ.'S')THEN

```

```

OPEN(3,FILE=ARIR,STATUS='OLD',ACCESS='SEQUEN
TIAL',ERR=1104)
WRITE(*,*)
GOTO 4
ELSE
    GOTO 1104
ENDIF

1104 WRITE(*,8026)
8026 FORMAT(/10X,' SALVAR RIGIDECES COMO (no
teclea la ext. ".RIG"')/
+    10X,' (e.j. B:XYZ) --> \')
READ(*,8800,ERR=1104)F2
ARIR='    .RIG'
WRITE(ARIR(1:8),8800)F2
GOTO 3

1
OPEN(1,FILE=AFXU,STATUS='OLD',ACCESS='SEQUEN
TIAL',ERR=1000)

2
OPEN(2,FILE=AAPR,STATUS='OLD',ACCESS='SEQUEN
TIAL',ERR=8830)

3
OPEN(3,FILE=ARIR,STATUS='NEW',ACCESS='SEQUEN
TIAL',ERR=10)

4 WRITE(*,*)

READ(1,2000)TITLE
WRITE(3,2000)" MATRIZ Ks"

2000 FORMAT(A72)
READ(1,*)NR
READ(2,*)
DO 100 I=1,NR

READ(2,*)AREA(I),X,Y
100 CONTINUE
DO 2010 J=1,NR
    READ(1,*)(DT(J,I),I=1,NR)
    DO 2020 I=1,NR
        A(J,I)=DT(J,I)/AREA(I)
        B(J,I)=0.0
    2020 CONTINUE
        B(J,J)=1.0
    2010 CONTINUE
DO 2030 J=1,NR
    DO 2040 I=J,NR
        IF(A(I,J).LT.0.0.OR.A(I,J).GT.0.0) THEN
            GOTO 210
        ELSE
            ENDIF
    2040 CONTINUE
    210 DO 2050 K=1,NR
        S=A(J,K)
        A(J,K)=A(I,K)
        A(I,K)=S
        S=B(J,K)
        B(J,K)=B(I,K)
        B(I,K)=S
    2050 CONTINUE
        T=1/A(J,J)
    DO 2060 K=1,NR
        A(J,K)=T*A(J,K)
        B(J,K)=T*B(J,K)
    2060 CONTINUE

```

```
DO 2070 L=1,NR
  IF(L.EQ.J) THEN
    GOTO 2070
  ELSE
    ENDIF
  T=-1*A(L,J)
  DO 2080 K=1,NR
    A(L,K)=A(L,K)+T*A(J,K)
  B(L,K)=B(L,K)+T*B(J,K)
2080 CONTINUE
2070 CONTINUE
2030 CONTINUE

WRITE(3,*) NR
DO 2090 J=1, NR
  WRITE(3,2100)(B(J,I),I=1,NR)
2100 FORMAT(10E20.12)
2090 CONTINUE

CLOSE(1)
CLOSE(2)
CLOSE(3)

9999 RETURN

END
```

LISTADO DEL PROGRAMA "EMISES3D"

```
' PROGRAMA ESCRITO EN LENGUAJE DE
PROGRAMACION QBASIC

DECLARE SUB crout (n%, A!(), B!(), H!())

DECLARE SUB gaussjor (n%, A(), y(), X())

DECLARE SUB imprime (ibarra%, iextremo%,
fuerza!())

DECLARE SUB sumavec (A!(), B!(), C!(), n%)

DECLARE SUB cholesky (n%, A!(), f!(), xkp1!())

DECLARE SUB cholesky2 (n%, A!(), f!(), d!())

DECLARE SUB detener ()

DECLARE SUB prodcruz (A!(), B!(), C!())

DECLARE SUB mulmatvec (A!(), B!(), C!(), n%)

DECLARE SUB obtkpa (xkp!(), XL!, ar!, xinerx!,
xinery!, xinerz!, elas!, g!, xj!)

DECLARE SUB obtkpab (xkp!(), XL!, ar!, xinerx!,
xinery!, xinerz!, elas!, g!, xj!)

DECLARE SUB obtkpbb (xkp!(), XL!, ar!, xinerx!,
xinery!, xinerz!, elas!, g!, xj!)

DECLARE SUB guardak (xkxx!(), ia%, ib%, xrig!())

DECLARE SUB multiplica (A!(), B!(), C!(), n%)

DECLARE SUB transpone (A!(), at!(), n%)

DECLARE SUB transforma (t!(), coalfx!, coalfy!, coalfz!,
cobetx!, cobety!, cobetz!, cogamx!, cogamy!, cogamz!)

DECLARE SUB muestramat (A!(), n%, mensaje$)

DECLARE SUB dibest3d (titulo$, nj%, nm%, xx!(),
yy!(), zz!(), js%(), je%(), ahd!, avd!, jnum$, mnum$)

DEFINT I-N

' reserva toda la memoria arriba de 640KB

'$DYNAMIC

PRINT

PRINT "----- Analisis de Marcos en 3D -----
_"

PRINT "----- Utilizando el elemento finito barra -----
_"

PRINT "----- Programa realizado por: -----
"

PRINT "----- Cesar Vazquez Lorenzana -----
----"

PRINT
```

```
PRINT "----- Modificado por: German Lopez Rincon --
-----"

PRINT "-- Para el analisis de Interaccion Suelo-
Estructura --"

PRINT

PRINT "----- Colaboradores: Carmelino Zea
Constantino -----"

PRINT "----- Rigoberto Rivera Constantino -
--"

PRINT

CALL detener

CLEAR

CLS

INPUT "Dame el subdirectorio donde estan tus
archivos"; ruta$

SHELL "dir " + ruta$ + "*.frm"

PRINT

PRINT "Archivos con extension *.frm: Datos de la
Estructura"

PRINT

INPUT "Dame el nombre de la familia de archivos";
archivo$

OPEN ruta$ + archivo$ + ".frm" FOR INPUT AS #1

PRINT "Mediante el archivo: "

bar$ = ruta$ + archivo$ + ".kso": PRINT bar$

PRINT " Se incorporara la matriz K del suelo a la K de
la estructura"

CALL detener

OPEN bar$ FOR INPUT AS #2

CLS

'

'OPEN "c:\qb\unam\trafin-1.cvl" FOR INPUT AS #1

'

' ----- si immat=1 se imprimen matrices y vectores

' ----- si immat=0 NO se imprimen matrices y vectores

immat = 0

' Datos de la estructura
```

```

'                                     DIM irx(nnud), iry(nnud), irz(nnud)

' ----- nnud = numero de nudos -----

' ----- nbar = numero de barras -----
' ----- restricciones de giro de los nudos -----

INPUT #1, titulo$
'                                     DIM irax(nnud), iray(nnud), iraz(nnud)

INPUT #1, nbar, nnud

' ----- matriz de rigidez local [k'aa],[k'ab], [k'ba], [k'bb] ----
' -----
' ----- numero de grados de libertad -----
'                                     DIM xkpaa(6, 6), xkpab(6, 6), xkpba(6, 6), xkpbb(6, 6)

ngl = 6 * nnud

' ----- matriz de rigidez global [kaa, [kab], [kba], [kbb] ----
' -----

CLS
'                                     DIM xkaa(6, 6), xkab(6, 6), xkba(6, 6), xkbb(6, 6)

PRINT
'                                     DIM t(6, 6), tt(6, 6)

PRINT "Estructura : "; titulo$
' ----- t() = matriz de transformacion [T] -----
' ----- tt() = mat. de transf. transpuesta [T]T -----

PRINT
'                                     DIM t(6, 6), tt(6, 6)

PRINT "Numero de barras="; nbar
' ----- cosenos directores -----

PRINT
'                                     DIM coalfx(nbar), coalfy(nbar), coalz(nbar)

CALL detener
' ----- no=nudo origen ; nd=nudo destino -----
'                                     DIM cobetx(nbar), cobety(nbar), cobetz(nbar)

DIM no(nbar), nd(nbar)
'                                     DIM cogamx(nbar), cogamy(nbar), cogamz(nbar)

' ----- area y longitud -----
'                                     DIM vn(3), vx(3), vy(3), vz(3)

DIM area(nbar), xlon(nbar)
' ----- vectores que definen la direccion de los ejes
' ----- locales -----
'                                     DIM n1(nbar), n2(nbar)

' ----- xinerx, xinery, xinerz ; momento de inercia x, y, z -
' -----
'                                     DIM x1(nbar), y1(nbar), z1(nbar)
'                                     DIM x2(nbar), y2(nbar), z2(nbar)

DIM xinerx(nbar), xinery(nbar), xinerz(nbar), xj(nbar)
' ----- matriz temporal y de equilibrio -----
'                                     DIM temporal(6, 6), eq(ngl)

' ----- elas=modulo elastico , g=modulo de cortante
' ----- v=relaciòn de poisson-----
' ----- matriz de rigidez global de la estructura [k] -----
'                                     DIM xrig(ngl, ngl)

' ----- coordenadas de los nudos -----
' ----- vector de fuerzas global {f} -----
'                                     DIM f(ngl), fa(6), fb(6), fln(6), fe(ngl)

DIM X(nnud), y(nnud), Z(nnud)
' ----- vector de fuerzas en locales {flnud}
'                                     DIM flnud(6), fpa(6), fpb(6), fla(6), flb(6)

