



146
2 Edm.

Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ingeniería

Interacción Suelo-Estructura en Edificios
con Cargas Laterales.

T E S I S
Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL

p r e s e n t a

Juan José Pérez-Gavilán E.

1985



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Prefacio

Quiero agradecer al Prof. Ing. Agustín Deméneghi y al departamento de Geotecnia de la Facultad de Ingeniería encabezado por el Ing. Francisco Zamora las facilidades que me dieron para realizar este trabajo, que es continuación de aquel que se iniciara en el servicio social que presté en ese mismo departamento.

A IOISSA o Investigación de Operaciones e Ingeniería de Sistemas, que me facilitó durante todo este tiempo su equipo de computo, además de la experiencia y siempre útiles comentarios de su titular el Ing Jaime Antoniano y Mateos.

Indice

- I Introducción

- II Presentación Teórica.
 - II.i Análisis Estructural.
 - II.i.i Principio de Superposición.
 - II.i.ii Método de las Rigideces.

 - II.ii Análisis de Asentamientos.
 - II.ii.i Obtención de Desplazamientos.
 - II.ii.ii Obtención de los Incrementos de Esfuerzo en la Masa de Suelo.

- III Implementación.
 - III.i Selección del Lenguaje de Programación.
 - III.ii Aspectos Generales.

- IV Interacción Suelo-Estructura con Cargas Laterales.

- V Conclusiones.

- Apéndice A ISE84 , Instructivo de Uso
- Apéndice B ISE84 , Interacción Suelo-Estructura.
- Apéndice C ISEINF, Cálculo de los factores de Influencia.
- Apéndice D Ecuaciones.
- Apéndice E Notación

Bibliografía

I Introducción

El proceso de diseño o dimensionamiento de las estructuras es en general un proceso iterativo en el que se proponen tentativamente las dimensiones de los elementos resistentes y posteriormente se obtienen del análisis las fuerzas a que los elementos se verán sujetos, con estas fuerzas, se revisan las secciones propuestas, que en el caso de no ser adecuadas, habrá que proponer unas nuevas que serán mucho más aproximadas y repetir el análisis hasta lograr que las fuerzas obtenidas sean resistidas eficientemente por las secciones propuestas. El número de iteraciones depende fundamentalmente de la experiencia del ingeniero.

Para llevar a cabo el análisis, es necesario conocer además de las secciones, las acciones o cargas sobre la estructura; en este renglón, tenemos las cargas debidas al peso propio de los elementos resistentes, así como el peso de los acabados e instalaciones, clasificadas como cargas permanentes, están además las debidas al uso de la estructura, que en general son de carácter variable, y las que son consideradas como acciones accidentales como en el caso de los sismos y el viento.

Además de las acciones que hemos apuntado, es necesario conocer la acción que el suelo ejerce sobre la estructura para mantenerla en equilibrio. Esta fuerza de gran importancia, sabemos que debe ser igual al peso total de la estructura más el monto de las acciones variables y accidentales que en un momento dado se presentaran, pero la forma o distribución sobre la cimentación, no es posible conocerla a priori.

Se tienen evidencias de que el suponer reacciones uniformes sobre la cimentación, criterio que se utiliza frecuentemente en el diseño, se aleja bastante de la realidad, esto tiene como consecuencia que los diseñadores apliquen factores de seguridad altos, debido al alto grado de incertidumbre que se tiene al obtener las fuerzas de diseño bajo estas suposiciones, sobre todo en los elementos que se ven más afectados: los de la cimentación

Es obvio que los factores de seguridad altos están peleados con los criterios económicos, y que por lo mismo, es deseable que estos factores se reduzcan; lo que solo puede lograrse eliminando lo más posible las incertidumbres en el comportamiento de las estructuras.

El método de cálculo presentado a lo largo de este trabajo contribuye en la eliminación de incertidumbres en cuanto a la forma de la reacción del suelo.

Esta aportación y en general conocer con más certeza el comportamiento del suelo en conjunto con la estructura, reviste una doble importancia:

Es bien sabido que la rama de la ingeniería que ha tenido un menor desarrollo, es la ingeniería de suelos, por no haber contado con la atención que merece por parte de los investigadores demasiado entusiasmados con las teorías elásticas, que tan buenos frutos dieron en otros campos de la ingeniería o quizá debido a la gran complejidad que involucra conocer el comportamiento del suelo. Por una razón o por otra, no es hasta fechas recientes, con la aparición de hombres como Terzaghi, que se sentaron las ba-

ses de un estudio sistemático de los suelos.

Este atraso relativo de la Mecánica de Suelos respecto a otras disciplinas a frenado la aplicación de criterios más precisos en el diseño de los elementos de la estructura por parte de los diseñadores, argumentando no sin razón: ¿Acaso vale la pena aplicar criterios más precisos, desde luego más sofisticados y costosos al diseño de las estructuras, si las incertidumbres que se acarrean en las suposiciones sobre el comportamiento de los suelos, en el mejor de los casos, son bastante considerables ?

Es por la respuesta que suele darse a esta pregunta, que los investigadores han vuelto los ojos a este ramo de la ingeniería, ya que de no hacerlo, en poco tiempo las investigaciones para mejorar los criterios de diseño dejarían de tener objeto, y mucho menos su aplicación a problemas prácticos, ya que un principio básico del diseño, es mantener lo más uniforme posible la resolución de los cálculos.

La respuesta del suelo sobre la estructura, es un fenómeno complejo en el que intervienen factores tales como la rigidez de los elementos de contacto las características del suelo, la intensidad y distribución de las cargas, etc. En un primer intento por comprender cómo es que estos factores intervienen en el fenómeno, hagamos algunas consideraciones: (Ref <5>)

Si cargamos uniformemente una área totalmente flexible, las presiones que el área cargada pasa al suelo serán idénticas a la presión uniforme sobre el área, y el asentamiento será mayor al centro de la la región cargada y menor en la periferia, si es que el medio se supone linealmente elástico.

Si en cambio el área flexible se apoya en arenas o gravas, el asentamiento máximo estará en la periferia y el mínimo al centro, debido a que la rigidez de estos materiales aumenta con el confinamiento, mismo que es mayor al centro del área cargada.

Si ahora la carga se transmite al medio através de una placa infinitamente rígida, es obvio que la placa se asentará uniformemente. Es fácil ver que para un medio homogéneo y elástico la presión es mínima al centro y máxima en las orillas, puesto que para llegar al asentamiento uniforme, este deberá disminuir en el centro (disminución de presión) y aumentar en las orillas (aumento de presión). Con el mismo razonamiento se deduce que para el caso de las arenas, la presión máxima será al centro y la mínima en la el periferia.

De los párrafos anteriores resulta claro que los desplazamientos en la masa de suelo y los esfuerzos en el área de contacto, dependen, tanto de las propiedades del suelo como de la rigidez de la estructura y que por lo mismo para valuarlos, será necesario hacer un análisis conjunto del suelo y la estructura. A este fenómeno se le conoce como interacción suelo-estructura.

Este análisis conjunto del suelo y la estructura, consiste brevemente en lo siguiente: (Ref <1>)

Para la explicación, consideremos una estructura en un suelo de mediana a alta compresibilidad en la que la cimentación puede ser resuelta a base de

zapatas corridas o una losa de cimentación con contratraves.

Ya que desconocemos la forma de la reacción del suelo, discreticemosla en un número finito de franjas, idealmente de magnitud constante: digamos una franja debajo de las columnas y una bajo el centro del claro de las contratraves (en caso de requerir mayor resolución, basta considerar a un elemento de la cimentación como dos o más barras). Estas reacciones, son las acciones de la estructura sobre el suelo, pero en sentido opuesto. Así aplicando estas fuerzas al suelo es posible con un análisis de asentamientos obtener los desplazamientos bajo los puntos de interés (bajo las cols. y el centro del claro de las contratraves), en función de las reacciones, con lo que habremos planteado $2n+1$ ecuaciones con el doble de incógnitas; siendo 'n' el número de elementos de contacto.

Con el análisis de la estructura se plantean ecuaciones para el desplazamiento de los puntos bajo las columnas con lo que tenemos otras $n + 1$ ecuaciones.

Las 'n' ecuaciones restantes para tener un sistema cuadrado, son las de los desplazamientos al centro del claro de los elementos de contacto, mismas que pueden obtenerse con ayuda de los teoremas de la viga conjugada, estas ecuaciones quedan en función de las reacciones que se aplican al elemento particular y de los desplazamientos en los extremos.

Al decir que con estas ecuaciones tendremos un sistema cuadrado, estamos suponiendo implícitamente, que los desplazamientos que obtengamos del análisis de asentamientos, son idénticos a los obtenidos del análisis de la estructura, forzando así la compatibilidad de deformaciones.

Resolviendo simultáneamente estas ecuaciones, habremos obtenido los desplazamientos en toda la estructura y las reacciones del terreno, estas últimas como una aproximación discreta a la forma continua de la verdadera reacción del suelo sobre la estructura.

Los desplazamientos obtenidos, ya toman en cuenta la forma de la reacción que hemos encontrado y con ellos ya es posible obtener las fuerzas que se desarrollan en los extremos de cada elemento de la estructura, necesarias para trazar los diagramas de elementos mecánicos que se utilizan en la revisión de las secciones propuestas para el análisis.

Seguramente el lector ya se habrá dado cuenta que la cantidad de operaciones que involucra un análisis de interacción suelo-estructura, aún para estructuras pequeñas es muy grande y por lo mismo hace difícil por no decir imposible de ser atacado manualmente o con ayuda de una calculadora de bolsillo.

En el presente trabajo se aborda el problema de la implementación a las computadoras del método de Interacción Suelo Estructura publicado recientemente por el Ing. Agustín Deméneghi Colina, con motivo del IV Congreso Nacional de Ingeniería Estructural realizado el pasado Marzo de 1984 en la Ciudad de León Gto., método apenas expuesto en párrafos anteriores, con algunos comentarios para el caso de cargas laterales.

En el capítulo siguiente, se desarrollan con mucho más detalle las ideas que se expresaron durante la presentación breve que se hizo del método,

iniciando con una sección de análisis estructural, en la que se hace un breve repaso del Método de las Rigideces, continuando con la presentación de las ecuaciones adicionales para el cálculo de desplazamientos al centro del claro de los elementos de la cimentación.

Un segundo inciso, presenta: primero, el cálculo de los desplazamientos en cualquier punto de la masa de suelo de manera rigurosa y de carácter general, para después de algunas simplificaciones, llegar a la ecuación que se utiliza comúnmente. Para terminar, después de recordar la ecuación de Boussinesq para el cálculo de la distribución de los esfuerzos en el suelo, se hace una presentación matricial de la ecuación de desplazamiento.

El tercer capítulo, propone una serie de características que debe tener una buena implementación del método a las computadoras, y posteriormente explica como cada una de estas características fueron satisfechas por el programa de computadora desarrollado. (ISE84)

En el cuarto capítulo se presentan algunos resultados obtenidos con el programa ISE84: Primeramente, con el objeto de validar los resultados que el programa produce, se analiza la estructura propuesta por el Ing. Deméneghi en la presentación de su trabajo. A continuación se hace el análisis de una estructura bajo la acción de cargas laterales, para el caso en que se encuentre desplantada sobre un suelo de alta y baja compresibilidad.

Por último se comentan los resultados obtenidos y se apuntan las posibles líneas de posteriores estudios sobre la materia.

II Presentación teórica

El estudio del método de interacción suelo estructura, se dividió en dos grandes incisos: El análisis estructural y análisis de asentamientos de la masa de suelo, las ecuaciones que se plantean en cada caso, se resolverán simultáneamente para obtener el diagrama de reacciones del suelo, los desplazamientos de los nudos y los elementos mecánicos en los extremos de cada miembro de la estructura.

II.i Análisis Estructural

II.i.i Principio de Superposición

Los métodos tradicionales de análisis estructural tienen como suposición fundamental que existe una relación lineal entre la magnitud de las fuerzas actuantes y la deformación de la estructura, lo que hace válido el principio de superposición de causas y efectos.

Veamos graficamente lo que significa este concepto:

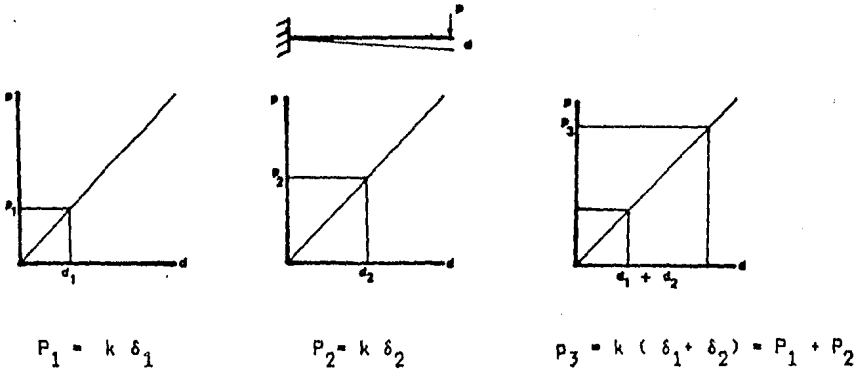


fig 1.1 Representación gráfica del principio de superposición

Es importante observar como el incremento de desplazamiento es independiente del nivel de carga en la viga. Esto es lo que nos permite sumar las causas y los efectos ya que el efecto de una carga es siempre el mismo.

Veamos como en un comportamiento no lineal esto no es posible:

En la fig. 1.2 se ve que las fuerzas provocarán diferentes desplazamiento dependiendo del nivel de carga en que se encuentre la viga, y como era de esperarse, aplicando la suma de fuerzas a la viga no nos da como resultado la suma de los desplazamientos que causan separadamente.

Hacemos énfasis en este sencillo principio porque es de gran importancia para la comprensión de los métodos de análisis estructural y porque haremos uso de él continuamente a lo largo de este trabajo.

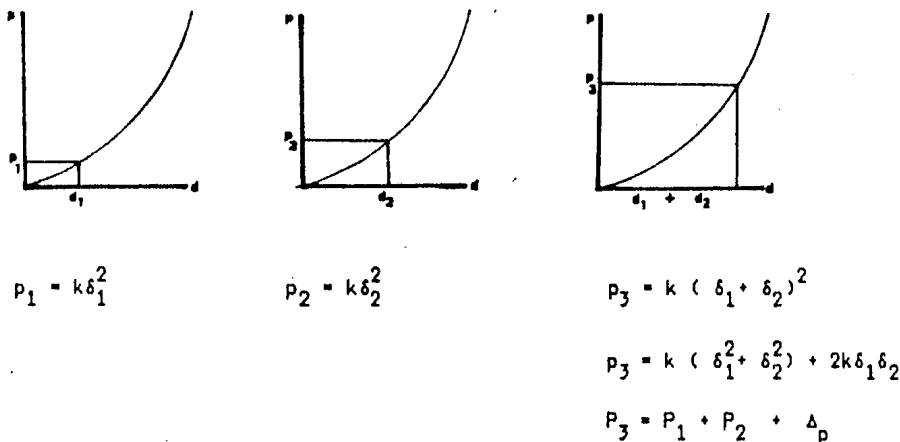


fig 1.2 Comportamiento inelástico de un material
No cumple el principio de superposición

11.i.ii Método de las Rigideces

No es el objetivo de este trabajo mostrar los varios métodos de análisis que existen, mismos que se tratan con mucho detalle en las referencias (2) y (3); sin embargo conviene presentar brevemente el método de las rigideces o de los desplazamientos por sus características que lo convierten en el método ideal para su implementación en las computadoras.

El primer paso en el análisis de cualquier estructura, es definir claramente el modelo que utilizaremos, en cuanto a geometría, condiciones de frontera, propiedades de los materiales y sistema de cargas.

El segundo paso es identificar todas las componentes independientes de desplazamiento respecto a un sistema de referencia dado, que sean necesarias para describir la respuesta de la estructura ante la aplicación de un sistema de fuerzas cualquiera.

Una vez hecho esto, debemos reducir a la estructura a un sistema cinemáticamente determinado e.g. con todas las componentes de desplazamiento restringidas, por medio de empotramientos ficticios. Por este motivo a esta fase se le suele llamar "Empotramiento de la Estructura".

Considerese la estructura de la fig 1.3

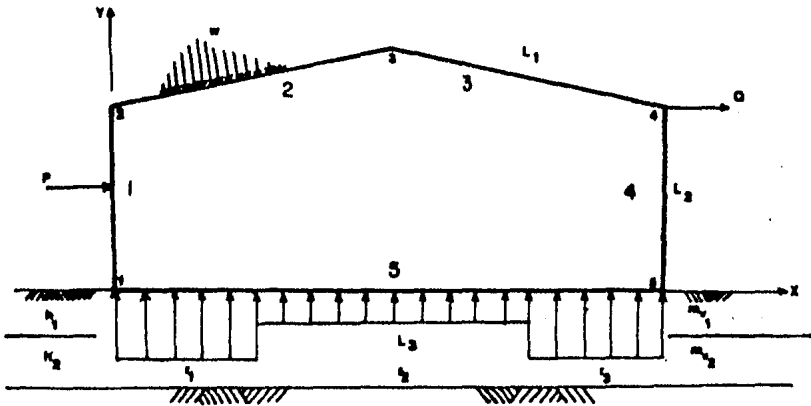


fig 1.3 Definición del modelo.
Geometría, condiciones de frontera, propiedades de los materiales y sistema de cargas.