' ----- restricciones de desplazamiento de los nudos -----

```



```

' ---- vector de fuerzas de empotramiento en locales          PRINT i, no(i), ; " "; nd(i)
' ---- del nudo a (origen) {fempa} y del nudo b (destino)    NEXT i
{fempb}
' ---- propiedades geometricas ----
DIM fempa(nbar, 6), fempb(nbar, 6)
CALL detener
' ----- vector de desplazamientos locales -----
CLM : ii = 5
DIM dpa(6), dpb(6), daux(6), dbaux(6)
PRINT
' ----- vector de desplazamientos globales -----
PRINT "      Propiedades Geometricas"
DIM d(ngl), da(6), db(6)
PRINT
'
'-----
'
' ---- lectura de coordenadas y restricciones al
desplazamiento y giro ----
PRINT "      area      J      ly      lz"
CLM : ii = 5
INPUT #1, area(i), xinerx(i), xinery(i), xinerz(i)
FOR i = 1 TO nbar
  xj(i) = xinerx(i)
  ii = ii + 1
  LOCATE (ii), (1): PRINT USING "###.####"; area(i)
  LOCATE (ii), (16): PRINT USING "###.####";
  xinerx(i)
  LOCATE (ii), (29): PRINT USING "###.####";
  xinery(i)
  LOCATE (ii), (42): PRINT USING "###.####";
  xinerz(i)
NEXT i
CALL detener
CLM : ii = 5
PRINT
PRINT "      Coordenadas      Restricciones"
PRINT
PRINT "nudo  x  y  z  rx  ry  rz  gx  gy
gz"
FOR i = 1 TO nnud
  INPUT #1, X(i), y(i), Z(i), irx(i), iry(i), irz(i), irax(i),
  iray(i), iraz(i)
  ii = ii + 1
  LOCATE (ii), (1): PRINT i; " "; X(i);
  LOCATE (ii), (15): PRINT y(i); " "; Z(i); " "; irx(i); "
"; iry(i); " "; irz(i); " "; irax(i); " "; iray(i); " "; iraz(i)
NEXT i
CALL detener
' ---- lectura de incidencias de las barras ----
PRINT "barra  E      v      G"
CLM
FOR i = 1 TO nbar
  INPUT #1, elas(i), v(i)
  ii = ii + 1
  LOCATE (ii), (1): PRINT i
  LOCATE (ii), (14): PRINT elas(i)
  LOCATE (ii), (30): PRINT v(i)
  g(i) = elas(i) / (2 * (1 + v(i)))
  LOCATE (ii), (40): PRINT g(i)
PRINT
PRINT "      Incidencias de las Barras"
PRINT
PRINT "barra  nudo origen  nudo destino"
FOR i = 1 TO nbar
  INPUT #1, no(i), nd(i)

```

```

NEXT i
CALL detener
' ----- Definicion de los ejes locales de la barra x', y', z'
-----
FOR i = 1 TO nbar
    INPUT #1, n1(i), n2(i), x1(i), y1(i), z1(i), x2(i), y2(i),
z2(i)
NEXT i
'
'-----
'
'----- obtencion de la longitud de las barras -----
FOR i = 1 TO nbar
    xlon(i) = SQR((X(nd(i)) - X(no(i))) ^ 2 + (y(nd(i)) -
y(no(i))) ^ 2 + (Z(nd(i)) - Z(no(i))) ^ 2)
NEXT i
' ---- definicion de los vectores {vx'}, {vy'}, {vz'} -----
' -- si n1<>0 y n2<>0
' {n1}={x1,y1,z1} ; {n2}={x2,y2,z2} nudos que definen
un vector {vn}={n2}-{n1}
' -- si n1=0 y n2=0
' {n1}={x1,y1,z1} ; {n2}={x2,y2,z2} definidos en el
plano local x'-z'
' -- si n1<>0 y n2=0
' si n1=1, z' es paralelo al eje global X
' si n1=2, z' es paralelo al eje global Y
' si n1=3, z' es paralelo al eje global Z
' -- si n1=0 y n2<>0
' {n1}={xo,yo,zo}=nudo origen de la barra
' {n2}={x2,y2,z2}=nudo final del vector
' definidos en el plano local x'-y'
FOR i = 1 TO nbar
    ' ----- vector {vx'} -----
    vx(1) = X(nd(i)) - X(no(i))
    vx(2) = y(nd(i)) - y(no(i))
    vx(3) = Z(nd(i)) - Z(no(i))
    ' ----- vector {vn} -----
    vn(1) = X(n2(i)) - X(n1(i))
    vn(2) = y(n2(i)) - y(n1(i))
    vn(3) = Z(n2(i)) - Z(n1(i))
    ' ----- vector {vy'} -----
    CALL prodcruc(vn(), vx(), vy())
    '----- obtencion del modulo de {vy'} -----
    ylon = SQR(vy(1) ^ 2 + vy(2) ^ 2 + vy(3) ^ 2)
    ' ----- vector {vz'} -----
    CALL prodcruc(vx(), vy(), vz())
    '----- obtencion del modulo de {vz'} -----
    zlon = SQR(vz(1) ^ 2 + vz(2) ^ 2 + vz(3) ^ 2)
ELSE
    IF n1(i) = 0 AND n2(i) = 0 THEN
        ' ----- vector {vn} -----
        vn(1) = x2(i) - x1(i)
        vn(2) = y2(i) - y1(i)
        vn(3) = z2(i) - z1(i)
        ' ----- vector {vy'} -----
        CALL prodcruc(vn(), vx(), vy())
        '----- obtencion del modulo de {vy'} -----
        ylon = SQR(vy(1) ^ 2 + vy(2) ^ 2 + vy(3) ^
2)
        ' ----- vector {vz'} -----
        CALL prodcruc(vx(), vy(), vz())

```

```

'----- obtencion del modulo de {vz'} -----
2) zlon = SQR(vz(1) ^ 2 + vz(2) ^ 2 + vz(3) ^ 2)

ELSE
  IF n1(i) <> 0 AND n2(i) = 0 THEN
    ' ----- vector {vz'} -----
    IF n1(i) = 1 THEN
      vz(1) = 1
      vz(2) = 0
      vz(3) = 0
    ELSE
      vz(1) = 0
      vz(2) = 1
      vz(3) = 0
    ELSE
      vz(1) = 0
      vz(2) = 0
      vz(3) = 1
    ELSE
      zlon = 1
    ' ----- obtencion del modulo de {vz'} -----
    CALL prodcruz(vz(), vx(), vy())
    '----- obtencion del modulo de {vy'} -----
    ylon = SQR(vy(1) ^ 2 + vy(2) ^ 2 + vy(3) ^ 2)
  ELSE
    ' ----- vector {vn} -----
    vn(1) = X(n2(i)) - X(no(i))
    vn(2) = y(n2(i)) - y(no(i))
    vn(3) = Z(n2(i)) - Z(no(i))
    ' ----- vector {vz'} -----
    CALL prodcruz(vx(), vn(), vz())
    '----- obtencion del modulo de {vz'} -----
    zlon = SQR(vz(1) ^ 2 + vz(2) ^ 2 + vz(3) ^ 2)
    ' ----- vector {vy'} -----
    CALL prodcruz(vz(), vx(), vy())
    '----- obtencion del modulo de {vy'} -----
    ylon = SQR(vy(1) ^ 2 + vy(2) ^ 2 + vy(3) ^ 2)
  ELSE
    ELSE
    END IF
    END IF
    END IF
  END IF
  ' ----- obtencion de los angulos directores de los ejes locales -----
  ' eje x'
  coalfx(i) = vx(1) / xlon(i)
  cobetx(i) = vx(2) / xlon(i)
  cogamx(i) = vx(3) / xlon(i)
  ' eje y'
ELSE

```

```

coalfy(i) = vy(1) / ylon
cobety(i) = vy(2) / ylon
cogamy(i) = vy(3) / ylon

CALL transforma(tt(), coalfx(i), coalfy(i), coalz(i),
cobetx(i), cobety(i), cobetz(i), cogamx(i), cogamy(i),
cogamz(i))

CALL transpone(tt(), tt(), 6)

' eje z'
' ----- obtencion de [kaa] = [T]T [k'aa] [T] -----

coalfz(i) = vz(1) / zlon
cobetz(i) = vz(2) / zlon
cogamz(i) = vz(3) / zlon

CALL obtkpaa(xkpaa(), xlon(i), area(i), xinerx(i),
xinery(i), xinerz(i), elas(i), g(i), xj(i))

CALL multiplica(tt(), xkpaa(), temporal(), 6)

CALL multiplica(temporal(), tt(), xkaa(), 6)

CALL guardak(xkaa(), no(i), no(i), xrig())

NEXT i

'
'----- grafica de la estructura -----
'
'title$=nombre de la estructura
'nj=num de nudos (nnud)
'nm= num de barras (nbar)
'x(), y(), z() = coordenadas de los nudos
'no() = arreglo nudo origen de las barras
'nd() = arreglo nudo destino de las barras
'ahd,avd = angulos horizontal y vertical de la linea de
vision
'si: jnum$ = "s" etiqueta nudos
'si: mnum$ = "s" etiqueta barras
ahd = 30
avd = 30
jnum$ = "S"
mnum$ = "S"
' CALL dibest3d(titulo$, nnud, nbar, X(), y(), Z(), no(),
nd(), ahd, avd, jnum$, mnum$)
' CALL detener
' SCREEN 0
' ----- calculo de la matriz de rigidez -----

FOR i = 1 TO nbar

CALL obtkpab(xkpab(), xlon(i), area(i), xinerx(i),
xinery(i), xinerz(i), elas(i), g(i), xj(i))

CALL multiplica(tt(), xkpab(), temporal(), 6)

CALL multiplica(temporal(), tt(), xkab(), 6)

CALL guardak(xkab(), no(i), nd(i), xrig())

' ----- obtencion de [kba] = [T]T [k'ab] [T] -----

CALL transpone(xkpab(), xkpba(), 6)

CALL multiplica(tt(), xkpba(), temporal(), 6)

CALL multiplica(temporal(), tt(), xkba(), 6)

CALL guardak(xkba(), nd(i), no(i), xrig())

' ----- obtencion de [kbb] = [T]T [k'ab] [T] -----

CALL obtkpbb(xkpbb(), xlon(i), area(i), xinerx(i),
xinery(i), xinerz(i), elas(i), g(i), xj(i))

CALL multiplica(tt(), xkpbb(), temporal(), 6)

CALL multiplica(temporal(), tt(), xkbb(), 6)

CALL guardak(xkbb(), nd(i), nd(i), xrig())

IF immat = 1 THEN

CLS

PRINT "barra "; i

PRINT

CALL muestramat(tt(), 6, "[ T ]")

CALL muestramat(tt(), 6, "[ T ]T")