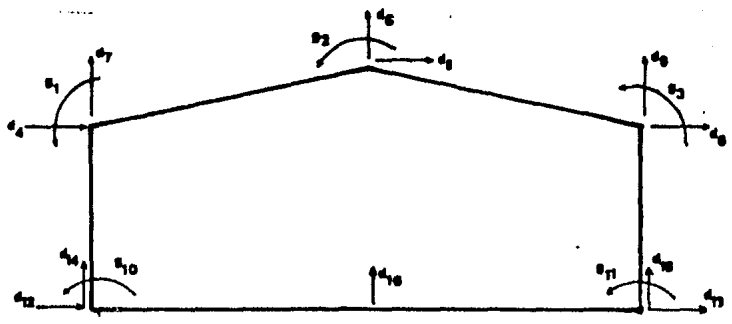


fig 1.4 Identificación de las componentes independientes de desplazamiento
(Aparecen en el sentido positivo supuesto)

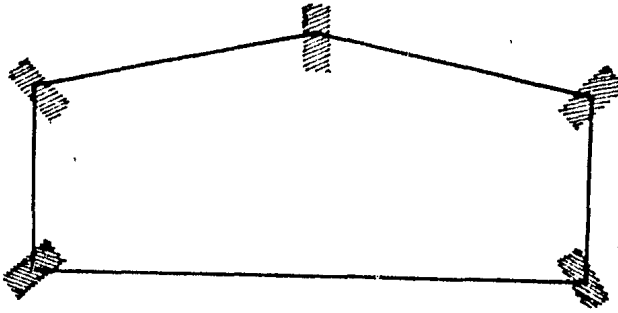


fig 1.5 Estructura cinemáticamente determinada
Empotramientos ficticios.

Las reacciones en los apoyos ficticios para cualquier condición de carga son simplemente, las acciones que se requieren para restringir las componentes de desplazamiento.

En cada nudo estas acciones son la suma de:

- a) Las fuerzas necesarias para restringir el desplazamiento de los nudos debido a cargas aplicadas en los miembros, comúnmente llamadas "Fuerzas de Empotramiento".
- b) Las fuerzas iguales pero de sentido opuesto a las aplicadas directamente sobre los nudos.

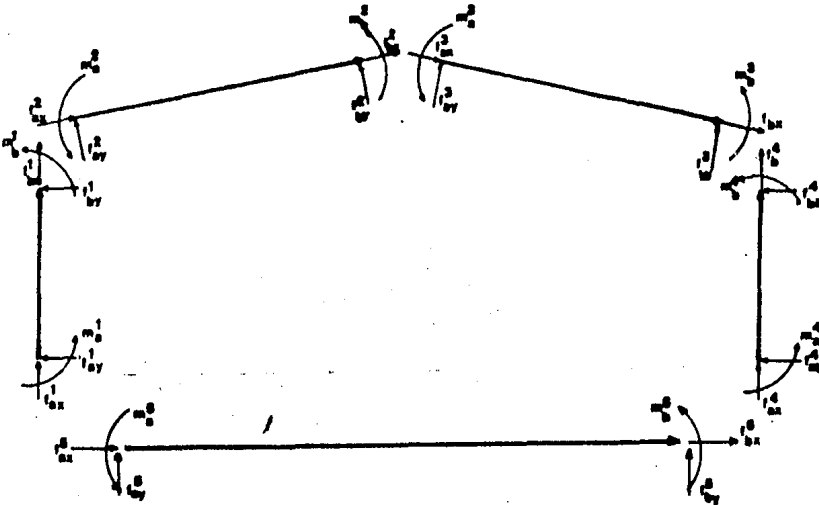


fig 1.6 Fuerzas de empotramiento
(Aparecen en el sentido positivo supuesto (sistema local))

En la fig. 1.6 hemos indicado el sentido positivo del eje local de referencia de cada elemento por medio de una cabeza de flecha. El sentido de los ejes de referencia local se muestran con mas detalle en la fig 1.7a.

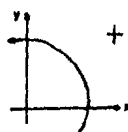
Para sumar las fuerzas y obtener las reacciones de la estructura empotrada es necesario hacer una transformación de coordenadas de modo que todas las fuerzas estén referidas al sistema de referencia de la estructura o sistema global de referencia.

a)

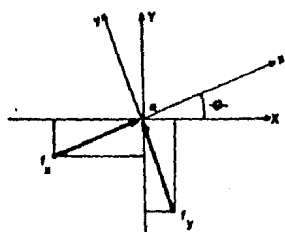
a: Nudo inicial
b: Nudo final



Convención de signos



b)



$$f_{aX} = f_{ax} \cos(\theta) - f_{ay} \sin(\theta)$$

$$f_{aY} = f_{ax} \sin(\theta) + f_{ay} \cos(\theta)$$

$$f_{bX} = f_{bx} \cos(\theta) - f_{by} \sin(\theta)$$

$$f_{bY} = f_{bx} \sin(\theta) + f_{by} \cos(\theta)$$

fig 1.7 a) Sistema Local de referencia y convención de signos
b) Transformación de coordenadas

en forma matricial:

$$\begin{bmatrix} m_a \\ f_{aX} \\ f_{aY} \\ m_b \\ f_{bX} \\ f_{bY} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c & 0 & s & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c & 0 & s \\ 0 & 0 & -s & 0 & c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -s & 0 & c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_a \\ f_{ax} \\ f_{ay} \\ m_b \\ f_{bx} \\ f_{by} \end{bmatrix}$$

$c = \cos(\theta)$
 $s = \sin(\theta)$

Donde [T] es la matriz transformación.

Una vez transformadas las fuerzas de todos los elementos al sistema global es posible obtener las reacciones en cada nodo como la suma de las fuerzas en cada componente de desplazamiento:

$$\begin{array}{lll}
 S_{10} = m_1^1 + m_1^2 & S_{40} = f_4^1 + f_4^2 & S_{70} = f_7^1 + f_7^2 \\
 S_{20} = m_2^1 + m_2^2 & S_{50} = f_5^1 + f_5^2 & S_{80} = f_8^1 + f_8^2 \\
 S_{30} = m_3^1 + m_3^2 & S_{60} = f_6^1 + f_6^2 + Q & S_{90} = f_9^1 + f_9^2
 \end{array}$$

En las reacciones, el primer subíndice indica el grado de libertad donde se aplican y el segundo se refiere a que son reacciones provocadas por el sistema de cargas.

En las fuerzas (f,m) el subíndice indica el grado de libertad y el superíndice se refiere al número de elemento de que se trata.

Agrupando estas reacciones en un vector tenemos:

$$[f] = \begin{bmatrix} S_{1,0} \\ S_{2,0} \\ \vdots \\ S_{15,0} \end{bmatrix}$$

A este vector se le conoce como "vector de cargas".

Encontremos ahora, las fuerzas o reacciones necesarias que deben desarrollarse en los nudos para mantener desplazamientos unitarios en las componentes de desplazamiento.

Hagamos uso del concepto de comportamiento lineal y superpongamos las fuerzas que se generan en cada nudo para mantener a la estructura en equilibrio al imponer los desplazamientos separadamente.

Como se ve en la fig 1.8c:

$$k_{pr} = (k_{qq} + k_{pq})/L \qquad k_{qr} = (k_{qq} + k_{pq})/L$$

y por equilibrio:

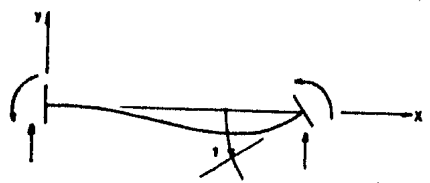
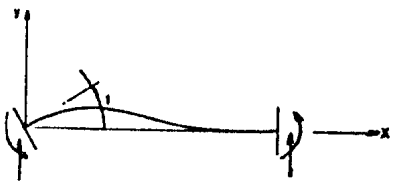
$$\begin{array}{l}
 k_{rr}L + k_{rp} + k_{qr} = 0 \\
 k_{sr}L + k_{pr} + k_{qr} = 0
 \end{array}
 \qquad
 k_{rr} = - \frac{k_{pr} + k_{qr}}{L}$$

$$k_{sr} = \frac{(k_{pr} + k_{qr})}{L} = \frac{(k_{pp} + k_{pq} + k_{qq} + k_{qp})}{L^2}$$

de manera análoga se obtienen las ecuaciones de k_{ss} y k_{sr}

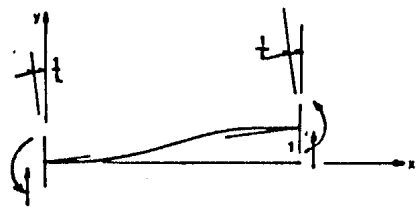
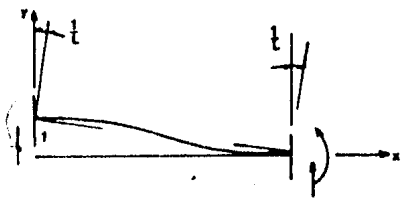
a)

b)



c)

d)



e)

f)

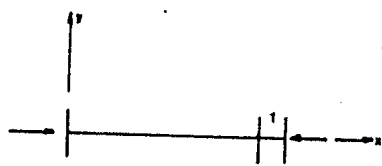


fig 1.8 Fuerzas necesarias para mantener el equilibrio con desplazamiento unitario en las componentes:

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| a) En la componente p | b) En la componente q |
| c) En la componente r | e) En la componente s |
| e) En la componente t | f) En la componente u |

$[k]$ es la matriz de rigidez de un elemento cualquiera, referida al sistema global.

Una vez obtenidas las matrices de rigidez de cada elemento referidas al sistema global, es posible alcanzar nuestro objetivo.

Para obtener las fuerzas que debieran desarrollarse en los nudos para mantener desplazamientos unitarios en las varias componentes de desplazamiento, basta con sustituir en los subíndices p, q, r, s, t y u en la matriz de rigidez de cada elemento por los índices de los grados de libertad que corresponda, y luego hacer la sumatoria de todas ellas. Esto es:

$$[K] = [k]_1 + [k]_2 + [k]_3 + \dots + [k]_n$$

Como en el caso de la matriz de rigidez de un elemento, las fuerzas necesarias para mantener desplazamientos cualesquiera en las direcciones de las componentes definidas, sería, por la ley de Hooke:

$$[S] = [K][\Delta]$$

El lector atento, quizá adivine el siguiente paso que nos llevará a obtener los desplazamientos en los nudos.

Hasta ahora hemos obtenido las fuerzas para restringir los desplazamientos de los nudos o fuerzas de fijación, que dependen fundamentalmente del sistema de fuerzas que se aplica a la estructura. Por otro lado tenemos las fuerzas necesarias para mantener desplazamientos cualesquiera (no son conocidos) en las direcciones de las componentes definidas, que dependen fundamentalmente de las propiedades de los materiales.

Las primeras representan las fuerzas necesarias para mantener a la estructura en equilibrio, sin embargo en su obtención se supusieron desplazamientos nulos, lo que de antemano sabemos que no es posible, de modo que estas fuerzas deberán desarrollarse en la estructura a través de deformaciones.

Estas fuerzas están representadas por el segundo grupo de fuerzas que hemos obtenido.

De estos razonamientos se desprende que:

$$[S] + [F] = 0$$

esto es:

$$[K][\Delta] + [F] = 0$$

Esta expresión da lugar a un sistema de ecuaciones que nos permitirá obtener los desplazamientos de la estructura en las direcciones definidas:

$$[K][\Delta] = -[F]$$

Las acciones que se desarrollan en los extremos de los elementos o "Elementos Mecánicos", pueden obtenerse fácilmente a partir de los desplazamientos obtenidos como:

$$[m] = [k][T]^T[\bar{d}] + [f]$$

Hasta el momento supusimos que las fuerzas de empotramiento eran conocidas pero para los elementos de contacto, en nuestro caso el elemento 5 de la fig. 1.3 las fuerzas de empotramiento quedan en función de las reacciones del terreno:

Para una viga con apoyos continuos:

$$m_p = -\frac{67}{3072} L^2_{r_r} - \frac{11}{192} L^2_{r_{r+1}} - \frac{13}{3072} L^2_{r_s}$$

$$m_q = \frac{13}{3072} L^2_{r_r} + \frac{11}{192} L^2_{r_{r+1}} + \frac{67}{3072} L^2_{r_s}$$

$$f_r = -\frac{121}{512} L^2_{r_r} - \frac{1}{4} L^2_{r_{r+1}} - \frac{7}{512} L^2_{r_s}$$

$$f_s = -\frac{7}{512} L^2_{r_r} - \frac{1}{4} L^2_{r_{r+1}} - \frac{121}{512} L^2_{r_s}$$

Con el nudo 'a' articulado y nudo 'b' continuo:

$$m_p = -\frac{67}{3072} L^2_{r_r} - \frac{11}{192} L^2_{r_{r+1}} - \frac{13}{3072} L^2_{r_s}$$

$$m_q = -\frac{13}{3072} L^2_{r_r} - \frac{11}{192} L^2_{r_{r+1}} - \frac{67}{3072} L^2_{r_s}$$

$$f_r = -\frac{121}{512} L^2_{r_r} - \frac{1}{4} L^2_{r_{r+1}} - \frac{7}{512} L^2_{r_s}$$

$$f_s = -\frac{7}{512} L^2 r_r - \frac{1}{4} L^2 r_{r+1} - \frac{121}{512} L^2 r_s$$

o en forma matricial:

$$[M] = [\gamma] [r]$$

$$\begin{bmatrix} m_p \\ m_q \\ f_r \\ f_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} \\ \gamma_{31} & \gamma_{32} & \gamma_{33} \\ \gamma_{41} & \gamma_{42} & \gamma_{43} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{bmatrix}$$

Al incluir las nuevas variables [r] en el sistema de ecuaciones, tenemos más incógnitas que ecuaciones: una por cada reacción del suelo.

Como veremos en el siguiente inciso, es posible obtener los desplazamientos de la masa de suelo bajo los extremos y el centro del claro de los elementos de contacto, en función de las reacciones.

Aunque hemos planteado una nueva ecuación por cada reacción, el sistema aún no está determinado completamente, pues hemos introducido nuevas incógnitas que son los desplazamientos al centro del claro de los elementos de contacto.

Por último es posible encontrar el desplazamiento al centro del claro, con ayuda de los teoremas de la viga conjugada:

Para una viga con apoyos continuos:

$$\frac{EI}{L} \delta_p - \frac{EI}{L} \delta_q - \frac{3EI}{L^2} \delta_r + \frac{16EI}{L^2} \delta_{r+1} - \frac{8EI}{L^2} \delta_s + \frac{1}{256} L^2 r_r$$

$$+ \frac{13}{384} L^2 r_{r+1} + \frac{1}{256} L^2 r_s = \frac{1}{24} w_x L^2$$

Nudo 'a' articulado y nudo 'b' continuo.

$$\frac{EI}{L} \delta_p - \frac{EI}{L} \delta_q - \frac{3EI}{L^2} \delta_r + \frac{16EI}{L^2} \delta_{r+1} - \frac{8EI}{L^2} \delta_s + \frac{1}{256} L^2 r_r$$

$$+ \frac{13}{384} L^2 r_{r+1} + \frac{1}{256} L^2 r_s = \frac{1}{24} w_x L^2$$

esto es:

$$a_1 \delta_p + a_2 \delta_q + a_3 \delta_r + a_4 \delta_{r+1} + a_5 \delta_s + a_6 r_r + a_7 r_{r+1} + a_8 r_s = \lambda$$

o en forma matricial:

$$[A]\{\delta\} = [L]$$

II.ii Análisis de Asentamientos

II.ii.i Obtención de desplazamientos

Para la obtención de los asentamientos en la masa de suelo, consideremos que tiene propiedades mecánicas diferentes en solo 2 direcciones: la vertical y la horizontal, esto es, en sentido perpendicular a los estratos y en sentido paralelo a ellos.

Definamos ahora el módulo de deformación lineal:

$$M_h = \lim_{\Delta\sigma_x \rightarrow 0} \frac{\Delta \epsilon_x}{\Delta\sigma_x} = \lim_{\Delta\sigma_y \rightarrow 0} \frac{\Delta \epsilon_y}{\Delta\sigma_y} \quad \text{y} \quad M_z = \lim_{\Delta\sigma_z \rightarrow 0} \frac{\Delta \epsilon_z}{\Delta\sigma_z}$$

Donde M_h es el módulo de deformación lineal en la dirección paralela a los estratos. $\Delta \epsilon_x$, $\Delta \epsilon_y$ y $\Delta \epsilon_z$ son los incrementos de deformación en las direcciones x, y y z respectivamente.

$\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$ y $\Delta\sigma_z$ son los incrementos de esfuerzo en las direcciones x, y y z respectivamente.

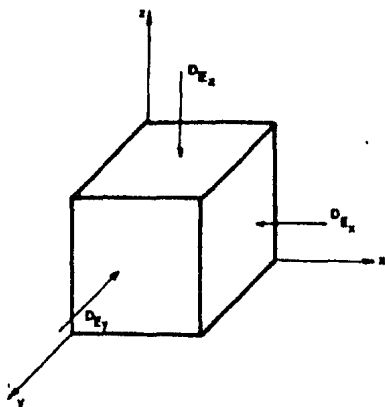


figura 2.1 Elemento de suelo.

Aplicando un incremento de esfuerzo $\Delta\sigma_z$, La deformación inducida en la dirección paralela sería igual a $M_z \Delta\sigma_z$ y en el plano perpendicular sería:

$$- \nu M_z \Delta\sigma_z$$

donde 'U' es el módulo de Poisson, que se considera el mismo en todas direcciones.