CALL detener

```

```

CLS
CALL muestramat(xkpaa(), 6, "[ k'aa ]")
CALL muestramat(xkaa(), 6, "[ kaa ]")
CALL detener
CLS
CALL muestramat(xkpab(), 6, "[ k'ab ]")
CALL muestramat(xkab(), 6, "[ kab ]")
CALL detener
CLS
CALL muestramat(xkpba(), 6, "[ k'ba ]")
CALL muestramat(xkba(), 6, "[ kba ]")
CALL detener
CLS
CALL muestramat(xkpbb(), 6, "[ k'bb ]")
CALL muestramat(xkbb(), 6, "[ kbb ]")
CALL detener
ELSE
END IF
NEXT i
'
'----Guarda la matriz de rigidez de la estructura----
OPEN ruta$ + "matriz01.txt" FOR OUTPUT AS #3
FOR i = 1 TO ngl
    FOR j = 1 TO ngl
        PRINT #3, xrig(i, j)
    NEXT j
NEXT i
CLOSE #3
PRINT "Se almaceno la matriz K de la estructura"
CALL detener
'----fin almacenamiento matriz K de la estructura---
'-----
'---Se incorpora la matriz de rigidez del suelo con la de
la estructura---
CLS
INPUT #2, xtitulo$
INPUT #2, ndov
FOR i = 1 TO ndov
    FOR j = 1 TO ndov
        nreng = (i - 1) * 6 + 2
        ncol = (j - 1) * 6 + 2
        INPUT #2, emak
        xrig(nreng, ncol) = xrig(nreng, ncol) + emak
    NEXT j
NEXT i
CLOSE #2
PRINT "Se termino de incorporar K del suelo a K de la
estructura"
CALL detener
CLS
'-----Guarda la matriz K suelo-estructura-----
OPEN ruta$ + "matriz02.txt" FOR OUTPUT AS #4
FOR i = 1 TO ngl
    FOR j = 1 TO ngl
        PRINT #4, xrig(i, j)
    NEXT j
NEXT i
CLOSE #4
PRINT "Se almaceno la matrix K suelo-estructura"
CALL detener
'----fin almacenamiento matriz K suelo-estructura----
' ----- lectura de barras con carga uniforme y carga
concentrada -----
CLS
' lectura de barras y nudos cargados
' nbcw=num de barras con carga uniforme
' nbcc=num de barras con carga concentrada
' nnc=num de nudos con carga

```

```

'
INPUT #1, nbcw, nbcc, nnc

PRINT "# de barras con # de barras con #
de nudos "

PRINT "carga uniforme carga concentrada
con carga "

PRINT ; " "; nbcw, , nbcc, , nnc

CALL detener

'

DIM bcw(nbcw), wx(nbcw), wy(nbcw), wz(nbcw)

DIM bcc(nbcc), Px(nbcc), Py(nbcc), Pz(nbcc), ax(nbcc),
ay(nbcc), az(nbcc)

DIM nc(nnc), fx(nnc), fy(nnc), fz(nnc), amx(nnc),
amy(nnc), amz(nnc)

'

' ----- lectura de barras con carga uniforme (carga en x,
y, z) -----

CLS : ii = 5

PRINT

PRINT " Cargas Distribuidas en las Barras"

PRINT

PRINT "barra wx wy wz "

FOR i = 1 TO nbcw

INPUT #1, bcw(i), wx(i), wy(i), wz(i)

ii = ii + 1

LOCATE (ii), (1): PRINT bcw(i)

LOCATE (ii), (6): PRINT USING "###.###"; wx(i)

LOCATE (ii), (16): PRINT USING "###.###"; wy(i)

LOCATE (ii), (29): PRINT USING "###.###"; wz(i)

NEXT i

CALL detener

'

' ----- lectura de barras con cargas concentradas -----

' ----- distancias desde el nudo origen donde estan
aplicadas -----

CLS : ii = 5

PRINT

PRINT " Cargas Concentradas en las
Barras"

PRINT

PRINT "barra Px ax Py ay Pz
az"

FOR i = 1 TO nbcc

INPUT #1, bcc(i), Px(i), Py(i), Pz(i), ax(i), ay(i), az(i)

ii = ii + 1

LOCATE (ii), (1): PRINT bcc(i)

LOCATE (ii), (6): PRINT USING "###.###"; Px(i)

LOCATE (ii), (16): PRINT USING "###.###"; ax(i)

LOCATE (ii), (29): PRINT USING "###.###"; Py(i)

LOCATE (ii), (42): PRINT USING "###.###"; ay(i)

LOCATE (ii), (55): PRINT USING "###.###"; Pz(i)

LOCATE (ii), (68): PRINT USING "###.###"; az(i)

NEXT i

CALL detener

' ----- lectura de fuerzas y momentos en los nudos -----

CLS : ii = 5

PRINT

PRINT " Fuerzas y Momentos en los
Nudos"

PRINT

PRINT "nudo Px Py Pz Mx My
Mz"

FOR i = 1 TO nnc

INPUT #1, nc(i), fx(i), fy(i), fz(i), amx(i), amy(i),
amz(i)

ii = ii + 1

LOCATE (ii), (1): PRINT nc(i)

LOCATE (ii), (5): PRINT USING "###.###"; fx(i)

LOCATE (ii), (16): PRINT USING "###.###"; fy(i)

LOCATE (ii), (29): PRINT USING "###.###"; fz(i)

LOCATE (ii), (42): PRINT USING "###.###"; amx(i)

LOCATE (ii), (55): PRINT USING "###.###"; amy(i)

LOCATE (ii), (68): PRINT USING "###.###"; amz(i)

```

```

fe(6 * nc(i) - 5) = fx(i)
fe(6 * nc(i) - 4) = fy(i)
fe(6 * nc(i) - 3) = fz(i)
fe(6 * nc(i) - 2) = amx(i)
fe(6 * nc(i) - 1) = amy(i)
fe(6 * nc(i)) = amz(i)

NEXT i

CALL detener

'
'-----
'
' ---- obtencion de momentos de empotramiento ----
'
' momentos de empotramiento para carga uniforme
'
' nbcw=num de barras con carga uniforme
' fempa= fuerzas de empotramiento en el nudo
a(origen)
' fempb= fuerzas de empotramiento en el nudo
b(destino)
' bcw=barra que va a estar cargada

FOR n = 1 TO nbcw

i = bcw(n)

'contribucion de la carga en x'
fempa(i, 1) = fempa(i, 1) - wx(n) * xlon(i) / 2
fempb(i, 1) = fempb(i, 1) - wx(n) * xlon(i) / 2

'contribucion de la carga en y'
fempa(i, 2) = fempa(i, 2) - wy(n) * xlon(i) / 2
fempa(i, 6) = fempa(i, 6) - wy(n) * xlon(i) ^ 2 / 12
fempb(i, 2) = fempb(i, 2) - wy(n) * xlon(i) / 2
fempb(i, 6) = fempb(i, 6) + wy(n) * xlon(i) ^ 2 / 12

'contribucion de la carga en z'
fempa(i, 3) = fempa(i, 3) - wz(n) * xlon(i) / 2
fempa(i, 5) = fempa(i, 5) + wz(n) * xlon(i) ^ 2 / 12
fempb(i, 3) = fempb(i, 3) - wz(n) * xlon(i) / 2
fempb(i, 5) = fempb(i, 5) - wz(n) * xlon(i) ^ 2 / 12

NEXT n

' momentos de empotramiento para cargas
concentradas
'
' nbcc=num de barras con carga concentrada
' fempa= fuerzas de empotramiento en el nudo
a(origen)
' fempb= fuerzas de empotramiento en el nudo
b(destino)
' bcc=barra que va a estar cargada

FOR K = 1 TO nbcc

i = bcc(K)
XL = xlon(i)

'contribucion de la carga en x'
A = ax(K)
B = XL - A
fempa(i, 1) = fempa(i, 1) - Px(K) * B / XL
fempb(i, 1) = fempb(i, 1) - Px(K) * A / XL

'contribucion de la carga en y'
A = ay(K)
B = XL - A
P = Py(K)
xma = P * A * B ^ 2 / XL ^ 2
xmb = P * A ^ 2 * B / XL ^ 2
rb = P * A ^ 2 * (A + 3 * B) / XL ^ 3

```

```

ra = P - rb                                PRINT fempa(i, j)
fempa(i, 2) = fempa(i, 2) - ra              NEXT j
fempa(i, 6) = fempa(i, 6) - xma
fempb(i, 2) = fempb(i, 2) - rb              PRINT : PRINT
fempb(i, 6) = fempb(i, 6) + xmb            PRINT "{femp b}"
                                           FOR j = 1 TO 6
'contribucion de la carga en z'            PRINT fempb(i, j)
A = az(K)                                    NEXT j
B = XL - A                                    CALL detener
P = Pz(K)                                    NEXT i
xma = P * A * B ^ 2 / XL ^ 2
xmb = P * A ^ 2 * B / XL ^ 2                FOR i = 1 TO nnud
rb = P * A ^ 2 * (A + 3 * B) / XL ^ 3       ' ---- impresion de las fuerzas nodales ----
ra = P - rb                                  CLS
fempa(i, 3) = fempa(i, 3) - ra              PRINT
fempa(i, 5) = fempa(i, 5) + xma             PRINT "Nudo: "; i
fempb(i, 3) = fempb(i, 3) - rb            PRINT
fempb(i, 5) = fempb(i, 5) - xmb           PRINT "fuerzas en el nudo (globales)"
                                           PRINT
                                           PRINT "{fn}"
                                           FOR j = 1 TO 6
                                           PRINT fe(6 * i - (6 - j))
                                           NEXT j
                                           PRINT : PRINT
                                           CALL detener
                                           NEXT i
ELSE
END IF
' ---- impresion de las fuerzas de empotramiento --
----
CLS
PRINT
PRINT "barra "; i
PRINT
PRINT "fuerzas de empotramiento locales"
PRINT
PRINT "{femp a}"
FOR j = 1 TO 6
' ---- vector global de fuerzas ----

```