De este razonamiento se sigue, que de aplicar incrementos de esfuerzo en las tres direcciones perpendiculares x, y y z respectivamente, las deformaciones correspondientes estarían dadas por:

$$\Delta \epsilon_z = M_z \Delta \sigma_z - U M_h \Delta \sigma_x - U M_h \Delta \sigma_y \quad (2.1)$$

$$\Delta \epsilon_x = M_h \Delta \sigma_x - U M_h \Delta \sigma_y - U M_z \Delta \sigma_z \quad (2.2)$$

$$\Delta \epsilon_y = M_h \Delta \sigma_y - U M_h \Delta \sigma_x - U M_z \Delta \sigma_z \quad (2.3)$$

Con estas ecuaciones estudiemos un caso de especial interés:

Supongamos que el material está confinado de modo que las deformaciones laterales sean iguales a cero, en este caso haciendo $\Delta \epsilon_x = \Delta \epsilon_y = 0$ y sumando las ecuaciones (2.2) y (2.3) obtenemos:

$$M_h (\Delta \sigma_x + \Delta \sigma_y) - M_h U (\Delta \sigma_x + \Delta \sigma_y) - 2U M_z \Delta \sigma_z = 0$$

$$M_h (\Delta \sigma_x + \Delta \sigma_y)(1 - U) - 2U M_z \Delta \sigma_z = 0$$

Despejando M_h

$$M_h = \frac{2U M_z \Delta \sigma_z}{(\Delta \sigma_x + \Delta \sigma_y)(1 - U)}$$

Sustituyendo este valor en la ecuación (2.1) y arreglando términos queda:

$$\Delta \epsilon_z = \frac{(1 + U)(1 - 2U) M_z \Delta \sigma_z}{(1 - U)} = U_c M_z \Delta \sigma_z$$

donde

$$U_c = \frac{(1 + U)(1 - 2U)}{(1 - U)}$$

Como vemos la deformación vertical no depende de M_h , pero sí del módulo de Poisson. Esta condición se presenta en la naturaleza cuando el suelo tiene una área cargada muy grande en su superficie, comparada con el espesor del estrato, o cuando el estrato en cuestión es muy compresible en la dirección vertical pero muy estratificado en la dirección horizontal, y cuando los estratos constituyen materiales muy rígidos que evitan el desplazamiento horizontal.

Estudieemos ahora la compresión volumétrica de un depósito.

$$\Delta_{\underline{e}v} = \frac{\Delta_v}{v}$$

donde $\Delta_{\underline{e}v}$ es el decremento de volumen unitario, Δ_v es el decremento de volumen de la masa de suelo debido a la acción de ciertos incrementos en los esfuerzos y 'v' es el volumen total.

Cuando sometemos a un elemento de suelo a incrementos $\Delta_{\sigma x}$, $\Delta_{\sigma y}$ y $\Delta_{\sigma z}$ en las tres direcciones x, y y z es sencillo probar que la compresión volumétrica inducida (despreciando los términos de segundo orden) es:

$$\Delta_{\underline{e}v} = \Delta_{\underline{e}x} + \Delta_{\underline{e}y} + \Delta_{\underline{e}z}$$

que en el caso en que tenemos confinamiento lateral se reduce a:

$$\Delta_{\underline{e}v} = \Delta_{\underline{e}z} = U_c M_z \Delta_{\sigma z}$$

mas aún, si recordamos la definición del módulo de compresión volumétrica hecha por Terzaghi:

$$m_v = \frac{\Delta_{\underline{e}v}}{\Delta_{\sigma z}}$$

podremos obtener el radio entre el módulo de deformación volumétrica y el módulo de deformación lineal:

$$\frac{m_v}{M_z} = U_c$$

En el cálculo de los asentamientos suele utilizarse el módulo de deforma-

ción volumétrica m_v sin embargo de la figura 2.2 queda claro que su uso introduce errores grandes en la medida en que las condiciones de la masa de suelo se apartan de la hipótesis de confinamiento perfecto, en cuyo caso ambos módulos son iguales.

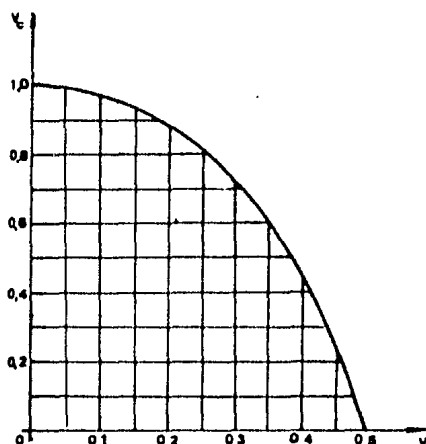


fig 2.2 Variación del cociente m_v / M_z con respecto a U.

Para complementar esta idea, se presentan algunos valores de m_v y de U que es posible encontrar en la práctica.

Compresibilidad	m_v	U	Suelo
Muy alta	mayor que 0.1	0.43-0.35	Arcillas lacustres y limos
Alta	0.1-0.2	0.35-0.30	Arcillas y limos, limos arenosos lacustres. Suelos residuales, polvo volcánico.
Media	0.02-0.005	0.30-0.25	Arcillas compactas y limos suelos eólicos finos, sue los residuales y volcánicos semi-compactos.
Baja	0.005-0.002	0.25	Arena, limos compactos, suelos aluviales Sedimentos compactos y bien graduados
Muy baja	menor a 0.002	0.25	Arenas, gravas. Sedimentos aluviales compactos, cementados y bien graduados.

Para el cálculo de asentamientos podemos escribir con las precauciones que arriba se mencionan, la siguiente expresión:

$$\delta = m_v \Delta \sigma_z \int dz$$

integrando esta ecuación tenemos:

$$\Delta_H = \int_0^H m_v \Delta \sigma_z dz \quad (2.4)$$

Es claro que los incrementos de esfuerzo $\Delta \sigma_z$ en la masa de suelo, dependen de la forma y magnitud de las presiones de contacto que no se conocen aún, y dado que el coeficiente m_v depende de estos esfuerzos, será necesario hacer una estimación preliminar de los esfuerzos de confinamiento para así evaluar tentativamente los posibles valores de m_v . Después que hayamos resuelto el problema y se conozcan las presiones de contacto, debemos revisar que los valores de los esfuerzos de confinamiento supuestos y por lo tanto que los valores de m_v utilizados en la solución sean lo suficientemente aproximados, de lo contrario deberá hacerse una nueva estimación y repetir el cálculo.

La estimación del módulo de compresión volumétrica m_v puede hacerse conociendo los esfuerzos de confinamiento y la curva de compresibilidad del suelo, sabiendo que para la condición de confinamiento lateral:

$$m_v = \frac{\Delta_v}{v} = \frac{\Delta_e}{(1 + e_0) \Delta \sigma_z} \quad (2.5)$$

donde Δ_e es el decremento en la relación de vacíos y e_0 es la relación de vacíos antes de someter al suelo a un incremento de los esfuerzos.

La obtención de la curva de compresibilidad del suelo, se hace a través de una prueba de consolidación, que en forma muy breve, consiste en aplicar incrementos de carga a una muestra de suelo labrada, lo mas inalterada que sea posible, a la que se le confina lateralmente, y asegurando el drenaje del agua para evitar presiones mayores a la hidrostática. El asentamiento producido a la muestra debido a la aplicación de un incremento de carga, no es instantaneo, por lo que es necesario esperar un determinado tiempo hasta que el incremento de desplazamiento con respecto al tiempo sea

despreciable, es hasta entonces que se registra el asentamiento total.

Con el incremento de carga y la geometría de la muestra, es posible obtener el incremento de esfuerzo aplicado, y debido a que el desplazamiento horizontal está restringido, el incremento de asentamiento en la muestra corresponde a un decremento de volumen, mismo que solo puede corresponder a una disminución de los vacíos en la muestra, puesto que se considera que el cambio de volumen de la masa sólida es despreciable.

De este modo conociendo el valor inicial de la relación de vacíos, hemos obtenido un punto de la curva de compresibilidad, e iterando este procedimiento es posible construir la curva completa.

Para más información sobre la prueba de compresibilidad, la referencia (5) contiene una descripción detallada de la misma.

La forma típica de una curva de compresibilidad se muestra en la fig 2.3

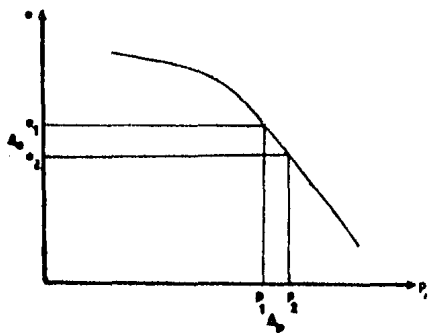


fig 2.3 Forma típica de la curva de compresibilidad.

Si a partir del estado inicial de esfuerzos al que se encontraba la muestra llevamos sobre el eje de las abscisas el incremento de esfuerzo supuesto, obtendremos un nuevo valor de esfuerzo al que corresponderá según la curva de compresibilidad, otro valor de la relación de vacíos.

Sustituyendo los valores obtenidos de e_0 , Δ_e y $\Delta_{\sigma z}$ en la ecuación (2.5) llegamos al valor de m_v deseado.

En la práctica, si tenemos muestras inalteradas de un estrato compresible a distintas profundidades, es posible obtener por medio de la prueba de consolidación las curvas de compresibilidad.

Si consideramos que el módulo de compresión volumétrica m_{vj} obtenido de dichas curvas es representativo de un espesor de suelo h_j y suponemos un incremento de esfuerzo promedio $\Delta_{\sigma zj}$ en ese mismo espesor, podemos entonces evaluar aproximadamente la integral (2.4) como:

$$\Delta_H = m_{v1} \Delta_{\sigma z1} h_1 + m_{v2} \Delta_{\sigma z2} h_2 + \dots \quad \text{para } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.6)$$

11.ii.ii Obtención de los incrementos de esfuerzo en la masa de suelo.

El problema de la distribución de esfuerzos fue planteado y resuelto inicialmente por Boussinesq en 1885. Las suposiciones que se hicieron para hacer posible su solución son aquellas de la teoría elástica, esto es, el suelo semiinfinito, elástico, homogéneo e isótropo.

En la fig 2.4 se presenta el problema tal como lo planteó Boussinesq en aquel entonces.

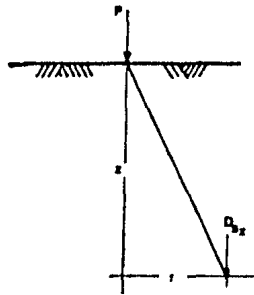


fig 2.4 Problema de Boussinesq.

El incremento de esfuerzo en cualquier punto de la masa de suelo debido a una carga concentrada colocada en la superficie es:

$$\Delta_{\sigma z} = \frac{3.0}{2 \pi} \left[\frac{1}{1 + (r/z)^2} \right]^{5/2}$$

Integrando esta ecuación, pueden obtenerse las expresiones para diferentes condiciones de carga, como la carga lineal uniformemente repartida, o un caso de gran interés práctico como lo es una área rectangular uniformemente cargada. En el Apéndice C se presenta un pequeño programa de computadora para la obtención de los esfuerzos en la masa de suelo haciendo uso de esta última condición de carga.

En general el incremento de esfuerzo en cualquier punto de la masa de suelo

debido a una carga 'r' en la superficie, puede expresarse como:

$$\Delta \sigma_z = I \frac{r}{b}$$

donde 'b' es el ancho de la cimentación e 'I' es el coeficiente de influencia.

El coeficiente de influencia 'I' se puede determinar como el esfuerzo producido por una presión unitaria.

Si tomamos en cuenta los incrementos de esfuerzo inducidos por las construcciones aledañas tendremos:

$$\Delta \sigma_z = q + I \frac{r}{b}$$

'q' es el esfuerzo normal inducido por construcciones aledañas.

generalizando la ecuación (2.5) en forma matricial: (ver la fig 2.5)

$$\delta_i = [m]^T [H] ([q] + [I]_i [b]^{-1} [r]) \text{ para } i=1,2,3,\dots,p \quad (2.6)$$

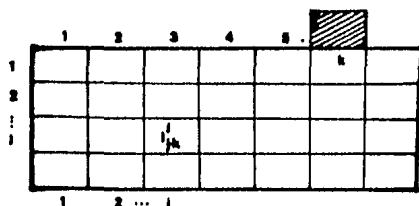


fig 2.5 Notación utilizada en las ecuaciones del suelo.

- n Es el número de estratos o franjas horizontales en que se ha discretizado el suelo.
- p Es el número de reacciones consideradas.

- δ_i Es el asentamiento de la franja 'i'
- $\{m\}$ es un vector de $(n \times 1)$ posiciones, que contiene los m_{vj} de cada estrato.
- $\{H\}$ es una matriz diagonal de (n) posiciones, con los espesores h_j de cada estrato.
- $\{q\}_i$ es un vector de (n) posiciones que contiene los esfuerzos q_j inducidos por construcciones aledañas en cada estrato y en la franja 'i'
- $\{I\}_i$ Es la matriz de influencia de $(n \times p)$ posiciones, que contiene los coeficientes de influencia I_{jk} en el estrato 'j' y franja 'i' debida a una presión unitaria en 'k'.
- $\{b\}$ Es una matriz diagonal de (p) posiciones, que contiene los espesores b_k de la cimentación.
- $\{r\}$ Es un vector de $(p \times 1)$ posiciones y contiene las reacciones r_k que son incógnitas.

de la ecuación (2.6) se obtiene:

$$\delta_i - \{m\}^T \{H\} \{I\}_i \{b\}^{-1} \{r\} = \{m\}^T \{H\} \{q\}_i$$

$$\delta_i - \{\beta_i\} \{r\} = \eta_i \quad \text{para } i=1,2,3,\dots,p \quad (2.7)$$

Con las ecuaciones (2.7) terminamos el análisis del suelo ya que las incógnitas son δ_i y el vector de reacciones $\{r\}$ como se deseaba.

III Implementación

III.i Selección del lenguaje de programación.

La primera decisión que debe tomarse al implementar cualquier sistema o método en la computadora, es elegir entre los varios lenguajes de programación disponibles: BASIC, COBOL, RPG, SPL, FORTRAN, PASCAL, C ... etc. por mencionar solo algunos de los lenguajes de alto nivel más conocidos.

En general los lenguajes de programación tienen características que los hacen más convenientes para ciertas aplicaciones que para otras, por ejemplo:

El BASIC al no requerir "Compilación" (traducción a instrucciones de procesador) y su extrema sencillez lo hacen ideal para la enseñanza, sin embargo estas mismas ventajas se vuelven en contra para aplicaciones técnicas que requieren mucha velocidad de proceso.

El COBOL es un lenguaje tradicionalmente utilizado en aplicaciones administrativas por sus facilidades especiales en el manejo de archivos, mas al igual que el BASIC el tiempo de ejecución tiende a volverse crítico cuando han de realizarse gran cantidad de operaciones aritméticas.

Otros lenguajes como RPG y SPL tienen usos demasiado particulares: Generación de reportes y creación de sistemas operativos y tareas de bajo nivel, respectivamente, que los hacen definitivamente inadecuados para la aplicación que nos ocupa.

La elección quedaría entre los últimos tres lenguajes listados, quizá los tres mas populares hoy día, por sus bien sabidas bondades, sin embargo quedan algunas observaciones para normar nuestro criterio:

El PASCAL es un lenguaje de alto nivel desarrollado por "Niklaus Wirth" con el propósito de 'enseñar' a sus alumnos a programar con corrección y por lo mismo es un lenguaje que exige al programador mucho orden, que lo obliga por lo general a generar programas bien estructurados y fáciles de leer. Desgraciadamente, el manejo de memoria es totalmente transparente para el usuario, que si bien para fines didácticos diera un buen resultado para aplicaciones prácticas en las que este recurso es crítico, es una falla que en general nos llevará a buscar otras alternativas.

El FORTRAN es un lenguaje que exige menos al programador y le permite tener mucho mas control sobre el manejo de la memoria. Por supuesto sin el debido cuidado, el resultado será una programación oscura y difícil de entender.

El lenguaje C quizá sea el mas adecuado ya que agrega a las grandes ventajas de estructuración del PASCAL y a la versatilidad del FORTRAN nuevas facilidades tendientes a utilizar las capacidades de los procesadores modernos, por desgracia el lenguaje aun no está implementado en un buen número de equipos y no ha alcanzado la popularidad de otros lenguajes de alto nivel, esto se traduce en problemas para la transportación y dificultad para que otras personas comprendieran el programa.

Por las razones expuestas, la decisión de utilizar al FORTRAN como lenguaje

para la implementación del método de interacción suelo estructura, parece ser la más adecuada.

III.ii Aspectos Generales

Los objetivos a perseguir en la implementación del método de interacción suelo-estructura a las computadoras son los siguientes:

- a) El programa deberá ser capaz de resolver el problema de interacción suelo - estructura.

Con esto queremos decir:

Definido el modelo de la estructura en cuanto a geometría, materiales, cargas, condiciones de frontera, y habiendo definido las características del suelo y distribución de esfuerzos en los distintos estratos de la masa de suelo, el programa deberá ser capaz de obtener: Los elementos mecánicos en los extremos de cada barra y los desplazamientos de cada nudo de la estructura los asentamientos del suelo y la distribución de las reacciones del terreno.

Los elementos de la estructura estarán limitados a elementos prismáticos y de materiales elástico lineales, en el plano.

La estructura podrá tener sus elementos ortogonales o no.

- b) El programa deberá tener una estructura interna tal, que sea fácil de leer y entender de modo que pueda perfeccionarse y corregirse de ser necesario.
- c) Dado que el recurso de memoria central suele ser limitado, deberá hacer en lo posible un manejo eficiente del mismo con el fin de poder resolver problemas más grandes.
- d) El tiempo de ejecución deberá ser mínimo.

III.iii Solución del problema.

El planteamiento teórico para llevar a cabo la solución del problema se hizo en el segundo capítulo de este trabajo y algunos resultados se presentan en el siguiente.

III.iv Estructuración.

En nuestro caso el pensar en una estructuración adecuada de la programación no es un trabajo demasiado difícil, porque los pasos a seguir están claramente definidos.

Empezando por el nivel más alto de agregación podríamos expresar la solución como:

Obten la longitud e inclinación de cada elemento.

.....
SUBROUTINE CD1R2

Calcula las direcciones de los vectores que dependen de NUEQ

.....
SUBROUTINE LECNO(F,DX,DY,GZ)

Lee las cargas nodales y las suma al vector de cargas de cada condición de carga considerada

.....
SUBROUTINE LECCL(EL,CC,PW,PO,AL,DX,DY,GZ,GEd,NA,NB,TI,CF,F,CO,SE)

Lee las cargas en los elementos

Obtiene las cargas de empotramiento y las suma al vector de cargas de la condición de carga correspondiente

.....
SUBROUTINE OBCEM

*(E,TI,LO,CF,PW,a,alfa,PXA,PXB,PYA,PYB,MZA,MZB,LAM)

Obtiene las cargas de empotramiento las transforma al sistema global de coordenadas.

.....
SUBROUTINE LEEHM(H,MV)

Lee los espesores de los estratos y el módulo de deformación de cada uno de ellos

.....
SUBROUTINE OBTKS(NA,NB,DX,DY,GZ,GR,GEr,GEEd,TI,CO,SE,CF,H)

Obtiene la matriz de rigidez del sistema

.....
SUBROUTINE OBTKE(T,MY,MI,AREA,LO,CF,KE)

Obtiene la matriz de rigidez de un elemento cualquiera

.....
SUBROUTINE LKEL(L,KE,A,B,C,D)

Con los valores independientes A,B,C,D genera el resto de la matriz de rigidez de un elemento cualquiera

.....
SUBROUTINE ROTKE(CO,SE,K)

Transforma la matriz de rigidez 'KE' al sistema global de coordenadas

.....
SUBROUTINE IMPKE(T,KE,BTMAP)

Imprime la matriz de rigidez de un elemento tipo

.....
SUBROUTINE OBGMA(T,LO,CF,GMA)

Obtiene los coeficientes 'gama' o fuerzas de empotramiento

```

.   en funcion de las reacciones del terreno [r]
.   .....
.   SUBROUTINE IPGMA(T,GMA,BTMAP)
.   .....
.   Imprime los coeficientes 'gama'
.   .....
.   SUBROUTINE OBALF(ALF,T,MY,M1,LO,CF)
.   .....
.   'Alfas' o ecuación del desplazamiento al centro del claro
.   .....
.   SUBROUTINE IPALF(T,ALF,BTMAP)
.   .....
.   Imprime los coeficientes 'alfa'
.   .....
.   SUBROUTINE OEBTA(KS,F,BTA,B,II,Q,Mv,H,EC,DC)
.   .....
.   Obten y ensambla los coeficientes 'beta' y 'eta'
.   .....
.   SUBROUTINE ENSAM(KS,N1,D1,N2,D2,VEC)
.   .....
.   Ensambla una matriz de N1 * N2 en la matriz del sistema.
.   .....
.   SUBROUTINE IMPKS(F,KS)
.   .....
.   Imprime la matriz de coeficientes y de terminos Indep. del Sis.
.   .....
.   SUBROUTINE SSECU(KS)
.   .....
.   Solucion del sistema de ecuaciones por Eliminacion Gaussiana
.   .....
.   SUBROUTINE IMPDR(DX,DY,GZ,EC,ELC,GEd,F)
.   .....
.   Imprime desplazamientos nodales
.   Imprime las reacciones del suelo y los desplazamientos al
.   centro del claro de los elementos de contacto
.   .....
.   SUBROUTINE SETBT(BIT,VEC)
.   .....
.   Prende el bit BIT del vector de bits VEC ( rutina auxiliar )
.   .....
.   LOGICAL FUNCTION BTSET(BIT,VEC)
.   .....
.   Se hace verdadera si el bit 'BIT' esta prendido y falsa de lo
.   contrario ( rutina auxiliar )
.   .....
.   SUBROUTINE OBELM
.   +(NA,NB,DX,DY,GZ,GR,GER,TI,SE,CO,CF,EL,CC,PW,PO,AL,F)
.   .....
.   Obtiene los elementos mecánicos en los extremos de cada elemen-
.   to, en el sistema local de coordenadas
.   .....
.   INTEGER FUNCTION FEC(E,ELC)
.   .....
.   Determina el número de elemento de contacto que corresponde al

```

```

. elemento E para poder direccionar los arreglos GED y GER .
.....
REAL FUNCTION OKF(F,E,C)
.
. Regresa el valor real de desplazamiento o reaccion .
. Verifica si el grado de libertad fue restringido .
.....
SUBROUTINE MULT(U1,U2,N,M,D)
.
. Multiplica 2 matrices U1(n,m) y U2(m)
.....
SUBROUTINE TERMI
.
. Cierra archivos, manda mensaje de terminación y termina
.....

```

En el listado se presentan los encabezados de cada subrutina con los parámetros que utiliza, tal y como aparece en el programa fuente. Si se desea conocer el significado de cada variable, en el listado del programa que se anexa en el apéndice B, se encuentra una descripción de cada variable.

El orden en que aparecen las actividades no es casual, las actividades mas generales se encuentran siempre arriba de sus subactividades.

Veamos como quedaria el arbol al que nos hemos referido:

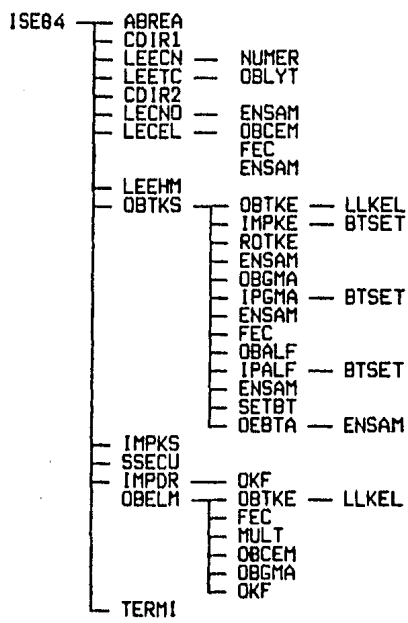


Fig 3.1 Arbol de actividades

En el caso de OBTKS se repitió la actividad ENSAM solo para marcar el orden en que se utiliza.

III.v Memoria

Para la optimización de la memoria utilizamos un viejo método, conocido con el nombre de dimensionamiento pseudodinámico.

Las optimizaciones que suelen hacerse en un análisis tradicional de estructuras en cuanto al almacenaje de la matriz de rigidez del sistema (simétrica, en semibanda o en 'sky line') no son posibles en este método, aunque la matriz de coeficientes resultante es muy porosa, porque esta no es simétrica y los elementos no nulos no necesariamente se aglutinan al rededor de la diagonal principal.

Con el objeto de que el lector pueda leer con facilidad el programa ISE84 presentaremos brevemente el método de dimensionamiento pseudodinámico a continuación:

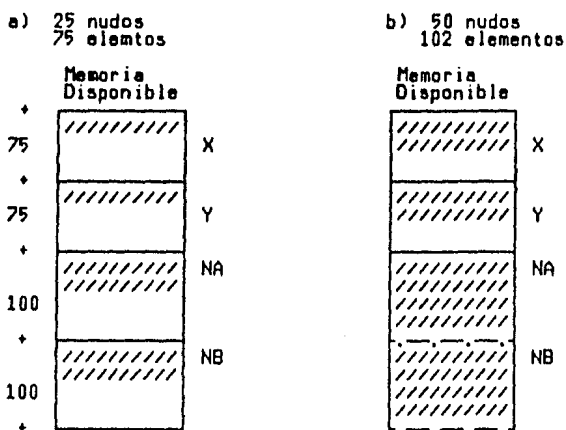


Fig 3.2 Representación esquemática de la memoria, con dimensionamiento estático

La solución de nuestro problema requiere como se ha mencionado ya, de la definición de las características de la estructura: coordenadas nodales, conectividad,... etc. Para almacenar esta información se utilizan arreglos o vectores que deberán declararse dentro del programa bajo un cierto nombre digamos X y Y para las coordenadas y NA y NB para el nudo inicial y nudo final de cada elemento, además deberá reservarse un determinado número de localidades o elementos a cada vector; justamente, es aquí donde comienza el problema: El número de nudos de la estructura, sería la cantidad de localidades a reservar en el caso de las coordenadas, y el número de elementos en el de la conectividad; el problema consiste en que ninguna de estas cantidades es conocida a priori.

La solución en algunos lenguajes sería, estimar la cota superior de cada vector: Digamos 75 nudos y 100 elementos.

En la figura 3.2 se muestra esquemáticamente, como se vería la memoria para dos problemas distintos, y suponiendo que hemos dimensionado los vectores con las cotas mencionadas:

Como vemos el problema (b) no podría ser resuelto con semejante esquema de memoria, aun cuando es claro que hay memoria disponible, pero que está desperdiciada.

El método de dimensionamiento pseudodinámico utiliza habilmente una de las bondades del FORTRAN como veremos a continuación:

Si como parte de los datos, antes que otra cosa solicitamos que se definan algunos parametros de la estructura como son NNUD el número de nudos de la estructura y NELE el número de elementos, entonces si definimos un gran arreglo entero; digamos 'Z' que representara la memoria disponible, sería posible calcular las posiciones iniciales o direcciones de cada vector como un índices del vector Z :

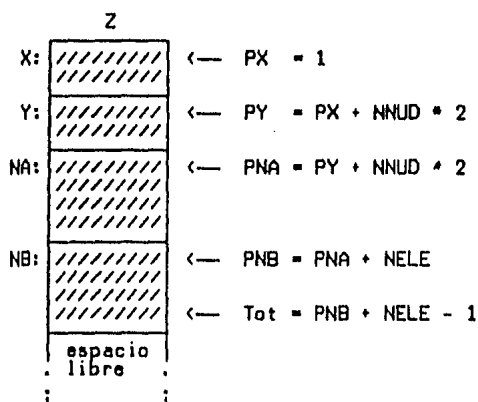


Fig 3.3 Representación de la memoria, con dimensionamiento pseudo-dinámico

Aparentemente se ha reservado el doble del espacio requerido para los vectores X y Y (NNUD * 2) sin embargo es correcto. Esto se explica si tomamos en cuenta que Z es un vector entero como hemos mencionado y los elementos enteros (sin fracción decimal) ocupan una localidad de memoria no así los elementos reales (con fracción decimal) que requieren dos localidades, como X y Y son vectores reales, requieren dos localidades para cada elemento del vector.

(Estas consideraciones pueden variar de equipo a equipo, dependiendo fundamentalmente del tamaño de las localidades de memoria. En cada caso sin embargo podrá investigarse el espacio requerido para cada tipo de variable y utilizar el mismo procedimiento).

Finalmente para hacer uso de la porción de memoria que le ha sido reservada a cada vector, con el nombre que nos interesa (X, Y, NA y NB), basta que pasemos parámetros de la siguiente manera:

```
CALL LEECN(Z(PX),Z(PY),Z(PNA),Z(PNB))
```

```
      .  
      .  
SUBROUTINE LEECN(X,Y,NA,NB)  
COMMON/PA/  NNUD,NELE  
REAL       X(NNUD),Y(NNUD)  
INTEGER    NA(NELE),NB(NELE)
```

```
      .  
      .  
READ(5,1000) (X(i),Y(i),i=1,NNUD,1)
```

Con este procedimiento hemos logrado que cada vector ocupe el espacio estrictamente necesario, evitando así cualquier limitación referente al tamaño específico de cada vector, la única limitación ahora, es que el total de espacio requerido por las variables del problema sea menor o igual al espacio disponible, sin que haya el mas mínimo desperdicio.

Este método de dimensionamiento es de vital importancia en aplicaciones como la que nos ocupa, porque el número de vectores es muy grande, y porque estimando las cotas superiores de cada uno de ellos (Dimensionamiento estático), la probabilidad de que alguno se exceda es muy alta, además de que los desperdicios de memoria crecen dramáticamente.

Otro ahorro de memoria quizá menos importante que el anterior, puede lograrse si nos damos cuenta que en general, existen muchos elementos con idénticas características : Longitud, Inclinación, Area, Momento de Inercia, Módulo de Young y condiciones de frontera. En vez de almacenar todas estas propiedades para cada elemento de la estructura, conviene definir elementos tipo, y asignar un tipo a cada elemento de la estructura.

III.vi Optimización del tiempo de ejecución.

La matriz de rigidez de cada elemento esta en función de sus características y por lo mismo, las matrices de rigidez del mismo tipo son iguales, de modo que la misma matriz de rigidez tipo, podría sumarse a la matriz de coeficientes del sistema, tantas veces como elementos del mismo tipo se hayan definido, sin necesidad de recalcularla.

Estos ahorros en el tiempo de ejecución no suelen ser muy significativos, pues es bien sabido que el grueso del tiempo de solución del problema lo constituye la solución de ecuaciones.

Por las características de la matriz de coeficientes que resulta en la interacción suelo estructura, es necesario recurrir a los métodos tradicionales de solución de ecuaciones, como el Método de Eliminación de Gauss, haciendo a un lado todas las optimizaciones que se han desarrollado para el caso de

análisis simple.

En general pueden lograrse ahorros en el tiempo de ejecución, cuidando los detalles dentro de la programación. Extensos comentarios a este respecto pueden encontrarse en la referencia (8).

10 Interacción suelo estructura con cargas laterales

Antes de presentar los resultados que se obtuvieron del análisis de interacción de una estructura, bajo cargas laterales, es preciso aclarar una pregunta que parece obvia: El módulo de compresión volumétrica, que se utiliza para plantear las ecuaciones de desplazamiento del suelo, se obtuvo de la curva de compresibilidad que como vimos en el capítulo II, durante la prueba de consolidación, debemos esperar a que el desplazamiento de la muestra respecto al tiempo sea muy pequeña para tomar el asentamiento total esto es bien sabido: el desplazamiento producido por un incremento de esfuerzos en la masa de suelo aunque solo nos interesen los desplazamientos "inmediatos", tarda un determinado tiempo en desarrollarse. Si esto es cierto, ¿ Como es que lograremos resultados que reflejen lo que sucede a una estructura bajo la acción de un sismo, si las cargas laterales que provoca son de carácter instantáneo ?.

La respuesta es que precisamente el módulo de compresión volumétrica deberá ser un módulo dinámico.

Este módulo de compresión volumétrica dinámico, puede calcularse si conocemos la curva de esfuerzo-deformación, construida en base a una prueba triaxial, suponiendo al igual que en el caso de la curva de compresibilidad un incremento de esfuerzos en la masa del suelo, con lo que obtendremos el estado final de desplazamiento. Con estos datos se puede calcular el módulo secante o promedio, que es el que se suele utilizar, para fines de cálculo.

A continuación se presentan tres ejemplos de análisis de interacción suelo-estructura, utilizando el programa de computadora ISEB4:

En primer lugar para validar los resultados que el programa produce, se presenta, la solución al problema planteado por el Ing. Agustín Demenghi en la exposición de su trabajo (Ref (1))

En seguida se muestran los resultados para una estructura bajo la acción de cargas laterales. El ejemplo que se presenta es un caso muy particular; se trata de simular que la estructura esta desplantada sobre un relleno arenoso mal compactado o suelto, de modo que el módulo de compresión volumétrica aunque es un módulo dinámico, presenta un valor muy grande.

Aunque la estructura y el modelo son hipotéticos, ilustran el caso de algunas estructuras que se han desplomado súbitamente en condiciones similares.

El tercer y último caso se refiere a la misma estructura pero desplantada en un terreno menos compresible.