```

'
PRINT "ensamble del vector de cargas..."
FOR i = 1 TO nbar
    CALL transforma(tt(), coalfx(i), coalfy(i), coalfz(i),
cobetx(i), cobety(i), cobetz(i), cogamx(i), cogamy(i),
cogamz(i))
    CALL transpone(tt(), tt(), 6)
' ----- ensamble del vector de cargas extremo a -----
FOR j = 1 TO 6
    flnud(j) = fempa(i, j)
NEXT j
CALL mulmatvec(tt(), flnud(), fln(), 6)
ia = (no(i) - 1) * 6
FOR K = 1 TO 6
    f(ia + K) = f(ia + K) + fln(K)
NEXT K
' ----- ensamble del vector de cargas extremo b -----
FOR j = 1 TO 6
    flnud(j) = fempb(i, j)
NEXT j
CALL mulmatvec(tt(), flnud(), fln(), 6)
ib = (nd(i) - 1) * 6
FOR K = 1 TO 6
    f(ib + K) = f(ib + K) + fln(K)
NEXT K
NEXT i
'
' ----- ensamble del vector de cargas global de nudos -
-----
FOR i = 1 TO ngl
    f(i) = fe(i) - f(i)      'vec carga = vec fza nudos -
vec emp
NEXT i
'
'----- Modificaci3n de k de acuerdo a las restricciones
-----
PRINT "modificando matriz de rigideces por
restricciones..."
FOR i = 1 TO nnud
    nr = i * 6 - 5
'
' modificacion del renglon y columna correspondiente
al despl. en x
IF irx(i) = 1 THEN 'camb (0) por (1)
    FOR j = 1 TO ngl
        xrig(nr, j) = 0
        xrig(j, nr) = 0
    NEXT j
    xrig(nr, nr) = 1
    f(nr) = 0
END IF
'
' modificacion del renglon y columna correspondiente
al despl. en y
nr = nr + 1
IF iry(i) = 1 THEN 'camb (0) por (1)
    FOR j = 1 TO ngl
        xrig(nr, j) = 0
        xrig(j, nr) = 0
    NEXT j
    xrig(nr, nr) = 1
    f(nr) = 0
END IF
'

```

```

' modificacion del renglon y columna correspondiente
al despl. en z
,
nr = nr + 1
IF irz(i) = 1 THEN 'camb (0) por (1)
  FOR j = 1 TO ngl
    xrig(nr, j) = 0
    xrig(j, nr) = 0
  NEXT j
  xrig(nr, nr) = 1
  f(nr) = 0
END IF
,
' modificacion del renglon y columna correspondiente
al mom. en x
,
nr = nr + 1
IF irax(i) = 1 THEN 'camb (0) por (1)
  FOR j = 1 TO ngl
    xrig(nr, j) = 0
    xrig(j, nr) = 0
  NEXT j
  xrig(nr, nr) = 1
  f(nr) = 0
END IF
,
' modificacion del renglon y columna correspondiente
al mom. en y
,
nr = nr + 1
IF iray(i) = 1 THEN 'camb (0) por (1)
  FOR j = 1 TO ngl
    xrig(nr, j) = 0
    xrig(j, nr) = 0
  NEXT j
,
xrig(nr, nr) = 1
f(nr) = 0
END IF
,
' modificacion del renglon y columna correspondiente
al mom. en z
,
nr = nr + 1
IF iraz(i) = 1 THEN 'camb (0) por (1)
  FOR j = 1 TO ngl
    xrig(nr, j) = 0
    xrig(j, nr) = 0
  NEXT j
  xrig(nr, nr) = 1
  f(nr) = 0
END IF
,
NEXT i
,
'-----
,
' ----- resolucion al sistema de ecuaciones -----
CLS
LOCATE 14, 15
PRINT " calculando, favor de esperar..."
,
PRINT : PRINT
PRINT "resolviendo el sistema de ecuaciones..."
'CALL gaussjor(ngl, xrig(), f(), d())
CALL crout(ngl, xrig(), f(), d())
,
'----- impresion de desplazamientos de los nudos -----
--

```



```

xinery(i), xinerz(i), elas(i), g(i), xj(i)
CALL transpose(xkpab(), xkpba(), 6)
CALL obtkpb(xkpb(), xlon(i), area(i), xinerx(i),
xinery(i), xinerz(i), elas(i), g(i), xj(i))
'
' fuerzas en locales
'
CALL mulmatvec(xkpaa(), dpa(), daux(), 6)
CALL mulmatvec(xkpab(), dpb(), dbaux(), 6)
CALL sumavec(daux(), dbaux(), fpa(), 6)
CALL mulmatvec(xkpba(), dpa(), daux(), 6)
CALL mulmatvec(xkpb(), dpb(), dbaux(), 6)
CALL sumavec(daux(), dbaux(), fpb(), 6)
'
FOR j = 1 TO 6
  fpa(j) = fpa(j) + fempa(i, j)
  fpb(j) = fpb(j) + fempb(i, j)
NEXT j
'
' impresion de elementos mecanicos
'
CLS
CALL imprime(i, no(i), fpa())
CALL imprime(i, nd(i), fpb())
CALL detener
'
' verificacion de equilibrio en cada nudo
'
' transformacion de fuerzas (elementos mecanicos) al
sistema global
'
CALL transpose(tt(), tt(), 6)
CALL mulmatvec(tt(), fpa(), fa(), 6)
CALL mulmatvec(tt(), fpb(), fb(), 6)
FOR j = 1 TO 6
  eq(6 * A - (6 - j)) = eq(6 * A - (6 - j)) + fa(j)
  eq(6 * B - (6 - j)) = eq(6 * B - (6 - j)) + fb(j)
NEXT j
'CALL detener
NEXT i
'
'agregando fuerzas externas ala comprobaci3n del
equilibrio
'
CLS : ii = 6
PRINT
PRINT "          Reacciones "
PRINT
PRINT "nudo  äfx    äfy    äfz    ämx
ämy    ämz"
PRINT
PRINT #5,
PRINT #5, "          Reacciones "
PRINT #5,
PRINT #5, "nudo  äfx    äfy    äfz    ämx
ämy    ämz"
PRINT #5,
FOR j = 1 TO nnud
  ii = ii + 1
  LOCATE (ii), (1): PRINT j
  FOR i = 1 TO 6
    eq(6 * j - (6 - i)) = eq(6 * j - (6 - i)) - fe(6 * j - (6
- i))
    LOCATE (ii), (13 * i - 7): PRINT USING
"###.###": eq(6 * j - (6 - i))
  NEXT i
  PRINT #5, j; USING "###.###"; eq(6 * j - 5); eq(6 * j -
4); eq(6 * j - 3); eq(6 * j - 2); eq(6 * j - 1); eq(6 * j)

```

```

NEXT j                                IF A(j, K) = 0 THEN 1945
CLOSE #5                               SUM = SUM + A(j, K) * A(K, LL)
PRINT                                  1945 NEXT K
PRINT "FIN DEL ANALISIS"              A(j, LL) = (A(j, LL) - SUM) / A(j, j)
PRINT                                  NEXT LL
CALL detener                           1955 SUT = 0
END                                     FOR K = 1 TO j - 1
                                       IF A(j, K) = 0 THEN 1965
REM $STATIC                             SUT = SUT + A(j, K) * B(K)
SUB crout (n, A(), B(), H())          1965 NEXT K
                                       B(j) = (B(j) - SUT) / A(j, j)
' ----- solucion al sistema de ecuaciones -----
' ----- Metodo de Crout -----
                                       NEXT j
FOR j = 2 TO n                          H(n) = B(n)
    IF A(1, j) = 0 THEN 1925
    A(1, j) = A(1, j) / A(1, 1)
1925 NEXT j                              FOR i = n - 1 TO 1 STEP -1
B(1) = B(1) / A(1, 1)                  SUR = 0
                                       FOR K = i + 1 TO n
FOR j = 2 TO n                          SUR = SUR + A(i, K) * H(K)
    FOR i = j TO n                      NEXT K
        FOR K = 1 TO j - 1              H(i) = B(i) - SUR
            IF A(i, K) = 0 THEN 1935
            A(i, j) = A(i, j) - A(i, K) * A(K, j)
1935 NEXT K                              END SUB
                                       SUB detener
NEXT i                                  LOCATE (22), (40): PRINT "para continuar presione
SUM = 0                                  cualquier tecla..."
SUT = 0                                  DO
SUR = 0                                  LOOP WHILE INKEY$ = ""
IF j = n THEN 1955
FOR LL = j + 1 TO n
    SUM = 0
    FOR K = 1 TO j - 1
    END SUB

```

```

SUB dibest3d (titulo$, nj, nm, xx(), yy(), zz(), js(), je(),
ahd, avd, jnum$, mnum$) STATIC

DIM X(nj), y(nj)
SCREEN 2
aspect = 12! / 5!
pi = 3.1415926#
'
' ----- define limites de la grafica -----
'
xlft = 30!
xrht = 610!
yhigh = 170!
ylow = 30!
ahr = ahd * pi / 180!
avr = avd * pi / 180!
'
' ----- calcula coordenadas de la grafica -----
'
FOR i = 1 TO nj
  X(i) = -(zz(i) * SIN(ahr) - xx(i) * COS(ahr))
  y(i) = yy(i) * COS(avr) - (zz(i) * COS(ahr) + xx(i) *
SIN(ahr)) * SIN(avr)
NEXT i
'
' ----- busca coordenadas maximas y minimas -----
'
xmax = X(1)
xmin = X(1)
ymax = y(1)
ymin = y(1)
FOR i = 2 TO nj
  IF X(i) < xmin THEN xmin = X(i)
  IF X(i) > xmax THEN xmax = X(i)
  IF y(i) < ymin THEN ymin = y(i)
  IF y(i) > ymax THEN ymax = y(i)
NEXT i
'
' ----- define escala de la grafica -----
'
XL = ABS(xmax - xmin)
yl = ABS(ymax - ymin)
scalex = (xrht - xlft) / XL
scaley = scalex / aspect
IF (yl * scaley) >= (yhigh - ylow) THEN
  scaley = (yhigh - ylow) / yl
  scalex = scaley * aspect
END IF
'
' ----- define origen de grafica -----
'
x0 = xlft + (xrht - xlft) / 2! - scalex * (xmax + xmin) / 2!
y0 = ylow + (yhigh - ylow) / 2! - scaley * (ymax + ymin) /
2!
'
' ----- imprime titulo y angulos visuales -----
'
'PRINT "Estructura : "; titulo$
'PRINT USING "Angulo horizontal ####.#0 , ngulo
vertical ####.#0"; ahd; avd
'
' ----- numera nudos -----
'
IF jnum$ = "S" OR jnum$ = "s" THEN
  FOR i = 1 TO nj
    ix = scalex * X(i) + x0
    iy = scaley * y(i) + y0
    irow = (200 - iy) / 8
    icol = ix / 8
  
```