En cada caso se muestra primero la hoja de datos para alimentar el programa, la primera y última líneas no pertenecen al archivo de datos, marcan el número de columna dentro del archivo, para que el lector visualice con facilidad la posición de cada campo, (Para información acerca del formato del archivo de datos, referirse a "ISEB4 Instructivo de Uso") después aparecen las hojas de resultados que emite el programa y por último, un croquis de la estructura con la numeración de barras y nudos, que sirve de clave para interpretar los resultados, además de las reacciones y desplazamientos en la masa de suelo.


```

      1      2      3      4      5      6      7
Interacción Suelo Estructura Tesis de Licenciatura Fecha <050320,2146>
Ejemplo 1.1 Marco propuesto por Demeneghi, León Gto. 04 Archivo EJE1_1.ISE
PARAM 4 4 3 1 0 2 1 2
BANDE T F F F F
NODO 1 0.0 0.0 1 0 0
NODO 3 8.0 0.0 1 0 0
NODO 2 0.0 4.6 0 0 0
NODO 4 8.0 4.6 0 0 0
TIPO 1 1581100.0 0.00135 0.08652 0.0 0.0 1
TIPO 2 1581100.0 0.01305 0.24155 0.0 0.0 1
TIPO 3 1581100.0 0.01305 0.24155 0.0 0.0 11
ELE 1 1 2 1
ELE 2 3 4 1
ELE 3 1 3 3
ELE 4 2 4 2
MICAR 3 1 6.4 0.0 0.0
MICAR 4 1 4.0 0.0 0.0
ESTRA 2.4 0.0154
ESTRA 2.0 0.0222
ANCHO 8.0 0.0 8.0
INFLU .4659219 .0279336 .0006354
INFLU .2812209 .1361720 .0092001
Q 0.0000000 0.0000000
INFLU .0250189 .9318438 .0250189
INFLU .1063372 .5624418 .1063372
Q 0.0000000 0.0000000
INFLU .0006354 .0279336 .4659219
INFLU .0092001 .1361720 .2812209
Q 0.0000000 0.0000000
      1      2      3      4      5      6      7

```

PARAMETROS DE LA CORRIDA

MMUD	NELE	NETO	MCCC	MMUC	NELC	NECO	NEST
4	4	3	1	0	2	1	2

SCN	IP1	IP2	IP3	IP4
T	F	F	F	F

COORDENADAS NODALES Y GRADOS DE LIBERTAD

NUDO	X	Y	ecuaciones		
			DX	DY	GSZ
1	0.000	0.000	0	1	2
3	8.000	0.000	0	3	4
2	0.000	4.600	5	6	7
4	8.000	4.600	8	9	10

DEFINICION DE LA CONECTIVIDAD

Elemento	MA	NB	TI
1	1	2	1
2	3	4	1
3	1	3	3
4	2	4	2

ELEMENTOS DE CONTACTO EN EL ORDEN DEFINIDO

Elemento	ecuaciones			
	Rr	Rr+1	Rs	dr+1
3	11	13	14	12

Orden que se asume en la definicion de los coeficientes de influencia y anchos de la cimentacion

Ecuaciones . . .
 11 13 14

ELEMENTOS TIPO

TIPO	E	I	A	L	TE	CF
1	.15811000E+07	.13500000E-02	.86520000E-01	.46000000E+01	.90000010E+02	1
2	.15811000E+07	.13050000E-01	.24155000E+00	.80000000E+01	.00000000E+00	1
3	.15811000E+07	.13050000E-01	.24155000E+00	.80000000E+01	.00000000E+00	11

CARGAS EN LOS MIEMBROS

ELE	CC	P/W	a	alfa	PXA	PYA	NZA	PXB	PYB	NZB
3	1	6.4000	0.0000	0.0000	0.0000	25.6000	34.1333	0.0000	25.6000	-34.1333
4	1	4.0000	0.0000	0.0000	0.0000	16.0000	21.3333	0.0000	16.0000	-21.3333

CARACTERISTICAS DE LOS ESTRATOS

H	Mv
2.400	.154000E-01
2.000	.222000E-01

DESPLAZAMIENTOS NODALES (sistema global)

Nudo	CC	DX	DY	GZ
1	1	.00000000E+00	-.62812743E-01	.20516526E-02
2	1	.79768167E-05	-.63350767E-01	-.33134878E-02
3	1	.00000000E+00	-.62812743E-01	-.20516526E-02
4	1	-.79768167E-05	-.63350767E-01	.33134878E-02

REACCIONES DEL TERRENO

Ecu	CC1
11	.15406202E+02
13	.53937976E+01
14	.15406202E+02

DESPLAZAMIENTOS AL CENTRO DEL CLARO DE LOS ELEMENTOS DE CONTACTO

Elem	Ecu	CC1
3	12	-.61804082E-01

ELEMENTOS MECANICOS (Sistema local)

Ele	CC	MZA	MZB	PYA	PYB	PXA	PXB
1	1	.737808E+00	-.424124E+01	-.761616E+00	.761616E+00	-.160000E+02	.160000E+02
2	1	-.737808E+00	.424124E+01	.761616E+00	-.761616E+00	-.160000E+02	.160000E+02
3	1	-.737808E+00	.737808E+00	-.160000E+02	-.160000E+02	.000000E+00	.000000E+00
4	1	.424124E+01	-.424124E+01	.160000E+02	.160000E+02	.761616E+00	-.761616E+00

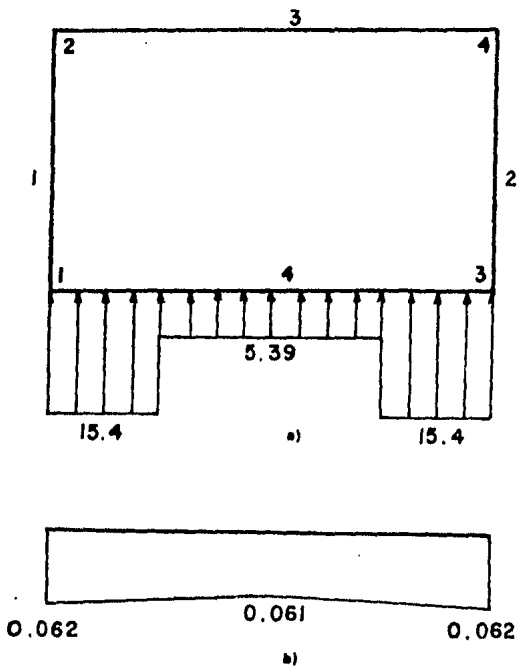


fig 4.1 a) Reacciones del Terreno en Ton/m
 b) Asentamientos en mm

	1	2	3	4	5	6	7	8	
Interacción Suelo Estructura								Ejemplo 02.1	Fecha <850320,2200>
Cargas laterales, compresibilidad del suelo muy alta								Archivo EJE3_1.ISE	
PARAM	18	27	3	1	5	12	2	8	
BANDE	F	F	F	F	F				
NUDO	1		0.0		0.0	1	0	0	
NUDO	2		0.0		0.0	0	0	0	
NUDO	3		0.0		0.0	0	0	0	
NUDO	4		0.0		0.0	0	0	0	
NUDO	5		0.0		0.0	0	0	0	
NUDO	6		0.0		0.0	0	0	0	
NUDO	7		0.0		0.0	1	0	0	
NUDO	8		0.0		0.0	0	0	0	
NUDO	9		0.0		0.0	0	0	0	
NUDO	10		0.0		0.0	0	0	0	
NUDO	11		0.0		0.0	0	0	0	
NUDO	12		0.0		0.0	0	0	0	
NUDO	13		0.0		0.0	1	0	0	
NUDO	14		0.0		0.0	0	0	0	
NUDO	15		0.0		0.0	0	0	0	
NUDO	16		0.0		0.0	0	0	0	
NUDO	17		0.0		0.0	0	0	0	
NUDO	18		0.0		0.0	0	0	0	
TIPO	1	1414200.0	0.0	010800		0.36	3.0	90.0	1
TIPO	2	1414200.0	0.0	14933		0.28	4.0	0.0	1
TIPO	3	1414200.0	0.0	168750		0.90	4.0	0.0	11
ELE	1	1	2	1					
ELE	4	2	3	1					
ELE	7	3	4	1					
ELE	10	4	5	1					
ELE	13	5	6	1					
ELE	2	7	8	1					
ELE	5	8	9	1					
ELE	8	9	10	1					
ELE	11	10	11	1					
ELE	14	11	12	1					
ELE	3	13	14	1					
ELE	6	14	15	1					
ELE	9	15	16	1					
ELE	12	16	17	1					
ELE	15	17	18	1					
ELE	16	1	7	3					
ELE	17	7	13	3					
ELE	18	2	8	2					
ELE	19	8	14	2					
ELE	20	3	9	2					
ELE	21	9	15	2					
ELE	22	4	10	2					
ELE	23	10	16	2					
ELE	24	5	11	2					
ELE	25	11	17	2					
ELE	26	6	12	2					
ELE	27	12	18	2					
NUCAR	2	1	1.010			0.0	0.0		

NUCAR	3	1	2.020	0.0	0.0			
NUCAR	4	1	3.020	0.0	0.0			
NUCAR	5	1	4.030	0.0	0.0			
NUCAR	6	1	3.360	0.0	0.0			
MICAR	16	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	17	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	18	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	19	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	20	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	21	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	22	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	23	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	24	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	25	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	26	1	2.0	0.0	0.0			
MICAR	27	1	2.0	0.0	0.0			
ESTRA	2.0		000.05					
ESTRA	2.0		000.05					
ESTRA	2.0		000.05					
ESTRA	2.0		000.05					
ESTRA	2.0		000.05					
ESTRA	4.0		000.04					
ESTRA	4.0		000.04					
ESTRA	4.0		000.04					
ANCHO	4.0		4.0	4.0	4.0			
INFLU	.3503664	.1189786	.0085065	.0013381	.0002182			
INFLU	.1135475	.1441303	.0505174	.0159162	.0034410			
INFLU	.0498625	.0819744	.0489843	.0247459	.0070496			
INFLU	.0271480	.0488106	.0363144	.0236613	.0081025			
INFLU	.0168959	.0316247	.0261739	.0196393	.0075406			
INFLU	.0096922	.0186611	.0167039	.0140286	.0059428			
INFLU	.0055136	.0107911	.0101238	.0091337	.0041330			
INFLU	.0035473	.0069965	.0067133	.0062758	.0029373			
Q	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000		
Q	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000		
INFLU	.0968607	.7007328	.1189786	.0085065	.0009126			
INFLU	.0878879	.2270950	.1441303	.0505174	.0101129			
INFLU	.0449677	.0997250	.0819744	.0489843	.0145877			
INFLU	.0256999	.0542960	.0488106	.0363144	.0132341			
INFLU	.0163352	.0337917	.0316247	.0261739	.0106232			
INFLU	.0095077	.0193844	.0186611	.0167039	.0073706			
INFLU	.0054539	.0110271	.0107911	.0101238	.0047054			
INFLU	.0035226	.0070946	.0069965	.0067133	.0032006			
Q	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000		
Q	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000		
INFLU	.0062951	.1189786	.7007328	.1189786	.0062951			
INFLU	.0324485	.1441303	.2270950	.1441303	.0324485			
INFLU	.0283408	.0819744	.0997250	.0819744	.0283408			
INFLU	.0198647	.0488106	.0542960	.0488106	.0198647			
INFLU	.0138886	.0316247	.0337917	.0316247	.0138886			
INFLU	.0086554	.0186611	.0193844	.0186611	.0086554			
INFLU	.0051686	.0107911	.0110271	.0107911	.0051686			
INFLU	.0034026	.0069965	.0070946	.0069965	.0034026			
Q	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000		

Q	0.0000000	0.0000000				
INFLU	.0009126	.0085065	.1189786	.7007328	.0968607	
INFLU	.0101129	.0505174	.1441303	.2270950	.0878879	
INFLU	.0145877	.0489843	.0819744	.0997250	.0449677	
INFLU	.0132341	.0363144	.0488106	.0542960	.0256999	
INFLU	.0106232	.0261739	.0316247	.0337917	.0163352	
INFLU	.0073706	.0167039	.0186611	.0193844	.0095077	
INFLU	.0047054	.0101238	.0107911	.0110271	.0054539	
INFLU	.0032006	.0067133	.0069965	.0070946	.0035226	
Q	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Q	0.0000000	0.0000000				
INFLU	.0002182	.0013381	.0085065	.1189786	.3503664	
INFLU	.0034410	.0159162	.0505174	.1441303	.1135475	
INFLU	.0070496	.0247459	.0489843	.0819744	.0498625	
INFLU	.0081025	.0236613	.0363144	.0488106	.0271480	
INFLU	.0075406	.0196393	.0261739	.0316247	.0168959	
INFLU	.0059428	.0140286	.0167039	.0186611	.0096922	
INFLU	.0041330	.0091337	.0101238	.0107911	.0055136	
INFLU	.0029373	.0062758	.0067133	.0069965	.0035473	
Q	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
Q	0.0000000	0.0000000				
.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7.....						

PARAMETROS DE LA CORRIDA

HNULO	NIELE	NETD	NCCC	HNUC	NELC	NECO	NEST
18	27	3	1	5	12	2	8

SCH	IP1	IP2	IP3	IP4
F	F	F	F	F

COORDENADAS NODALES Y GRADOS DE LIBERTAD

NULO	X	Y	ecuaciones		
			DX	DY	GZ
1	0.000	0.000	0	1	2
2	0.000	0.000	3	4	5
3	0.000	0.000	6	7	8
4	0.000	0.000	9	10	11
5	0.000	0.000	12	13	14
6	0.000	0.000	15	16	17
7	0.000	0.000	0	18	19
8	0.000	0.000	20	21	22
9	0.000	0.000	23	24	25
10	0.000	0.000	26	27	28
11	0.000	0.000	29	30	31
12	0.000	0.000	32	33	34
13	0.000	0.000	0	35	36
14	0.000	0.000	37	38	39
15	0.000	0.000	40	41	42
16	0.000	0.000	43	44	45
17	0.000	0.000	46	47	48
18	0.000	0.000	49	50	51

DEFINICION DE LA CONECTIVIDAD

Elemento	NA	NB	TI
1	1	2	1
4	2	3	1
7	3	4	1
10	4	5	1
13	5	6	1
2	7	8	1
5	8	9	1
8	9	10	1
11	10	11	1
14	11	12	1
3	13	14	1
6	14	15	1
9	15	16	1

12	16	17	1
15	17	18	1
16	1	7	3
17	7	13	3
18	2	8	2
19	8	14	2
20	3	9	2
21	9	15	2
22	4	10	2
23	10	16	2
24	5	11	2
25	11	17	2
26	6	12	2
27	12	18	2

ELEMENTOS DE CONTACTO EN EL ORDEN DEFINIDO

Elemento	ecuaciones				
	Rr	Rr+1	Rs	dr+1	
16	52	54	55	53	
17	55	57	58	56	

Orden que se asume en la definicion de los coeficientes de influencia y anchos de la cimentacion

Ecuaciones...
52 54 55 57 58

ELEMENTOS TIPO

TIPO	E	I	A	L	TE	CF
1	.14142000E+07	.10000000E-01	.36000000E+00	.30000000E+01	.90000000E+02	1
2	.14142000E+07	.14933000E-01	.28000000E+00	.40000000E+01	.00000000E+00	1
3	.14142000E+07	.16875000E+00	.90000000E+00	.40000000E+01	.00000000E+00	11

CARGAS NODALES (SISTEMA GLOBAL)

NUDO	CC	FX	FY	MZ
2	1	1.010	0.000	0.000
3	1	2.020	0.000	0.000
4	1	3.020	0.000	0.000
5	1	4.030	0.000	0.000
6	1	3.360	0.000	0.000

CARGAS EN LOS MIEMBROS

ELE	CC	P/W	a	alfa	PXA	PYA	MZA	PXB	PYB	MZB
16	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
17	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
18	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000

19	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
20	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
21	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
22	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
23	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
24	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
25	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
26	1	2.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4.0000	2.6667	0.0000	4.0000	-2.6667
27	1	2.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4.0000	2.6667	0.0000	4.0000	-2.6667

CARACTERISTICAS DE LOS ESTRATOS

H	M
2.000	.500000E-01
2.000	.500000E-01
2.000	.500000E-01
2.000	.500000E-01
2.000	.500000E-01
4.000	.400000E-01
4.000	.400000E-01
4.000	.400000E-01

DESPLAZAMIENTOS NODALES (sistema global)

Nudo	CC	DX	DY	GZ
1	1	.0000000E+00	-.54720189E+00	-.66409399E-01
2	1	.20027822E+00	-.54730005E+00	-.66805171E-01
3	1	.40094356E+00	-.54738687E+00	-.66799273E-01
4	1	.60142894E+00	-.54745921E+00	-.66745953E-01
5	1	.80156343E+00	-.54751087E+00	-.66650345E-01
6	1	.10012237E+01	-.54753360E+00	-.66605709E-01
7	1	.0000000E+00	-.81278948E+00	-.66338237E-01
8	1	.20028157E+00	-.81308126E+00	-.66600236E-01
9	1	.40092940E+00	-.81330538E+00	-.66607295E-01
10	1	.60140717E+00	-.81346626E+00	-.66571990E-01
11	1	.80153739E+00	-.81356573E+00	-.66514868E-01
12	1	.10012278E+01	-.81360542E+00	-.66448908E-01
13	1	.0000000E+00	-.10781064E+01	-.66464171E-01
14	1	.20028748E+00	-.10783765E+01	-.66627686E-01
15	1	.40092400E+00	-.10785843E+01	-.66639381E-01
16	1	.60139973E+00	-.10787283E+01	-.66572994E-01
17	1	.80152884E+00	-.10788129E+01	-.66480622E-01
18	1	.10011988E+01	-.10788449E+01	-.66350004E-01

REACCIONES DEL TERRENO

Ecu	CC1
52	.19483993E+02
54	.77045778E+01
55	.12053101E+02
57	.97999388E+01

DESPLAZAMIENTOS AL CENTRO DEL CLARO DE LOS ELEMENTOS DE CONTACTO

Elem	Ecua	CC1
16	53	-.68000242E+00
17	56	-.94541447E+00

ELEMENTOS MECANICOS (Sistema local)