```

LOCATE irow, icol
PRINT i
NEXT i
END IF
'
' ----- grafica numero de las barras -----
'
IF mnum$ = "S" OR mnum$ = "s" THEN
FOR i = 1 TO nm
j1 = js(i)
j2 = je(i)
x1 = X(j1)
y1 = y(j1)
x2 = X(j2)
y2 = y(j2)
X = (x1 + x2) / 2
y = (y1 + y2) / 2
ix = scalex * X + x0
iy = scaley * y + y0
irow = (200 - iy) / 8
icol = ix / 8
LOCATE irow, icol
PRINT i
NEXT i
END IF
'
' ----- grafica la estructura -----
'
FOR i = 1 TO nm
j1 = js(i)
j2 = je(i)
x1 = scalex * X(j1)
y1 = scaley * y(j1)
ix1 = x0 + x1
iy1 = 200! - (y0 + y1)
x2 = scalex * X(j2)
y2 = scaley * y(j2)
ix2 = x0 + x2
iy2 = 200! - (y0 + y2)
LINE (ix1, iy1)-(ix2, iy2)
NEXT i
LOCATE 21, 1
END SUB
SUB gaussjor (n, A(), y(), X())
FOR i = 1 TO n
A(i, 0) = y(i)
NEXT i
FOR K = 1 TO n
xM = 0
FOR i = 1 TO n
FOR L = 1 TO K
IF X(L) = i THEN 20
NEXT L
FOR j = 1 TO n
FOR L = 1 TO K
IF X(L) = j THEN 30
NEXT L
IF ABS(A(i, j)) > ABS(xM) THEN
xM = A(i, j): H = i: C = j
ELSE
END IF
30 NEXT j
20 NEXT i

```

```

FOR L = 0 TO n
    A(H, L) = A(H, L) / xM
NEXT L

FOR i = 1 TO n
    PIV = -A(i, C)
    FOR j = 0 TO n
        IF i = H THEN 60
        A(i, j) = PIV * A(H, j) + A(i, j)
    NEXT j
60 NEXT i
    FOR L = 0 TO n
        A(0, L) = A(H, L)
        A(H, L) = A(C, L)
        A(C, L) = A(0, L)
    NEXT L
    X(K) = C
NEXT K
' ---- impresiones ----
'CLS
PRINT "los resultados son: "
PRINT

FOR i = 1 TO n
    X(i) = A(i, 0)
NEXT i

END SUB

SUB guardak (xkxx(), ia, ib, xrig())

    irenk = 6 * (ia - 1)
    icolk = 6 * (ib - 1)

    FOR i = 1 TO 6
        FOR j = 1 TO 6
            xrig(irenk + i, icolk + j) = xrig(irenk + i, icolk + j) +
            xkxx(i, j)
        NEXT j
    NEXT i

END SUB

SUB imprime (ibarra, iextremo, fuerza())
'
' ----- imprime los resultados de la estructura -----
'
PRINT "barra"; ibarra, " Fuerzas Locales"
PRINT
PRINT "nudo"; iextremo
PRINT
PRINT "fuerza x = "; fuerza(1)
PRINT "fuerza y = "; fuerza(2)
PRINT "fuerza z = "; fuerza(3)
PRINT "momento x = "; fuerza(4)
PRINT "momento y = "; fuerza(5)
PRINT "momento z = "; fuerza(6)

END SUB

SUB muestramat (A(), n, mensaje$)

PRINT
PRINT "matriz : "; mensaje$
FOR i = 1 TO n
    FOR j = 1 TO n
        PRINT A(i, j);
    
```



```

NEXT j
PRINT                                xkp(1, 1) = elas * ar / XL
NEXT i                                xkp(1, 2) = 0
                                        xkp(1, 3) = 0
END SUB                                xkp(1, 4) = 0
                                        xkp(1, 5) = 0
SUB mulmatvec (A(), B(), C(), n)      xkp(1, 6) = 0

FOR i = 1 TO n                        xkp(2, 2) = 12 * elas * xinerz / XL ^ 3
  suma = 0                             xkp(2, 3) = 0
  FOR K = 1 TO n                       xkp(2, 4) = 0
    suma = suma + A(i, K) * B(K)       xkp(2, 5) = 0
  NEXT K                               xkp(2, 6) = 6 * elas * xinerz / XL ^ 2
  C(i) = suma
NEXT i                                xkp(3, 3) = 12 * elas * xinery / XL ^ 3
                                        xkp(3, 4) = 0
END SUB                                xkp(3, 5) = -6 * elas * xinery / XL ^ 2
                                        xkp(3, 6) = 0

SUB multiplica (A(), B(), C(), n)

FOR i = 1 TO n                        xkp(4, 4) = g * xj / XL
  FOR j = 1 TO n                       xkp(4, 5) = 0
    suma = 0                             xkp(4, 6) = 0
    FOR K = 1 TO n                     xkp(5, 5) = 4 * elas * xinery / XL
      suma = suma + A(i, K) * B(K, j)  xkp(5, 6) = 0
    NEXT K
    C(i, j) = suma                     xkp(6, 6) = 4 * elas * xinerz / XL
  NEXT j
NEXT i
END SUB
                                        FOR i = 1 TO 6
                                          FOR K = i TO 6
                                            xkp(K, i) = xkp(i, K)
                                          NEXT K
                                        NEXT i

SUB obtkpaa (xkp(), XL, ar, xinerx, xinery, xinerz, elas,
g, xj)

```

```

END SUB
xkp(5, 2) = 0
xkp(5, 3) = 6 * elas * xinery / XL ^ 2
SUB obtkpab (xkp(), XL, ar, xinerx, xinery, xinerz, elas,
g, xj)
xkp(5, 4) = 0
xkp(5, 5) = 2 * elas * xinery / XL
xkp(5, 6) = 0
xkp(1, 1) = -elas * ar / XL
xkp(1, 2) = 0
xkp(1, 3) = 0
xkp(1, 4) = 0
xkp(1, 5) = 0
xkp(1, 6) = 0
xkp(2, 1) = 0
xkp(2, 2) = -12 * elas * xinerz / XL ^ 3
xkp(2, 3) = 0
xkp(2, 4) = 0
xkp(2, 5) = 0
xkp(2, 6) = 6 * elas * xinerz / XL ^ 2
xkp(3, 1) = 0
xkp(3, 2) = 0
xkp(3, 3) = -12 * elas * xinery / XL ^ 3
xkp(3, 4) = 0
xkp(3, 5) = -6 * elas * xinery / XL ^ 2
xkp(3, 6) = 0
xkp(4, 1) = 0
xkp(4, 2) = 0
xkp(4, 3) = 0
xkp(4, 4) = -g * xj / XL
xkp(4, 5) = 0
xkp(4, 6) = 0
xkp(5, 1) = 0
xkp(6, 1) = 0
xkp(6, 2) = -6 * elas * xinerz / XL ^ 2
xkp(6, 3) = 0
xkp(6, 4) = 0
xkp(6, 5) = 0
xkp(6, 6) = 2 * elas * xinerz / XL
END SUB
SUB obtkpbb (xkp(), XL, ar, xinerx, xinery, xinerz, elas,
g, xj)
xkp(1, 1) = elas * ar / XL
xkp(1, 2) = 0
xkp(1, 3) = 0
xkp(1, 4) = 0
xkp(1, 5) = 0
xkp(1, 6) = 0
xkp(2, 2) = 12 * elas * xinerz / XL ^ 3
xkp(2, 3) = 0
xkp(2, 4) = 0
xkp(2, 5) = 0
xkp(2, 6) = -6 * elas * xinerz / XL ^ 2
xkp(3, 3) = 12 * elas * xinery / XL ^ 3
xkp(3, 4) = 0
xkp(3, 5) = 6 * elas * xinery / XL ^ 2

```

```

xkp(3, 6) = 0

                                                                END SUB

xkp(4, 4) = g * xj / XL

xkp(4, 5) = 0
xkp(4, 6) = 0

                                                                SUB transforma (t(), coalfx, coalfy, coalfz, cobetx,
                                                                cobety, cobetz, cogamx, cogamy, cogamz)

xkp(5, 5) = 4 * elas * xinery / XL
xkp(5, 6) = 0

                                                                t(1, 1) = coalfx
                                                                t(1, 2) = cobetx
                                                                t(1, 3) = cogamx

xkp(6, 6) = 4 * elas * xinerz / XL

                                                                t(1, 4) = 0
                                                                t(1, 5) = 0
                                                                t(1, 6) = 0

FOR i = 1 TO 6
  FOR K = i TO 6
    xkp(K, i) = xkp(i, K)
  NEXT K
NEXT i

                                                                t(2, 1) = coalfy
                                                                t(2, 2) = cobety
                                                                t(2, 3) = cogamy
                                                                t(2, 4) = 0
                                                                t(2, 5) = 0
                                                                t(2, 6) = 0

END SUB

SUB prodcruz (A(), B(), C())

                                                                t(3, 1) = coalfz
                                                                t(3, 2) = cobetz
                                                                t(3, 3) = cogamz
                                                                t(3, 4) = 0
                                                                t(3, 5) = 0
                                                                t(3, 6) = 0

C(1) = A(2) * B(3) - A(3) * B(2)
C(2) = A(3) * B(1) - A(1) * B(3)
C(3) = A(1) * B(2) - A(2) * B(1)

END SUB

SUB sumavec (A(), B(), C(), n)

                                                                t(4, 1) = 0
                                                                t(4, 2) = 0
                                                                t(4, 3) = 0
                                                                t(4, 4) = coalfx
                                                                t(4, 5) = cobetx
                                                                t(4, 6) = cogamx

' ----- suma vectores -----

FOR i = 1 TO n
  C(i) = A(i) + B(i)
NEXT i

```

t(5, 1) = 0

t(5, 2) = 0

t(5, 3) = 0

t(5, 4) = coalfy

t(5, 5) = cobety

t(5, 6) = cogamy

t(6, 1) = 0

t(6, 2) = 0

t(6, 3) = 0

t(6, 4) = coalfz

t(6, 5) = cobetz

t(6, 6) = cogamz

END SUB

SUB transpone (A(), at(), n)

FOR i = 1 TO n

FOR j = 1 TO n

at(j, i) = A(i, j)

NEXT j

NEXT i

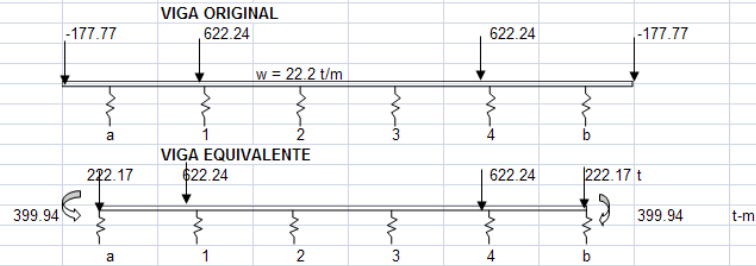
END SUB

APÉNDICE D: Memoria de cálculos de los ejemplos

Cálculo de vigas semiflexibles apoyadas sobre suelo compresible

Método de Zeevaert con 10 dovelas

SOLAMENTE DEBEN MODIFICARSE LAS CELDAS SOMBRÉADAS



longitud orig.	2B=	12.00	m	2L=	24.00	m				
Número de dovelas:	6	$\lambda =$	4	m	2B=	12.000	m	área dov =	48	m
Profundidad de desplante:	0.00	m	Prof. NAF =	0.00	m					
Longitud de viga equivalente:	20.000	m								
dovela No.:	a	1	2	3	4	b				
coordenada x:	0.000	4.000	8.000	12.000	16.000	20.000	m			
coordenada y:	20.000	16.000	12.000	8.000	4.000	0.000	m			

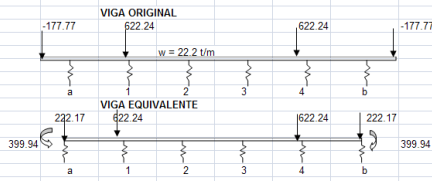
INFORMACIÓN DEL SUBSUELO:

Número de estratos compresibles (máx. 20):

Distribución de esfuerzos	$\chi =$	3	Boussinesq	$\nu =$	0.25	ema			
estrato	Prof. Med.	α_N	I_z	$\Delta\delta_j$	xvert	yvert	xp	yp	z
No.	m	m^3/ton	-	m^3/ton	m	m	m	m	m
1	1.5	0.0115	0.89379	1.028E-02	20.000	0.000	22.000	6.000	23.000
2	5	0.0085	0.42523	3.614E-03	24.000	0.000			
3	11	0.0155	0.14977	2.321E-03	24.000	12.000			
4	17.5	0.0075	0.06760	5.070E-04	20.000	20.000			
5	23	0.0045	0.04078	1.835E-04					
6			0.00000	0.000E+00					
7			0.00000	0.000E+00					
8			0.00000	0.000E+00					
9			0.00000	0.000E+00					
10			0.00000	0.000E+00					
11			0.00000	0.000E+00					
12			0.00000	0.000E+00					
13			0.00000	0.000E+00					
14			0.00000	0.000E+00					
15			0.00000	0.000E+00					
16			0.00000	0.000E+00					
17			0.00000	0.000E+00					
18			0.00000	0.000E+00					
19			0.00000	0.000E+00					
20			0.00000	0.000E+00					
			$\delta_j =$	1.690E-02					
Matriz de flexibilidades del suelo									
	a	1	2	3	4	b			
a	1.690E-02	4.464E-03	1.664E-03	7.542E-04	3.710E-04	1.949E-04			
1	4.464E-03	1.690E-02	4.464E-03	1.664E-03	7.542E-04	3.710E-04			
2	1.664E-03	4.464E-03	1.690E-02	4.464E-03	1.664E-03	7.542E-04			
3	7.542E-04	1.664E-03	4.464E-03	1.690E-02	4.464E-03	1.664E-03			
4	3.710E-04	7.542E-04	1.664E-03	4.464E-03	1.690E-02	4.464E-03			
b	1.949E-04	3.710E-04	7.542E-04	1.664E-03	4.464E-03	1.690E-02			

UN MÉTODO DIRECTO DE INTERACCIÓN TRIDIMENSIONAL SUELO-ESTRUCTURA

Cálculo de las deflexiones debidas a cargas concentradas, momentos en los extremos y cargas uniformemente repartidas en vigas simplemente apoyadas.



longitud orig.	2B= 24.00 m	viga de rigidez:	E = 2213594.362 ton/m2	I = 0.6472 m	0.27109127 m4
fc =	250 Kg/cm2				
EI =	6.001E+05 ton-m2				
Número de dovelas:	6	λ =	4 m	2B=	12.000 m
Reacciones cond. "0"	1066.410			área dov =	48 m
Longitud de viga equivalente:	20.000 m				
coordenada x:	0.000 4.000 8.000 12.000 16.000 20.000 m				
coordenada y:	20.000 16.000 12.000 8.000 4.000 0.000 m				
CARGAS EXTERNAS:	xi= 0 xi= 0.8 xi= 16.000 m xi= 0.2			yi= 4.000	
P	a b P*b	EIδ _{ij}	ton-m	ton-m ³	
P1	222.170 4.000 20.00 4443.40 0.000E+00				222.17
P2	622.240 16.000 16.00 9955.84 3.053E+04				622.24 4.000
P3	622.240 16.000 4.00 2488.96 4.248E+04				622.24 16.000
P4	222.170 20.000 0.00 0.00 0.000E+00				222.17 20.000
P5	0.000 20.00 0.00 0.000E+00				0.00
P6	0.000 20.00 0.00 0.000E+00				0.00
P7	0.000 20.00 0.00 0.000E+00				0.00
P8	0.000 20.00 0.00 0.000E+00				0.00
P9	0.000 20.00 0.00 0.000E+00				0.00
P10	0.000 20.00 0.00 0.000E+00				0.00
Mao	399.940				-5.119E+03
Mbo	399.940				-7.679E+03
w	22.200				2.747E+04
SUMA	2132.82		16888.20		8.768E+04

EMISE

MATRIZ DE HUNDIMIENTOS UNITARIOS (δ_{ij}) EMA

	a	1	2	3	4	b
a	1.69E-02	4.46E-03	1.66E-03	7.54E-04	3.71E-04	1.95E-04
1	4.46E-03	1.69E-02	4.46E-03	1.66E-03	7.54E-04	3.71E-04
2	1.66E-03	4.46E-03	1.69E-02	4.46E-03	1.66E-03	7.54E-04
3	7.54E-04	1.66E-03	4.46E-03	1.69E-02	4.46E-03	1.66E-03
4	3.71E-04	7.54E-04	1.66E-03	4.46E-03	1.69E-02	4.46E-03
b	1.95E-04	3.71E-04	7.54E-04	1.66E-03	4.46E-03	1.69E-02

MATRIZ DE HUNDIMIENTOS UNITARIOS (1/a)(δ_{ij}) EMA/a

	a	R1	R2	R3	R4	b
a	2.113E+02	5.580E+01	2.081E+01	9.429E+00	4.638E+00	2.437E+00
1	5.580E+01	2.113E+02	5.580E+01	2.081E+01	9.429E+00	4.638E+00
2	2.081E+01	5.580E+01	2.113E+02	5.580E+01	2.081E+01	9.429E+00
3	9.429E+00	2.081E+01	5.580E+01	2.113E+02	5.580E+01	2.081E+01
4	4.638E+00	9.429E+00	2.081E+01	5.580E+01	2.113E+02	5.580E+01
b	2.437E+00	4.638E+00	9.429E+00	2.081E+01	5.580E+01	2.113E+02

MATRIZ DE FLEXIBILIDADES DE LA ESTRUCTURA (δ_{ij}^F)

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	EIδ _{ij} ^F	EIδ _{ij} ^K	T.I. EIδ _{ij}
1	6.827E+01	9.600E+01	8.533E+01	4.907E+01					8.768E+04	1.635E+05	2.512E+05
2	9.600E+01	1.536E+02	1.451E+02	8.533E+01					1.377E+05	1.957E+05	3.334E+05
3	8.533E+01	1.451E+02	1.536E+02	9.600E+01					1.377E+05	1.957E+05	3.334E+05
4	4.907E+01	8.533E+01	9.600E+01	6.827E+01					8.768E+04	1.635E+05	2.512E+05
5											
6											
7											
8											

MATRIZ DE DEFORMACIONES DE LOS APOYOS (δ_{ij}^K)

	R1	R2	R3	R4
1	5.335E+01	6.555E+01	5.755E+01	3.954E+01
2	6.555E+01	7.855E+01	7.475E+01	5.755E+01
3	5.755E+01	7.475E+01	7.855E+01	6.555E+01
4	3.954E+01	5.755E+01	6.555E+01	5.335E+01

MATRIZ DE FLEXIBILIDADES (EI/K_{ij})

	R1	R2	R3	R4
1	2.113E+02	5.580E+01	2.081E+01	9.429E+00
2	5.580E+01	2.113E+02	5.580E+01	2.081E+01
3	2.081E+01	5.580E+01	2.113E+02	5.580E+01
4	9.429E+00	2.081E+01	5.580E+01	2.113E+02

SISTEMA DE ECUACIONES

	R1	R2	R3	R4	T.I.
1	3.330E+02	2.174E+02	1.637E+02	9.804E+01	2.512E+05
2	2.174E+02	4.435E+02	2.756E+02	1.637E+02	3.334E+05
3	1.637E+02	2.756E+02	4.435E+02	2.174E+02	3.334E+05
4	9.804E+01	1.637E+02	2.174E+02	3.330E+02	2.512E+05

MATRIZ INVERSA

	R1	R2	R3	R4	REACC.	t	q (t/m2)	qi (t/m2)
1	0.0044786	-0.0018905	-0.0004224	0.0001136	Ra	449.820	9.371	9.371
2	-0.0018905	0.0045211	-0.0019049	-0.0004224	R1	325.342	6.778	6.778
3	-0.0004224	-0.0019049	0.0045211	-0.0018905	R2	291.248	6.068	6.068
4	-0.0001136	-0.0004224	-0.0018905	0.0044786	R3	291.248	6.068	6.068
					R4	325.342	6.778	6.778
					Rb	449.820	9.371	9.371
					SUMA	2132.820	2132.820	

MATRIZ DE HUNDIMIENTOS UNITARIOS $\{\delta_{ij}\}$ EMA						
	a	1	2	3	4	b
a	1.69E-02	4.46E-03	1.66E-03	7.54E-04	3.71E-04	1.95E-04
1	4.46E-03	1.69E-02	4.46E-03	1.66E-03	7.54E-04	3.71E-04
2	1.66E-03	4.46E-03	1.69E-02	4.46E-03	1.66E-03	7.54E-04
3	7.54E-04	1.66E-03	4.46E-03	1.69E-02	4.46E-03	1.66E-03
4	3.71E-04	7.54E-04	1.66E-03	4.46E-03	1.69E-02	4.46E-03
b	1.95E-04	3.71E-04	7.54E-04	1.66E-03	4.46E-03	1.69E-02

MATRIZ DE HUNDIMIENTOS UNITARIOS $(1/a)\{\delta_{ij}\}$ EMA/a						
	a	R1	R2	R3	R4	b
a	2.113E+02	5.580E+01	2.081E+01	9.429E+00	4.638E+00	2.437E+00
1	5.580E+01	2.113E+02	5.580E+01	2.081E+01	9.429E+00	4.638E+00
2	2.081E+01	5.580E+01	2.113E+02	5.580E+01	2.081E+01	9.429E+00