Ele	CC	MZA	MZB	PYA	PYB	PXA	PXB
1	1	.666172E+01	.263187E+01	.309786E+01	-.309786E+01	-.166636E+02	.166636E+02
2	1	.102317E+02	.756399E+01	.593190E+01	-.593190E+01	-.495222E+02	.495222E+02
3	1	.744786E+01	.578291E+01	.441025E+01	-.441025E+01	-.458508E+02	.458508E+02
4	1	.260387E+01	.266392E+01	.175593E+01	-.175593E+01	-.147405E+02	.147405E+02
5	1	.855375E+01	.848187E+01	.567854E+01	-.567854E+01	-.380408E+02	.380408E+02
6	1	.755286E+01	.743378E+01	.499555E+01	-.499555E+01	-.352554E+02	.352554E+02
7	1	.143448E+01	.197740E+01	.113729E+01	-.113729E+01	-.122829E+02	.122829E+02
8	1	.703787E+01	.739736E+01	.481174E+01	-.481174E+01	-.273073E+02	.273073E+02
9	1	.635348E+01	.702945E+01	.446098E+01	-.446098E+01	-.244465E+02	.244465E+02
10	1	-.789491E-01	.894553E+00	.271868E+00	-.271868E+00	-.877291E+01	.877291E+01
11	1	.479959E+01	.538121E+01	.339360E+01	-.339360E+01	-.168876E+02	.168876E+02
12	1	.511654E+01	.605708E+01	.372454E+01	-.372454E+01	-.143761E+02	.143761E+02
13	1	-.199700E+01	-.154251E+01	-.117984E+01	.117984E+01	-.386403E+01	.386403E+01
14	1	.215673E+01	.282836E+01	.166170E+01	-.166170E+01	-.674149E+01	.674149E+01
15	1	.365222E+01	.498221E+01	.287814E+01	-.287814E+01	-.543104E+01	.543104E+01
16	1	-.666172E+01	.210950E+02	-.166514E+02	-.182949E+02	.000000E+00	.000000E+00
17	1	-.313267E+02	-.744786E+01	-.312151E+02	-.458386E+02	.000000E+00	.000000E+00
18	1	-.523574E+01	-.110718E+02	.192311E+01	.100769E+02	-.331931E+00	.331931E+00
19	1	-.504592E+01	-.133358E+02	.140458E+01	.105954E+02	-.585294E+00	.585294E+00
20	1	-.409840E+01	-.180713E+02	.245758E+01	.954242E+01	.140136E+01	-.140136E+01
21	1	-.544846E+01	-.137873E+02	.119107E+01	.108089E+02	.534568E+00	-.534568E+00
22	1	-.189845E+01	-.806156E+01	.351800E+01	.849000E+01	.215458E+01	-.215458E+01
23	1	-.413539E+01	-.121460E+02	.192966E+01	.100703E+02	.736434E+00	-.736434E+00

24	1	.110245E+01	-.546703E+01	.490885E+01	.709115E+01	.257829E+01	-.257829E+01
25	1	-.207091E+01	-.970931E+01	.305495E+01	.894505E+01	.846394E+00	-.846394E+00
26	1	.154251E+01	-.213514E+01	.385184E+01	.414816E+01	.453984E+01	-.453984E+01
27	1	-.693217E+00	-.498221E+01	.258114E+01	.541886E+01	.287814E+01	-.287814E+01

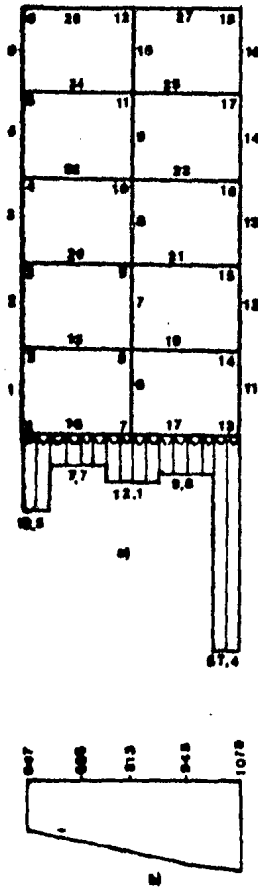


fig 4.2 a) Reacciones del Terrazo en Ton/m²
 b) Asentamientos en mm

	1	2	3	4	5	6	7
Interacción Suelo Estructura				Ejemplo 02.2			Fecha <850320.2205>
Cargas laterales, compresibilidad del suelo baja							Archivo EJE2_2.ISE
PARAM	18	27	3	1	5	12	2
PARAM	8						
BANDE	F	F	F	F	F		
NUDO	1		0.0		0.0	1	0
NUDO	2		0.0		0.0	0	0
NUDO	3		0.0		0.0	0	0
NUDO	4		0.0		0.0	0	0
NUDO	5		0.0		0.0	0	0
NUDO	6		0.0		0.0	0	0
NUDO	7		0.0		0.0	1	0
NUDO	8		0.0		0.0	0	0
NUDO	9		0.0		0.0	0	0
NUDO	10		0.0		0.0	0	0
NUDO	11		0.0		0.0	0	0
NUDO	12		0.0		0.0	0	0
NUDO	13		0.0		0.0	1	0
NUDO	14		0.0		0.0	0	0
NUDO	15		0.0		0.0	0	0
NUDO	16		0.0		0.0	0	0
NUDO	17		0.0		0.0	0	0
NUDO	18		0.0		0.0	0	0
TIPO	1	1414200.0	0.010800		0.36	3.0	90.0
TIPO	2	1414200.0	0.014933		0.28	4.0	0.0
TIPO	3	1414200.0	0.168750		0.90	4.0	0.0
ELE	1	1	2	1			
ELE	4	2	3	1			
ELE	7	3	4	1			
ELE	10	4	5	1			
ELE	13	5	6	1			
ELE	2	7	8	1			
ELE	5	8	9	1			
ELE	8	9	10	1			
ELE	11	10	11	1			
ELE	14	11	12	1			
ELE	3	13	14	1			
ELE	6	14	15	1			
ELE	9	15	16	1			
ELE	12	16	17	1			
ELE	15	17	18	1			
ELE	16	1	7	3			
ELE	17	7	13	3			
ELE	18	2	8	2			
ELE	19	8	14	2			
ELE	20	3	9	2			
ELE	21	9	15	2			
ELE	22	4	10	2			
ELE	23	10	16	2			
ELE	24	5	11	2			
ELE	25	11	17	2			
ELE	26	6	12	2			
ELE	27	12	18	2			
NUCAR	2	1	1.010		0.0	0.0	

NUCAR	3	1	2.020	0.0	0.0			
NUCAR	4	1	3.020	0.0	0.0			
NUCAR	5	1	4.030	0.0	0.0			
NUCAR	6	1	3.360	0.0	0.0			
MICAR	16	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	17	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	18	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	19	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	20	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	21	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	22	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	23	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	24	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	25	1	3.0	0.0	0.0			
MICAR	26	1	2.0	0.0	0.0			
MICAR	27	1	2.0	0.0	0.0			
ESTRA		2.0	0.0005					
ESTRA		2.0	0.0005					
ESTRA		2.0	0.0005					
ESTRA		2.0	0.0005					
ESTRA		2.0	0.0005					
ESTRA		4.0	0.0004					
ESTRA		4.0	0.0004					
ESTRA		4.0	0.0004					
ANCHO		4.0	4.0	4.0	4.0	4.0		
INFLU	.3503664	.1189786	.0085065	.0013381	.0002182			
INFLU	.1135475	.1441303	.0505174	.0159162	.0034410			
INFLU	.0498625	.0819744	.0489843	.0247459	.0070496			
INFLU	.0271480	.0488106	.0363144	.0236613	.0081325			
INFLU	.0168959	.0316247	.0261739	.0196393	.0075406			
INFLU	.0096922	.0186611	.0167039	.0140286	.0059428			
INFLU	.0055136	.0107911	.0101238	.0091337	.0041330			
INFLU	.0035473	.0069965	.0067133	.0062758	.0029373			
Q	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	
Q	0.0000000	0.0000000						
INFLU	.0968607	.7007328	.1189786	.0085065	.0009126			
INFLU	.0878879	.2270950	.1441303	.0505174	.0101129			
INFLU	.0449677	.0997250	.0819744	.0489843	.0145877			
INFLU	.0256999	.0542960	.0488106	.0363144	.0132341			
INFLU	.0163352	.0337917	.0316247	.0261739	.0106232			
INFLU	.0095077	.0193844	.0186611	.0167039	.0073706			
INFLU	.0054539	.0110271	.0107911	.0101238	.0047054			
INFLU	.0035226	.0070946	.0069965	.0067133	.0032006			
Q	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	
Q	0.0000000	0.0000000						
INFLU	.0062951	.1189786	.7007328	.1189786	.0062951			
INFLU	.0324485	.1441303	.2270950	.1441303	.0324485			
INFLU	.0283408	.0819744	.0997250	.0819744	.0283408			
INFLU	.0198647	.0488106	.0542960	.0488106	.0198647			
INFLU	.0138886	.0316247	.0337917	.0316247	.0138886			
INFLU	.0086554	.0186611	.0193844	.0186611	.0086554			
INFLU	.0051686	.0107911	.0110271	.0107911	.0051686			
INFLU	.0034026	.0069965	.0070946	.0069965	.0034026			
Q	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	

Q	0.0000000	0.0000000			
INFLU	.0009126	.0085065	.1189786	.7007328	.0968607
INFLU	.0101129	.0505174	.1441303	.2270950	.0878879
INFLU	.0145877	.0489843	.0819744	.0997250	.0449677
INFLU	.0132341	.0363144	.0488106	.0542960	.0256999
INFLU	.0106232	.0261739	.0316247	.0337917	.0163352
INFLU	.0073706	.0167039	.0186611	.0193844	.0095077
INFLU	.0047054	.0101238	.0107911	.0110271	.0054539
INFLU	.0032006	.0067133	.0069965	.0070946	.0035226

Q 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000

Q 0.0000000 0.0000000

INFLU	.0002182	.0013381	.0085065	.1189786	.3503664
INFLU	.0034410	.0159162	.0505174	.1441303	.1135475
INFLU	.0070496	.0247459	.0489843	.0819744	.0498625
INFLU	.0081025	.0236613	.0363144	.0488106	.0271480
INFLU	.0075406	.0196393	.0261739	.0316247	.0168959
INFLU	.0059428	.0140286	.0167039	.0186611	.0096922
INFLU	.0041330	.0091337	.0101238	.0107911	.0055136
INFLU	.0029373	.0062758	.0067133	.0069965	.0035473

Q 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000 0.0000000

Q 0.0000000 0.0000000

1 2 3 4 5 6 7

Interacción Suelo Estructura Ejemplo 02.2
Cargas laterales, compresibilidad del suelo baja

Fecha <850320.2208>
Archivo EJE2_2.ISE

PARAMETROS DE LA CORRIDA

NNUD	MELE	NETD	NCCC	NNUC	NELC	NECD	NEST
18	27	3	1	5	12	2	8

SCN	IP1	IP2	IP3	IP4
F	F	F	F	F

COORDENADAS NODALES Y GRADOS DE LIBERTAD

NUDO	X	Y	ecuaciones		
			DX	DY	6Z
1	0.000	0.000	0	1	2
2	0.000	0.000	3	4	5
3	0.000	0.000	6	7	8
4	0.000	0.000	9	10	11
5	0.000	0.000	12	13	14
6	0.000	0.000	15	16	17
7	0.000	0.000	0	18	19
8	0.000	0.000	20	21	22
9	0.000	0.000	23	24	25
10	0.000	0.000	26	27	28
11	0.000	0.000	29	30	31
12	0.000	0.000	32	33	34
13	0.000	0.000	0	35	36
14	0.000	0.000	37	38	39
15	0.000	0.000	40	41	42
16	0.000	0.000	43	44	45
17	0.000	0.000	46	47	48
18	0.000	0.000	49	50	51

DEFINICION DE LA CONECTIVIDAD

Elemento	NA	NB	TI
1	1	2	1
4	2	3	1
7	3	4	1
10	4	5	1
13	5	6	1
2	7	8	1
5	8	9	1
8	9	10	1
11	10	11	1
14	11	12	1
3	13	14	1
6	14	15	1
9	15	16	1

12	16	17	1
15	17	18	1
16	1	7	3
17	7	13	3
18	2	8	2
19	8	14	2
20	3	9	2
21	9	15	2
22	4	10	2
23	10	16	2
24	5	11	2
25	11	17	2
26	6	12	2
27	12	18	2

ELEMENTOS DE CONTACTO EN EL ORDEN DEFINIDO

Elemento	ecuaciones				
	Rr	Rr+1	Ra	dr+1	
16	52	54	55	53	
17	55	57	58	56	

Orden que se asume en la definicion de los coeficientes de influencia y anchos de la cimentacion

Ecuaciones...

52	54	55	57	58
----	----	----	----	----

ELEMENTOS TIPO

TIPO	E	I	A	L	TE	CF
1	.14142000E+07	.10800000E-01	.36000000E+00	.30000000E+01	.90000000E+02	1
2	.14142000E+07	.14933000E-01	.28000000E+00	.40000000E+01	.00000000E+00	1
3	.14142000E+07	.16875000E+00	.90000000E+00	.40000000E+01	.00000000E+00	11

CARGAS NODALES (SISTEMA GLOBAL)

NUDO	CC	FX	FY	MZ
2	1	1.010	0.000	0.000
3	1	2.020	0.000	0.000
4	1	3.020	0.000	0.000
5	1	4.030	0.000	0.000
6	1	3.360	0.000	0.000

CARGAS EN LOS MIEMBROS

ELE	CC	P/W	a	alfa	PXA	PYA	MZA	PXB	PYB	MZB
16	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
17	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
18	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000

19	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
20	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
21	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
22	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
23	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
24	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
25	1	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000	6.0000	4.0000	0.0000	6.0000	-4.0000
26	1	2.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4.0000	2.6667	0.0000	4.0000	-2.6667
27	1	2.0000	0.0000	0.0000	0.0000	4.0000	2.6667	0.0000	4.0000	-2.6667

CARACTERISTICAS DE LOS ESTRATOS

H	Mv
2.000	.500000E-03
2.000	.500000E-03
2.000	.500000E-03
2.000	.500000E-03
2.000	.500000E-03
4.000	.400000E-03
4.000	.400000E-03
4.000	.400000E-03

DESPLAZAMIENTOS NODALES (sistema global)

Nodo	CC	DX	DY	GA
1	1	.0000000E+00	-.54202881E-02	-.70735750E-03
2	1	.31842378E-02	-.55256884E-02	-.11068799E-02
3	1	.67563248E-02	-.56119617E-02	-.11005858E-02
4	1	.10148134E-01	-.56839094E-02	-.10474116E-02
5	1	.13189136E-01	-.57353109E-02	-.95192707E-03
6	1	.15805678E-01	-.57579134E-02	-.90675156E-03
7	1	.0000000E+00	-.82124400E-02	-.64092391E-03
8	1	.31878861E-02	-.85056276E-02	-.90228490E-03
9	1	.67421646E-02	-.87307462E-02	-.90946157E-03
10	1	.10126392E-01	-.88923048E-02	-.87413975E-03
11	1	.13163064E-01	-.89921904E-02	-.81702045E-03
12	1	.15759978E-01	-.90320347E-02	-.75105980E-03
13	1	.0000000E+00	-.10750018E-01	-.76962503E-03
14	1	.31940314E-02	-.11019405E-01	-.93041845E-03
15	1	.67367702E-02	-.11226565E-01	-.94235104E-03
16	1	.10118974E-01	-.11370187E-01	-.87584160E-03
17	1	.13154488E-01	-.11454686E-01	-.78334346E-03
18	1	.15731064E-01	-.11486443E-01	-.65326519E-03

REACCIONES DEL TERRENO

Ecu	CC1
52	.19012656E+02
54	.77961211E+01
55	.12422962E+02
57	.97010559E+01

DESPLAZAMIENTOS AL CENTRO DEL CLARO DE LOS ELEMENTOS DE CONTACTO

Elem	Ecu	CC1
16	53	-.60259320E-02
17	56	-.94471284E-02

ELEMENTOS MECANICOS (Sistema local)

Ele	CC	MZA	MZB	PYA	PYB	PXA	PXB
1	1	.674719E+01	.267916E+01	.314212E+01	-.314212E+01	-.165293E+02	.165293E+02
2	1	.102205E+02	.755922E+01	.592656E+01	-.592656E+01	-.497552E+02	.497552E+02
3	1	.737564E+01	.573840E+01	.437135E+01	-.437135E+01	-.457160E+02	.457160E+02
4	1	.262478E+01	.268847E+01	.177095E+01	-.177095E+01	-.146410E+02	.146410E+02
5	1	.855560E+01	.848252E+01	.567937E+01	-.567937E+01	-.382036E+02	.382036E+02
6	1	.753028E+01	.740878E+01	.497969E+01	-.497969E+01	-.351560E+02	.351560E+02
7	1	.145837E+01	.199980E+01	.115272E+01	-.115272E+01	-.122099E+02	.122099E+02
8	1	.783760E+01	.739726E+01	.481162E+01	-.481162E+01	-.274172E+02	.274172E+02
9	1	.632990E+01	.700711E+01	.444567E+01	-.444567E+01	-.243735E+02	.243735E+02
10	1	-.585343E-01	.913712E+00	.285059E+00	-.285059E+00	-.872312E+01	.872312E+01
11	1	.479962E+01	.538123E+01	.339362E+01	-.339362E+01	-.169511E+02	.169511E+02
12	1	.589608E+01	.603792E+01	.371133E+01	-.371133E+01	-.143263E+02	.143263E+02
13	1	-.197601E+01	-.151602E+01	-.116401E+01	.116401E+01	-.383583E+01	.383583E+01
14	1	.215673E+01	.282836E+01	.166170E+01	-.166170E+01	-.676181E+01	.676181E+01
15	1	.363123E+01	.495572E+01	.286232E+01	-.286232E+01	-.540284E+01	.540284E+01
16	1	-.674719E+01	.205709E+02	-.165291E+02	-.184987E+02	.000000E+00	.000000E+00
17	1	-.367914E+02	-.737564E+01	-.312563E+02	-.457159E+02	.000000E+00	.000000E+00
18	1	-.530354E+01	-.111432E+02	.188832E+01	.101117E+02	-.361162E+00	.361162E+00
19	1	-.497162E+01	-.132687E+02	.143992E+01	.105601E+02	-.608345E+00	.608345E+00
20	1	-.414684E+01	-.101287E+02	.243111E+01	.956889E+01	.140177E+01	-.140177E+01
21	1	-.539140E+01	-.137387E+02	.121748E+01	.107825E+02	.534019E+00	-.534019E+00
22	1	-.194126E+01	-.811167E+01	.348677E+01	.851323E+01	.215234E+01	-.215234E+01
23	1	-.408522E+01	-.121032E+02	.195290E+01	.100471E+02	.734335E+00	-.734335E+00