3	9.429E+00	2.081E+01	5.580E+01	2.113E+02	5.580E+01	2.081E+01
4	4.638E+00	9.429E+00	2.081E+01	5.580E+01	2.113E+02	5.580E+01
b	2.437E+00	4.638E+00	9.429E+00	2.081E+01	5.580E+01	2.113E+02

MATRIZ DE FLEXIBILIDADES DE LA ESTRUCTURA $\{\delta_{ij}^P\}$								$EI\delta_{ci}^P$	$EI\delta_{ci}^K$	T.I. $EI\delta_{ci}$	
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8			
1	6.827E+01	9.600E+01	8.533E+01	4.907E+01					8.768E+04	1.635E+05	2.512E+05
2	9.600E+01	1.536E+02	1.451E+02	8.533E+01					1.377E+05	1.957E+05	3.334E+05
3	8.533E+01	1.451E+02	1.536E+02	9.600E+01					1.377E+05	1.957E+05	3.334E+05
4	4.907E+01	8.533E+01	9.600E+01	6.827E+01					8.768E+04	1.635E+05	2.512E+05
5											
6											
7											
8											

MATRIZ DE DEFORMACIONES DE LOS APOYOS $\{\delta_{ij}^K\}$				
	R1	R2	R3	R4
1	5.335E+01	6.555E+01	5.755E+01	3.954E+01
2	6.555E+01	7.855E+01	7.475E+01	5.755E+01
3	5.755E+01	7.475E+01	7.855E+01	6.555E+01
4	3.954E+01	5.755E+01	6.555E+01	5.335E+01

MATRIZ DE FLEXIBILIDADES (Ei/K _{ij})				
	R1	R2	R3	R4
1	2.113E+02	5.580E+01	2.081E+01	9.429E+00
2	5.580E+01	2.113E+02	5.580E+01	2.081E+01
3	2.081E+01	5.580E+01	2.113E+02	5.580E+01
4	9.429E+00	2.081E+01	5.580E+01	2.113E+02

SISTEMA DE ECUACIONES				
	R1	R2	R3	R4
1	3.330E+02	2.174E+02	1.637E+02	9.804E+01
2	2.174E+02	4.435E+02	2.756E+02	1.637E+02
3	1.637E+02	2.756E+02	4.435E+02	2.174E+02
4	9.804E+01	1.637E+02	2.174E+02	3.330E+02

MATRIZ INVERSA				
	R1	R2	R3	R4
1	0.0044786	-0.0018905	-0.0004224	-0.0001135
2	-0.0018905	0.0045211	-0.0019049	-0.0004224
3	-0.0004224	-0.0019049	0.0045211	-0.0018905
4	-0.0001135	-0.0004224	-0.0018905	0.0044786

REACC.	t	q (t/m ²)	qi (t/m ²)
Ra	449.820	9.371	9.371
R1	325.342	6.778	6.778
R2	291.248	6.068	6.068
R3	291.248	6.068	6.068
R4	325.342	6.778	6.778
Rb	449.820	9.371	9.371
SUMA	2132.820	2132.820	

Análisis del ejemplo "viga-24m" por iteraciones.

		VIGA ORIGINAL					
		-177.77	622.24		622.24		-177.77
		a	1	2	3	4	b
		w = 22.2 t/m					
		VIGA EQUIVALENTE					
		399.94	222.17	622.24		622.24	222.17
		a	1	2	3	4	b
		Ei = 6.00E+05 t-m ²					
		P1 = 222.17 t					
		P2 = 622.24 t					
		Ma = Mb = 399.94 t-m					
		w = 22.2 t/m					
		L = 20 m					
coordenadas de los resortes	x	0	4	8	12	16	20
	y	20	16	12	8	4	0
coordenadas relativas	$\xi = x/L$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
	$\eta = y/L$	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0
coordenadas relativas de cargas	α		0.2	0.4	0.6	0.8	
	β		0.8	0.6	0.4	0.2	
condición Ri = 0	K	2165.12	1608.09	1501.46	1501.46	1608.09	2165.12 t/m
Ra0, Rb0		1066.41					1066.41 t
Elíseo (Ka, b)		295.524.341	295.524.341	295.524.340	295.524.339	295.524.339	295.524.338 t-m ³
Elíseo (P)		0	73.009.493	112.832.853	112.832.853	73.009.493	0
Elíseo (w)		0	27.468.800	44.044.800	44.044.800	27.468.800	0
Elíseo (m)		0	-12.798.080	-19.197.120	-19.197.120	-12.798.080	0
Elíseo		296590.7511	383204.5539	433204.8733	433204.8728	383204.5522	296590.7484
Condición R1 = +1	f_{ao}, f_{bo}	0.8					0.2
	Elíji (Ka, b)	221.697	188.442	155.188	121.933	88.679	55.424
	Elíji (P)	0.000	68.267	96.000	85.333	49.067	0.000
	Eidii (Ki)		373.113				
	Elíji	222.497	629.822	251.188	207.266	137.745	55.624
Condición R2 = +1	f_{ao}, f_{bo}	0.6					0.4
	Elíji (Ka, b)	166.272	155.188	144.103	133.018	121.933	110.848
	Elíji (P)	0.000	96.000	153.600	145.067	85.333	0.000
	Eidii (Ki)		399.612				
	Elíji	166.872	251.188	697.315	278.085	207.266	111.248
Por simetría se forma el sistema de ecuaciones							
		R1	R2	R3	R4		Ti
1		629.822	251.188	207.266	137.745		383.204.554
2		251.188	697.315	278.085	207.266		433.204.873
3		207.266	278.085	697.315	251.188		433.204.873
4		137.745	207.266	251.188	629.822		383.204.552
		matriz Inversa					Ri
		0.001931350	-0.000533131	-0.000318215	-0.000120038	a	449.878
		-0.000533131	0.001916603	-0.000491235	-0.000318215	1	325.295
		-0.000318215	-0.000491235	0.001916603	-0.000533131	2	291.236
		-0.000120038	-0.000318215	-0.000533131	0.001931350	3	291.236
						4	325.295
						b	449.878
		Matriz de hundimientos					q
		1.6907440	0.4468955	0.1666243	0.0754845	0.0371247	0.0195061
		0.4468955	1.6907440	0.4468955	0.1666243	0.0754845	0.0371247
		0.1666243	0.4468955	1.6907440	0.4468955	0.1666243	0.0754845
		0.0754845	0.1666243	0.4468955	1.6907440	0.4468955	0.1666243
		0.0371247	0.0754845	0.1666243	0.4468955	1.6907440	0.4468955
		0.0195061	0.0371247	0.0754845	0.1666243	0.4468955	1.6907440
							δ
							cm
		9.372	20.778	6.777	20.229	6.067	19.397
		6.067	19.397	6.777	20.229	9.372	20.778
		6.777	20.229	9.372	20.778		
cimentacion como viga equivalente de 12x24m							
Dovela	Largo	Ancho	Coord-X	Coord-Y			
#	m	m	m	m			
1	4	12	2	6			
2	4	12	6	6			
3	4	12	10	6			
4	4	12	14	6			
5	4	12	18	6			
6	4	12	22	6			
Valores Iniciales		ITERACIONES		EMISE3D			
Reac -q	Delta	Ro	Ko	R1	K1	R	diferencia
t/m ²	cm	t	t/m	t	t/m	t	%
7.409	18.053	355.632	1969.93	449.878	2.165.121	450.49	-0.14%
7.409	21.22	355.632	1675.93	325.295	1.608.092	326.01	-0.22%
7.409	22.18	355.632	1603.39	291.236	1.501.455	291.9	-0.23%
7.409	22.18	355.632	1603.39	291.236	1.501.455	291.9	-0.23%
7.409	21.22	355.632	1675.93	325.295	1.608.092	326.01	-0.22%
7.409	18.053	355.632	1969.93	449.878	2.165.121	450.49	-0.14%
		2133.792		2.132.820		2.136.800	

Archivo de datos "Viga-24m. FRM"

"EJEMPLO VIGA DE 24m"

7,8

2,0,0,0,0,0,0,0,0

6,0,0,0,0,0,0,0,0

10,0,0,0,0,0,0,0,0

14,0,0,0,0,0,0,0,0

18,0,0,0,0,0,0,0,0

22,0,0,0,0,0,0,0,0

0,0,0,0,0,0,0,0,0

24,0,0,0,0,0,0,0,0

1,2

2,3

3,4

4,5

5,6

7,1

6,8

7.766,1.18243,97.0848,0.27109

7.766,1.18243,97.0848,0.27109

7.766,1.18243,97.0848,0.27109

7.766,1.18243,97.0848,0.27109

7.766,1.18243,97.0848,0.27109

7.766,1.18243,97.0848,0.27109

7.766,1.18243,97.0848,0.27109

2213594.362,0.2

2213594.362,0.2

2213594.362,0.2

2213594.362,0.2

2213594.362,0.2

2213594.362,0.2

2213594.362,0.2

3,0,0,0,0,0,0,0,0

3,0,0,0,0,0,0,0
 3,0,0,0,0,0,0,0
 3,0,0,0,0,0,0,0
 3,0,0,0,0,0,0,0
 3,0,0,0,0,0,0,0
 3,0,0,0,0,0,0,0
 7,0,4
 1,0,-22.2,0
 2,0,-22.2,0
 3,0,-22.2,0
 4,0,-22.2,0
 5,0,-22.2,0
 6,0,-22.2,0
 7,0,-22.2,0
 2,0,-624.24,0,0,0,0
 5,0,-624.24,0,0,0,0
 7,0,-177.77,0,0,0,0
 8,0,-177.77,0,0,0,0

Matriz de rigidez del suelo

ISE viga 24	metros				
6					
3055.66703	-780.524864	-84.4293972	-32.9466527	-13.215704	-7.60856762
-780.524864	3255.0216	-758.991532	-76.0956997	-29.781125	-13.215704
-84.4293972	-758.991532	3257.29726	-758.223696	-76.0956997	-32.9466527
-32.9466527	-76.0956997	-758.223696	3257.29726	-758.991532	-84.4293972
-13.215704	-29.781125	-76.0956997	-758.991532	3255.0216	-780.524864
-7.60856762	-13.215704	-32.9466527	-84.4293972	-780.524864	3055.66703

Resultados del análisis de ejemplo Viga de 24m con EMISES3D

Desplazamientos de los nudos						
nudo	d_x	d_y	d_z	q_x	q_y	q_z
#	m	m	m	rad	rad	rad
1	0	-0.208	0	0	0	0.0018
2	0	-0.2026	0	0	0	0.0018
3	0	-0.1943	0	0	0	0.0015
4	0	-0.1943	0	0	0	-0.0015
5	0	-0.2026	0	0	0	-0.0018
6	0	-0.208	0	0	0	-0.0018
7	0	-0.2125	0	0	0	0.0024
8	0	-0.2124	0	0	0	-0.0024
Reacciones						
nudo	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
#	t	t	t	t-m	t-m	t-m
1	0	450.4926	0	0	0	0.0008
2	0	326.0107	0	0	0	0.0039
3	0	291.9035	0	0	0	-0.0039
4	0	291.9055	0	0	0	-0.0039
5	0	326.0126	0	0	0	-0.0039
6	0	450.5082	0	0	0	0.0109
7	0	0.0013	0	0	0	0.0094
8	0	-0.0144	0	0	0	0.0219

Archivo de datos de las dovelas del "example1.plc"
"EJEMPLO ISE 3D"