24	1	.106229E+01	-.551321E+01	.408727E+01	.711273E+01	.258093E+01	-.258093E+01
25	1	-.202475E+01	-.966915E+01	.307653E+01	.892347E+01	.849014E+00	-.849014E+00
26	1	.151602E+01	-.217335E+01	.383567E+01	.416433E+01	.452401E+01	-.452401E+01
27	1	-.655010E+00	-.495572E+01	.259732E+01	.540268E+01	.286231E+01	-.286231E+01

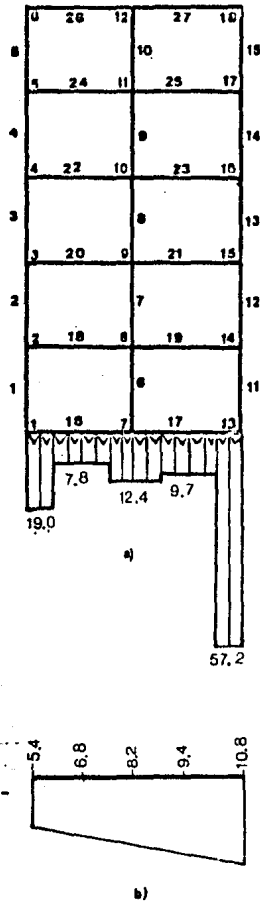


fig 4.3 a) Reacciones del Terreno en Ton/m
 b) Asentamientos en mm

U Conclusiones

En primer término, se hace patente del ejemplo No. 1, del capítulo IV, cómo el análisis de interacción suelo estructura arroja una forma de la reacción que corresponde a las expectativas teóricas, esto es, las presiones de contacto en los extremos son mucho mayores que en el centro, típico comportamiento provocado por un elemento muy rígido de la cimentación que tiende a asentarse uniformemente, y que la diferencia respecto de una distribución uniforme es bastante considerable: tenemos en los extremos una presión de contacto casi tres veces mayor de la que se desarrolla en el centro.

Para el caso del ejemplo 2 del edificio con cargas laterales, la diferencia de la forma que hemos obtenido aplicando la interacción suelo estructura, respecto de una distribución lineal también es notable. Comparemos los resultados de una y otra forma:

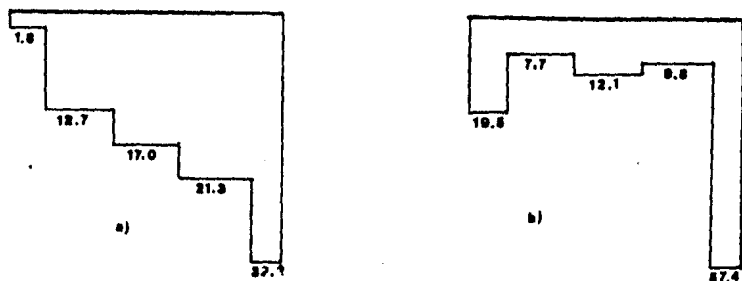


fig 5.1 a) Distribución de fuerza lineal.
b) Reacción obtenida de la interacción Suelo-Estructura.

para la distribución lineal del momento de volteo se utilizó la ecuación:

$$P_i = \frac{M d_i}{\sum d_i^2} \quad \text{y} \quad r_i = \frac{P_i}{l_i}$$

donde M es el momento de volteo total, d_i es la distancia del centro del claro al punto medio de cada reacción, P_i es la resultante de cada reacción y l_i es la distancia en que se aplica la reacción correspondiente; los resultados se presentan en la fig 5.1.

Como vemos, la distribución lineal, vuelve a subestimar el valor de la reacción en los extremos y a sobreestimarlos hacia el centro. Esto se debe

a que este último método de distribución, toma en cuenta, solo la rigidez de los elementos de la cimentación, pero desprecia el comportamiento del suelo.

Estas notables diferencias en la forma de las reacciones, tendrán como resultado diferencias significativas en la determinación de los elementos mecánicos.

Por otro lado, el cambio de un suelo muy blando a uno con baja compresibilidad no afectó en mucho la forma de la reacción, aunque como era de esperarse los desplazamientos se redujeron drásticamente, sin embargo, los elementos mecánicos tampoco se modificaron sustancialmente.

Después de presentar brevemente los resultados obtenidos en algunos de los ejemplos, puede decirse que el método de Interacción Suelo-Estructura que hemos desarrollado a lo largo de este trabajo, contribuye efectivamente a disipar la incertidumbre en cuanto a la forma de la reacción del suelo en particular y a un conocimiento más preciso del comportamiento de las estructuras en general. Es necesario recordar sin embargo, que el análisis que se ha hecho hasta aquí, adolece de todas las limitaciones de un análisis en el plano, y que por lo mismo, en su aplicación a casos reales, deberán hacerse las consideraciones pertinentes a criterio del Ingeniero.

Para la aplicación sistemática del método, quedan aún problemas por resolver: algunos que pueden clasificarse como problemas de la implementación del método, por ejemplo: Las posibles deficiencias numéricas, no han sido estudiadas aún, así como las características de la matriz de coeficientes, que difieren en gran medida de aquella matriz de rigideces en el método de los desplazamientos. Otro punto de estudio importante en este renglón es el de tratar de optimizar el manejo de datos en memoria, que por el momento, tal como está planteado el método, la matriz de coeficientes, es necesario mantenerla completa en memoria, lo que entorpece en gran medida la posibilidad de implementar el método en máquinas personales de bajo costo, con fines prácticos.

Por último, están los problemas en la aplicación del método a problemas reales, tales como: Debido a que los datos obtenidos en campo, no suelen tener la confiabilidad deseada, esto aunado al requerimiento del método de datos obtenidos a partir de muestras inalteradas, lleva a la necesidad de hacer un estudio cuidadoso de la sensibilidad de la solución a la variación de los parámetros, para normar el criterio del ingeniero. Deberán estudiarse procedimientos de modelación, para el caso de estructuras no regulares en planta, primeramente para determinar, si con las suposiciones que seguramente tendrán que hacerse, se justifica un análisis más sofisticado como el que hemos presentado... etc.

Como vemos, el problema dista mucho de estar cerrado, sin embargo, los resultados que arroja el método e implementación aquí mostrados, ayudarán sin duda, a 'calibrar' el criterio del Ingeniero en el diseño de cimentaciones y de estructuras en general.

Apéndice A ISE84, Instructivo de Uso

Contenido

SECCION	i	Introducción
SECCION	ii	Datos necesarios
SECCION	ii.i	Preparación de los datos
SECCION	iii	Codificación
SECCION	iii.i	Identificación de la corrida.
SECCION	iii.ii	Parámetros de la corrida
SECCION	iii.iii	Indicadores de control. (Banderas)
SECCION	iii.iv	Coordenadas nodales
SECCION	iii.v	Elementos tipo
SECCION	iii.vi	Elementos y su conectividad
SECCION	iii.vii	Cargas nodales
SECCION	iii.viii	Cargas en los miembros
SECCION	iii.ix	Características de los estratos.
SECCION	iii.x	Anchos de las franjas de la cimentación
SECCION	iii.xi	Coefficientes de Influencia.
SECCION	iii.xii	Incrementos de esfuerzo debidos a cargas aledañas.
SECCION	iv.i	Datos de la corrida.
SECCION	iv.ii	Desplazamientos
SECCION	iv.iii	Elementos mecánicos

sección i Introducción

En este manual se describe la manera de utilizar el programa para la solución de problemas de Interacción Suelo Estructura ISEB4.

Este manual no pretende hacer un resumen de los conocimientos teóricos que se requieren para la generación de los datos necesarios y la interpretación de los resultados producidos por el programa, sino que se limita a especificar el orden y formato en que estos son requeridos o producidos respectivamente.

Se añaden en la sección II.i algunas recomendaciones en la preparación de los datos que suelen facilitar el trabajo de codificación al que no está familiarizado con algún programa similar de estructuras.

sección ii Datos necesarios

La información que se requiere en la solución de un problema de interacción es la siguiente:

- + Identificación de la corrida
- + Parametros de la corrida
- + Indicadores de control
- + Coordenada nodales y grados de libertad restringidos
- + Elementos tipo
- + Elementos y su conectividad
- + Cargas en los nudos
- + Cargas en los elementos
- + Características de los estratos
- + Ancho de las franjas de la cimentación
- + Coeficientes de Influencia
- + Incrementos de esfuerzos debidos a cargas aladañas.

sección ii.i Preparación de los datos

La preparación de los datos se hace generalmente sobre un plano de trabajo siguiendo los siguientes pasos:

- 1) Se identifica el marco
- 2) Se numeran nudos y barras de toda la estructura, se recomienda se use un color de lápiz para los nudos (verde) y otro para las barras (rojo).

Debido a que se plantea una matriz de coeficientes del sistema que es completa, el orden de la numeración es irrelevante desde el punto de vista numérico, sin embargo se sugiere se siga siempre un patrón con el fin de hacer mas sencilla la interpretación de resultados y la identificación de los posibles errores.

La numeración de las barras se recomienda :

- + Numerar primero las columnas de cada entrepiso de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba.
- + Numerar después las vigas de cada entrepiso, de izquierda a derecha y de abajo hacia arriba.

Siguiendo estas recomendaciones, en los resultados siempre aparecerán todas las columnas juntas, primero las mas esforzadas y después todas las vigas juntas.

- 3) Se identifican los elementos tipo y a cada barra se le asigna su tipo correspondiente (azul).
- 4) Se calculan las coordenadas nodales, eligiendo un sistema de referencia tal que la dirección de los ejes locales de los elementos de contacto coincidan con el eje positivo de las X.

Este paso puede omitirse y optar por definir las longitudes y rotaciones de cada elemento tipo.

- 5) Se procede al cálculo de propiedades geométricas de los elementos tipo : area y momento de inercia.
- 6) Se anota el nudo inicial y final de cada barra.

Esta operación define el sistema local de referencia de cada elemento, que es de vital importancia en la definición de las cargas y la interpretación de los elementos mecánicos.

El eje de la barra corresponde al eje X del sistema local de referencia y a 90 grados medidos a partir de este eje y en sentido contrario a las manecillas del reloj está el eje de las Y.

Se recomienda que la conectividad se haga de la siguiente manera:

- + Las columnas de abajo hacia arriba.
- + Las vigas de izquierda a derecha.

- 7) Se anotan directamente en el plano las cargas en los nudos; un plano para cada condición de carga de ser posible. Lo mismo para cargas en los miembros.
- 8) Se calculan los coeficientes de influencia.

Para verificar el orden en que deben proporcionarse se sugiere hacer una "corrida" preliminar con la bandera $IMP1 = T$.
- 9) Se calculan todos los parametros de la corrida. Se sugiere anotarlos en el plano.
- 10) Se vacia toda la información en un archivo de datos.

sección iii Codificación

El formato de los registros para cada tipo de información se presentan a continuación:

Todos los datos de tipo real utilizarán un campo de diez posiciones sin importar la localización del punto decimal.

Todos los datos de tipo entero, utilizarán un campo de cinco posiciones.

Cada registro con excepción de la identificación de la corrida, llevan una etiqueta de mnemotécnica, de utilidad solo para el usuario, siempre a partir de la primera columna y de cinco posiciones.

sección iii.i Identificación de la corrida.

FORMATO : (40A2)

Son dos registros de 80 caracteres para la identificación de la corrida. La información que debe contener es completamente definida por el usuario, sin embargo se sugiere que contenga la siguiente:

- . Nombre de la obra o proyecto.
- . Identificación del marco.
- . Fecha de creación y/o corrida.
- . Nombre del archivo en que están contenidos los datos.

sección iii.ii Parámetros de la corrida

ETIQUETA: 'PARAM'

FORMATO : (5X,815)

Los parametros son:

VAR.	CI	CF	
----	---	---	
NNUD	6	10	Número de nudos.
NELE	11	15	Número de elementos.
NETD	16	20	Número de elementos tipo distintos. La definición de elementos tipo se hará mas adelante.
NCCC	21	25	Número de condiciones de carga consideradas.
NNUC	26	30	Número de nudos cargados. Es el número de registros que serán capturados en la definición de cargas en los nudos.
NELC	31	35	Número de elementos cargados. Es el número de registros que serán capturados en la definición de cargas en los elementos.
NECO	36	40	Número de elementos de contacto.
NEST	41	45	Número de estratos.

VAR. Nombre de la variable que se utiliza dentro del programa para designar el parámetro correspondiente.

CI Columna Inicial
 CF Columna Final

sección iii.iii: Indicadores de control. (Banderas)
 ETIQUETA: 'BANDE'
 FORMATO : (5X,8L5)

Los posibles valores de estos indicadores son:
 'T' : Verdadero ('true')
 'F' : Falso ('false')

VAR. CI CF

VAR.	CI	CF	Descripción
SCN	10	10	Sí coordenadas nodales Valor e f e c t o ----- T Se darán como dato las coordenadas de los nudos, y a partir de ellas se calcularán las longitudes y rotaciones de los elementos. F No se proporcionan las coordenadas nodales, en cambio se darán las longitudes y rotaciones de todos los elementos tipo.
IMP1	15	15	Bandera de impresion 1 Valor e f e c t o ----- T Lé , imprime los datos y termina la ejecución del programa F Lé los datos y resuelve el problema.
IMP2	20	20	Bandera de impresión 2 Valor e f e c t o ----- T Imprime solo elementos mecánicos F Imprime desplazamientos y elementos mecánicos
IMP3	25	25	Bandera de impresión 3 Valor e f e c t o ----- T Imprime lo siguiente: . Matriz de rigidez de cada elemento tipo . Coeficientes Gama de los elementos de contacto. . Coeficientes Beta de los elementos de contacto. . Matriz de coeficientes del sistema. . Pivotes utilizados durante la solución. F No imprime la información anterior
IMP4	30	30	Bandera de impresión 4 Valor e f e c t o ----- T Imprime los coeficientes de influencia y los in -

crementos de esfuerzo debido a cargas aladañas.

F No imprime la información anterior

sección iii.iv Coordenadas nodales

Son NNUD registros con el siguiente formato:

ETIQUETA: 'NODO '

FORMATO : (5X,15,2F10.0,3I5)

VAR.	CI	CF	
----	--	---	
N	6	10	Número de nudo
X	11	15	Abscisa
Y	16	20	Ordenada
DX	21	25	Restricción al desplazamiento en la dirección X 1 : El desplazamiento está restringido 0 : El desplazamiento está permitido
DY	26	30	Restricción al desplazamiento en la dirección Y 1 : El desplazamiento está restringido 0 : El desplazamiento está permitido
GZ	31	35	Restricción al giro al rededor del eje Z. 1 : El giro está restringido 0 : El giro está permitido

La determinación del sistema global de referencia, debe hacerse de modo que los elementos de contacto tengan su eje local de referencia en la misma dirección que el eje X del sistema global. Esta restricción se debe a que las ecuaciones de los elementos de contacto no sufren la transformación de coordenadas del sistema local al global.

sección iii.v Elementos tipo

Se tendrán NETD registros con el siguiente formato:

ETIQUETA: 'TIPO '

FORMATO : (5X,15,5F10.0,15)

VAR.	CI	CF	
----	--	---	
N	6	10	Tipo
MY	11	20	Módulo de Young o módulo de elasticidad del material.
MI	21	30	Momento de inercia de la sección transversal, con respecto al eje de flexión del elemento. (No olvidar que este eje de flexión de los elementos debe ser un eje principal, de no ser así existirán flexiones fuera del plano de análisis.)
AR	31	40	Área de la sección transversal.
LD	41	50	Longitud.
RD	51	60	Rotación. Es el ángulo en grados, medido a partir del eje positivo de las X del sistema global de referencia en sentido contrario a las manecillas del reloj hasta el eje positivo de las X del sistema local de referencia.
CF	61	65	Condición de frontera. 01 : Elemento biempotrado (nudos continuos).

- 02 : Extremo inicial articulado extremo final em -
potrado
- 03 : Extremo inicial empotrado, final articulado.
- 04 : Elemento biarticulado

Elementos de contacto.

- 11 : Elemento biempotrado (nudos continuos).
- 12 : Extremo inicial articulado extremo final em -
potrado.
- 13 : Extremo inicial empotrado, final articulado.
- 14 : Elemento biarticulado (no implementado).

Los elementos que tienen todos estos datos iguales se dice que son del mismo tipo.

En estructuras muy regulares este concepto ahorrará al usuario una gran cantidad de trabajo, ya que se definirán las propiedades solo de unos cuantos tipos aun cuando sean una gran cantidad de elementos.

sección iii.vi Elementos y su conectividad.