```
25 9
0.00 0.00
0.00 2.15
0.00 4.30
0.00 6.45
0.00 8.60
2.15 0.00
2.15 2.15
2.15 4.30
2.15 6.45
2.15 8.60
4.30 0.00
4.30 2.15
4.30 4.30
4.30 6.45
4.30 8.60
6.45 0.00
6.45 2.15
6.45 4.30
6.45 6.45
6.45 8.60
8.60 0.00
8.60 2.15
8.60 4.30
8.60 6.45
8.60 8.60
4 1
1 6 7 2
4 3
2 7 9 4
4 5
4 9 10 5
4 11
6 16 17 7
4 13
7 17 19 9
4 15
9 19 20 10
4 21
16 21 22 17
4 23
17 22 24 19
4 25
19 24 25 20
1 3.0
```

9 0.0 2 2.4 4.4

Archivo de datos de la compresibilidad del suelo del "example1.mod"

1 2 1
 9 1 2
 0.0154 0.0222

Matriz KSO de "ejemplo-adc"								
DOVELA								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3.52E+02	-2.86E+01	1.63E+00	-2.86E+01	-4.06E+00	1.25E-01	1.63E+00	1.25E-01	-1.24E-01
-4.77E+01	3.56E+02	-4.77E+01	-5.26E+00	-2.74E+01	-5.26E+00	4.93E-01	1.79E+00	4.94E-01
1.63E+00	-2.86E+01	3.52E+02	1.25E-01	-4.06E+00	-2.87E+01	-1.24E-01	1.26E-01	1.63E+00
-4.77E+01	-5.26E+00	4.93E-01	3.56E+02	-2.74E+01	1.79E+00	-4.77E+01	-5.26E+00	4.94E-01
-7.01E+00	-4.59E+01	-7.00E+00	-4.59E+01	3.60E+02	-4.59E+01	-7.00E+00	-4.59E+01	-7.00E+00
4.93E-01	-5.25E+00	-4.78E+01	1.79E+00	-2.74E+01	3.56E+02	4.95E-01	-5.26E+00	-4.77E+01
1.63E+00	1.25E-01	-1.24E-01	-2.86E+01	-4.06E+00	1.26E-01	3.52E+02	-2.87E+01	1.63E+00
4.93E-01	1.79E+00	4.95E-01	-5.25E+00	-2.74E+01	-5.26E+00	-4.78E+01	3.56E+02	-4.77E+01
-1.24E-01	1.25E-01	1.64E+00	1.25E-01	-4.06E+00	-2.86E+01	1.64E+00	-2.86E+01	3.52E+02

Archivo de datos del "example1.frm"

"EJEMPLO ISE 3D"

20,13
 0,0,0,0,0,0,0,0,0
 4.3,0,0,0,0,0,0,0,0
 8.6,0,0,0,0,0,0,0,0
 0,0,4.3,0,0,0,0,0,0
 4.3,0,4.3,0,0,0,0,0,0
 8.6,0,4.3,0,0,0,0,0,0
 0,0,8.6,0,0,0,0,0,0
 4.3,0,8.6,0,0,0,0,0,0
 8.6,0,8.6,0,0,0,0,0,0
 0,4.6,0,0,0,0,0,0,0
 8.6,4.6,0,0,0,0,0,0,0
 0,4.6,8.6,0,0,0,0,0,0
 8.6,4.6,8.6,0,0,0,0,0,0
 1,2
 2,3
 4,1
 5,2
 6,3
 7,4
 8,5
 9,6
 4,5
 5,6

2214000,0.2
2214000,0.2
2214000,0.2
3,0,0,0,0,0,0,0
3,0,0,0,0,0,0,0
1,0,0,0,0,0,0,0
1,0,0,0,0,0,0,0
1,0,0,0,0,0,0,0
1,0,0,0,0,0,0,0
1,0,0,0,0,0,0,0
1,0,0,0,0,0,0,0
1,0,0,0,0,0,0,0
3,0,0,0,0,0,0,0
3,0,0,0,0,0,0,0
3,0,0,0,0,0,0,0
3,0,0,0,0,0,0,0
3,0,0,0,0,0,0,0
3,0,0,0,0,0,0,0
3,0,0,0,0,0,0,0
3,0,0,0,0,0,0,0
1,0,0,0,0,0,0,0
1,0,0,0,0,0,0,0
3,0,0,0,0,0,0,0
16,0,4
1,0,-0.8,0
2,0,-0.8,0
3,0,-0.8,0
4,0,-1.6,0
5,0,-0.8,0
6,0,-0.8,0
7,0,-1.6,0
8,0,-0.8,0
9,0,-1.6,0
10,0,-1.6,0
11,0,-0.8,0
12,0,-0.8,0
17,0,-1.0,0
18,0,-1.0,0
19,0,-1.0,0
20,0,-1.0,0
10,0,-1.0,0,0,0,0
11,0,-1.0,0,0,0,0
12,0,-1.0,0,0,0,0
13,0,-1.0,0,0,0,0

Resultados del "example1" con EMISES3D

Desplazamientos de los nudos						
nudo	δ_x	δ_y	δ_z	θ_x	θ_y	θ_z
	m	m	m	rad	rad	rad
1	-0.0002	-0.0409	0.0001	0.0002	0	-0.0002
2	-0.0002	-0.0412	0	0.0025	0	0
3	-0.0002	-0.041	-0.0001	0.0002	0	0.0002
4	-0.0001	-0.0412	0.0001	0	0	-0.0025
5	-0.0001	-0.0497	0	0	0	0
6	-0.0001	-0.0412	0	0	0	0.0025
7	0	-0.0409	0.0001	-0.0002	0	-0.0002
8	0	-0.0412	0	-0.0025	0	0
9	0	-0.041	0	-0.0002	0	0.0002
10	-0.0002	-0.0412	0.0001	0.0015	0	-0.0015
11	-0.0002	-0.0412	0	0.0015	0	0.0015
12	0	-0.0412	0.0001	-0.0015	0	-0.0015
13	0	-0.0412	-0.0001	-0.0015	0	0.0015
Reacciones						
nudo	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
	t	t	t	t-m	t-m	t-m
1	0	11.994	0	0	0	0
2	0	9.071	0	0	0	0
3	0	11.995	0	0	0	0
4	0	9.071	0	0	0	0
5	0	9.179	0	0	0	0
6	0	9.069	0	0	0	0
7	0	11.995	0	0	0	0
8	0	9.069	0	0	0	0
9	0	11.996	0	0	0	0