Se tendrán NELE registros con el siguiente formato:

ETIQUETA: 'ELE '
FORMATO : (5X,4I5)

VAR.	CI	CF	
N	6	15	Número de elemento
NA	16	20	Número de nudo del extremo inicial
NB	21	25	Número de nudo del extremo final.
TI	26	30	Tipo del elemento.

Al asignarle un tipo a cada elemento se le asocian las propiedades correspondientes, definidas anteriormente.

sección iii.vii Cargas nodales.

Son NNUC registros con el siguiente formato:

ETIQUETA: 'NUCAR'
FORMATO : (5X,2I5,3F10.0)

VAR.	CI	CF	
N	6	10	Número de nudo
CC	11	15	Condición de carga
FX	16	25	Fuerza en la dirección X (sistema global)
FY	26	35	Fuerza en la dirección Y (sistema global)
MZ	36	45	Momento respecto al eje Z (sistema global)

Los sentidos positivos de las fuerzas coinciden con los ejes del sistema global de referencia.

Los momentos son positivos si son en contra de las manecillas del reloj.

sección iii.vii Cargas en los miembros.

Son NELC registros con el siguiente formato:

ETIQUETA: 'MICAR'

FORMATO : (5X,215,3F10.0)

VAR.	CI	CF	
----	----	----	
EL	6	10	Número del elemento a cargar
CC	11	15	Condición de carga
PW	16	25	Fuerza concentrada o repartida. Es positiva en el sentido de la acción de la fuerza
PO	26	35	Posición 0 : La carga es uniformemente repartida <> 0 : Es la posición de la carga a partir del extremo inicial del elemento.
AL	36	45	Angulo de inclinación de la carga en grados. Se mide con respecto al eje -Y del sistema local de referencia en sentido contrario a las manecillas del reloj hasta el sentido positivo de la fuerza.

sección iii.ix Características de los estratos.

Se tendrán NEST registros con el siguiente formato:

ETIQUETA: 'ESTRA'

FORMATO : (5X,2F10.0)

VAR.	CI	CF	
----	----	----	
H	6	15	Espesor del estrato Los estratos se especifican a partir del estrato en contacto con la superficie en orden hasta el mas profundo.
Mv	16	25	Módulo de deformación

Aquí es muy importante apuntar que el espesor de los estratos definidos deberá ser lo mas pequeño posible con el objeto de ajustarse a la ecuación (2.4)

Se ha detectado, que en caso de que los estratos sean muy potentes, el método no converge y los resultados de las reacciones son impredecibles, comúnmente aparecerán valores negativos.

sección iii.x Anchos de las franjas de la cimentación.

Se deberán proporcionar NECO*3-NNCOM

Donde NNCOM es el número de nudos comunes a dos elementos cualquiera, en tantos registros como sea necesario.

ETIQUETA: 'ANCHO'

FORMATO : (5X,6F10.0)

VAR.	CI	CF	
----	----	----	
B	6	15	Ancho de una franja de la cimentación

16 25
 26 35
 36 45
 46 55
 56 65

sección iii.xi Coeficientes de Influencia.

Se deberán proporcionar NECO*3-NNCOM, para cada estrato, en tantos registros como sea necesario, empezando siempre en un nuevo registro para cada estrato.

ETIQUETA: 'INFLU'

FORMATO : (5X,6F10.0)

VAR. CI CF

VAR.	CI	CF	
II	6	15	Factores de influencia
	16	25	
	26	35	
	36	45	
	46	55	
	56	65	

ISE84 al leer los datos asigna un número de ecuación a las reacciones en los nudos y al centro del claro de los elementos de contacto.

Para evitar confusiones ISE84 reporta el orden en que deben especificarse los factores de influencia dando el número de ecuación de los puntos de interés.

Ejemplo:

Utilicemos el ejemplo EJE1_1.ISE del capítulo IV

En el listado aparece:

ELEMENTOS DE CONTACTO EN EL ORDEN DEFINIDO

Elemento	ecuaciones			
	Rr	Rr+1	Rs	dr+1
3	11	13	14	12

El elemento 3 es un elemento de contacto.

Rr : Es la reacción del terreno en el extremo inicial del elemento.

Rr+1: Es la reacción del terreno al centro del claro.

Rs : Es la reacción en el extremo terminal del elemento.

Los números que aparecen inmediatamente abajo, son los números de ecuación que fueron asignados a estas reacciones.

A continuación se muestra:

Orden que se asume en la definicion de los coeficientes de influencia

Ecuaciones . . .

11 13 14

Lo que significa, que para cada estrato, los coeficientes debieron proporcionalarse de la siguiente manera:

- 1) Incremento de esfuerzo bajo la reaccion de ecuacion 11 debido a una carga unitaria en 11
- 2) Incremento de esfuerzo bajo la reaccion de ecuacion 11 debido a una carga unitaria en 13
- 3) Incremento de esfuerzo bajo la reaccion de ecuacion 11 debido a una carga unitaria en 14
- 4) Se especifican los incrementos de esfuerzo bajo la reaccion de ecuacion 11 debidos a cargas aladañas.
- 5) Incremento de esfuerzo bajo la reaccion de ecuacion 13 debido a una carga unitaria en 11
- 6) Incremento de esfuerzo bajo la reaccion de ecuacion 13 debido a una carga unitaria en 13
- 7) Incremento de esfuerzo bajo la reaccion de ecuacion 13 debido a una carga unitaria en 14
- 8) Incrementos de esfuerzo debido a cargas aladañas debajo de la reaccion de ecuacion 13.

etc.

Este ordenamiento matricialmente se expresa:

$$I_{jk}^i \quad \text{para } (j=1, \dots, \text{NEST}, k=1, \dots, \underbrace{\text{NECO*3-NECOm}}_{\text{NEEC}})$$

NEEC : Es el nombre de la variable que se utiliza dentro del programa para designar este valor.
Es el número de ecuaciones de contacto.

Donde 'i' es el incremento de esfuerzo en la franja 'i' estrato 'j' debido a una carga unitaria en la franja 'k'.

$$q_j^i \quad \text{para } (j=1, \dots, \text{NEST})$$

Donde 'q' es el incremento de esfuerzo en la franja 'i' en el estrato 'j'.

Todo este grupo de información debe aparecer para (i=1,2,..,NEEC)

sección iii.xii Incrementos de esfuerzo debido a cargas aleatorias
Deberán proporcionarse NEST valores.

ETIQUETA: 'Q'
FORMATO: (5X,F10.6)

VAR. CI CF

VAR.	CI	CF	
Q	6	15	Incrementos de esfuerzo debidos a cargas aleatorias
	16	25	
	26	35	
	36	45	
	46	55	
	56	65	

sección iv Interpretación de resultados.

El reporte de resultados esta dividido en tres partes.

- . Datos del problema
- . Desplazamientos nodales
Reacciones del terreno
Desplazamientos al centro del claro de los elementos de contacto.
- . Elementos mecánicos

Datos del problema:

Se despliegan los datos contenidos en el archivo de datos con los cambios o extensiones que se mencionan a continuación.

sección iv.i Datos de la corrida.

Identificación de la corrida

Parámetros de la corrida.

Coordenadas nodales.

Aquí aparecen en vez de los grados de libertad restringidos las ecuaciones que les fueron asignadas. En caso de tener el grado de libertad restringido la ecuación correspondiente es igual a cero.

Estos números de ecuación son necesarios para analizar las matrices de rigidez de los elementos (IMP3 = T) y la matriz de coeficientes del sistema.

Definición de la conectividad.

Aparece en orden cambiado con los elementos tipo.

Elementos de contacto en el orden definido.

Su significado se explica en el inciso III.xi

Orden que se asume en los factores de influencia.

Su significado se explica en la sección II.xi

Elementos tipo

En caso de que se hayan definido coordenadas nodales, se calculan las longitudes y rotaciones de cada elemento tipo, mismas que aparecen en esta sección.

Si no se definieron coordenadas nodales, estas aparecerán en cero y los valores de longitud y rotación que se listan son los mismos que se proyectaron.

Cargas en los miembros.

Aparte de los datos iniciales, se presentan los momentos de empotramiento que generan. (Convención de signos nudo sobre barra)

Características del suelo.

seccion iv.ii Desplazamientos

Desplazamientos nodales.

Se presentan los desplazamientos nodales en el sistema global de coordenadas, para cada nudo y para cada condición de carga.

Reacciones del terreno.

Se asocian las reacciones a los números de ecuación correspondientes, para cada condición de carga.

Desplazamientos al centro del claro de los elementos de contacto

Se asocia el desplazamiento con el elemento y ecuación correspondientes para cada condición de carga.

seccion iv.iii Elementos Mecánicos

Son los elementos mecánicos de cada barra (nudo inicial 'A' y nudo terminal 'B') para cada condición de carga y referidos al sistema local de referencia.

Apéndice B ISE84, Interacción Suelo-Estructura

FTN7X
 *CDS ON

```

-----
C
-----
C==
C== Análisis de Interacción Suelo Estructura
C==
C== Facultad de Ingeniería
C== Universidad Nacional Autónoma de Mexico U. N. A. M.
C==
C== T E S I S P R O F E S I O N A L
C==
C== Alumno : Juan José Pérez Gavilán Escalante.
C== No.Cta : 8059210-5
C==
C== Profesor : Ing Agustín Demeneghi Colina
C==
C==
C== México, D.F., Dic. 1984
-----
C
-----
  
```

```

BLOCK DATA B
IMPLICIT NONE
INCLUDE ISEPA.COM,LIST
  
```

```

*****
* Parametros de la corrida *
*****
  
```

```

INTEGER      TIT(80),      | Titulo de la corrida
+            NNUD,         | Número de nudos
+            NELE,         | Número de elementos
+            NETD,         | Número de elementos tipo distintos
+            NCCC,         | Número de condiciones de carga
+            NNUC,         | Número de nudos cargados
+            NELC,         | Número de elementos cargados
+            NECO,         | Número de elementos de contacto
+            NEST,         | Número de estratos
+            NUEQ,         | Número de ecuaciones
+            NEEC,         | Número de ecua. de elem de contacto
LOGICAL      SCN,         | Sí coordenadas nodales
+            IMP1,         | Imprime datos y termina
+            IMP2,IMP3,IMP4
  
```

```

C
COMMON/PA/   TIT,
+            NNUD,NELE,NETD,NCCC,NNUC,NELC,
+            NECO,NEST,NUEQ,NEEC,
+            SCN,
+            IMP1,IMP2,IMP3,IMP4
  
```

```

C
INCLUDE ISED1.COM,LIST
*****
* Apuntadores al inicio de cada vector *
  
```

```

*****
INTEGER    PX ,      | Abscisas
+          PY ,      | Ordenadas
+          PDX ,     | Ecuaciones del grado de lib X de c/nudo
+          PDY ,     | Ecuaciones del grado de lib Y de c/nudo
+          PGZ ,     | Ecuaciones del grado de lib Z de c/nudo
+          PGR ,     | Ecuación de Rr y Rs
+          PGE d ,  | Ecuación de desplaz al centro del claro
+          PGE r ,  | Ecuación de reacción al centro del claro
+          PMY ,     | Módulo de young de cada elem. tipo
+          PMI ,     | Momento de inercia de c/ elemento tipo
+          PAR ,     | Area de cada elemento tipo
+          PLO ,     | Longitud de cada elemento tipo
+          PRO ,     | Angulo de inclinación de cada elemento.
+          PSE ,     | Seno del angulo de inclinacion de c/el t
+          PCD ,     | Coseno del angulo de inc. de c/ elem tip
+          PCF ,     | Condición de frontera de c/elem tipo
+          PNA ,     | Nudo inicial de cada elemento
+          PNB ,     | Nudo final de cada elemento
+          PTI ,     | Tipo de cada elemento
+          PEL ,     | Elemento a que se aplica una carga
+          PELC ,    | Num de elem de los elem de contacto
+          PCC ,     | Condicion de carga de la carga
+          PPW ,     | Carga concentrada o distribuida
+          PPD ,     | Posición de la carga =0 => carga distr.
+          PAL ,     | Alfa, inclinacion de la carga (resp -y)
+          PGMA ,    | Mat. de coeficientes 'gama'
+          PALF ,    | Vec. de coeficientes 'alfa'
+          PBTA ,    | Mat. de coeficientes 'beta'
+          PETA ,    | Vec. de coeficientes 'eta'
+          PAUX ,    | Vec. auxiliar
+          PKS ,     | Matriz de rigidez del sistema
+          PF ,      | Vector de fuerzas en los nudos
+          PH ,      | Espesor de cada estrato
+          PB ,      | Ancho de cada franja de influencia
+          PQ ,      | Inc. de esfuerzo ( obras adyacentes )
+          PMV ,    | Vector de modulos de def. de c/estrato
+          PII ,     | Matriz de coef. de influencia
+          PEC ,     | Vector de ecua. de elem. de con.
+          PDC ,     | Vector de desp. de elem. de con.
+          NX ,      | Auxiliar

```

```

C
COMMON/DI/ PX ,PY ,PDX ,PDY ,PGZ ,PGR ,PGE d ,PGE r ,
+          PMY ,PMI ,PAR ,PLO ,PRO ,PSE ,PCD ,PCF ,
+          PNA ,PNB ,PTI ,PEL ,PELC ,PCC ,PPW ,PPD ,PAL ,
+          PKS ,PF ,
+          PH ,PB ,PQ ,PMV ,PII ,PBTA ,PGMA ,PALF ,PETA ,PAUX ,
+          PEC ,PDC ,NX

```

```

C
INCLUDE ISEME.COM,LIST
*****
* Reserva el espacio *
*****
INTEGER    Z,MNPZ

```

```

COMMON/ME/  Z(15000),MNPZ
C
  INCLUDE ISEIO.COM,LIST
*****
*   Unidades logicas de entrada y salida   *
*****
  INTEGER    IO,IR,IW
COMMON/IO/  IO,IR,IW
C.....
  DATA      MNPZ/ 10000 /
  DATA      IR   / 5 /
  *          IW   / 6 /
C.....
  END
C
C .....
C -----
$TRACE ON
$FILES(0,2)
  PROGRAM ISE84
C
C   Programa principal
C.....
  IMPLICIT NONE
  INCLUDE  ISEME.COM,NOLIST
  INCLUDE  ISEDI.COM,NOLIST
  INCLUDE  ISEPA.COM,NOLIST
C
  CALL ABREA
  CALL CDIR1
  CALL LEECN(Z(PX ),Z(PY ),Z(PDX),Z(PDY),Z(PGZ))
  CALL LEETC(Z(PMY),Z(PMI ),Z(PAR ),Z(PLO ),Z(PRO ),Z(PCF ),Z(PNA ),
+          Z(PNB),Z(PTI ),Z(PGR ),Z(PGER),Z(PGED),Z(PELC),Z(PEC ),
+          Z(PCD),Z(PDY ))
  CALL CDIR2
  CALL LECNO(Z(PF ),Z(PDX ),Z(PDY ),Z(PGZ ))
  CALL LECEL(Z(PEL),Z(PCC ),Z(PPW ),Z(PPD ),Z(PAL ),Z(PDX ),Z(PDY ),
+          Z(PGZ),Z(PGED),Z(PNA ),Z(PNB ),Z(PTI ),Z(PCF ),Z(PF ),
+          Z(PCO),Z(PSE ))
  CALL LEEHM(Z(PH ),Z(PMU))
  CALL OBTKS(Z(PNA),Z(PNB ),Z(PDX ),Z(PDY ),Z(PGZ ),Z(PGR ),
+          Z(PGER),Z(PGED),Z(PTI ),Z(PCO ),Z(PSE ),
+          Z(PCF ),Z(PH ))
  CALL IMPKS(Z(PF),Z(PKS))
  IF(IMP1) GOTO 1
  CALL SSECU(Z(PKS))
  CALL IMPDR(Z(PDX),Z(PDY ),Z(PGZ ),Z(PEC ),Z(PELC),Z(PGED),Z(PF ))
  CALL OBELM(Z(PNA),Z(PNB ),Z(PDX ),Z(PDY ),Z(PGZ ),Z(PGR ),Z(PGER),
+          Z(PTI),Z(PSE ),Z(PCO ),Z(PCF ),Z(PEL ),Z(PCC ),Z(PPW ),
+          Z(PPD),Z(PAL ),Z(PF ))
1  CALL TERMI
  END
C
C .....
C -----
SUBROUTINE ABREA

```

```

C
C   Pregunta por los archivos de entrada y salida de datos
C   y abre los archivos
C.....
  IMPLICIT NONE
  INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
  INTEGER IRFLE(10),IWFILE(10),IOS
  INTEGER LOGLU
C
C .....
  IO = LOGLU()
  WRITE(IO,3000)
10  WRITE(IO,1000)
  READ (IO,2000) IRFLE
  IF(IRFLE(1).EQ.2H*F) STOP
  OPEN (IR,FILE=IRFLE,Iostat=IOS)
  IF(IOS.EQ.0) GOTO 20
  WRITE(IO,3002) IOS,IRFLE
  GOTO 10
20  WRITE(IO,1002)
  READ (IO,2000) IWFILE
  OPEN (IW,FILE=IWFILE,Iostat=IOS)
  IF(IWFILE(1).EQ.2H*F) STOP
  IF(IOS.EQ.0) GOTO 30
  WRITE(IO,3000) IOS,IWFILE
  GOTO 20
30  RETURN
C
C 3000 FORMAT(//,
+ ' /ISEB4: Analisis de interaccion suelo estructura 8422.8422 ')
1000 FORMAT(' Archivo de datos ..... _')
1002 FORMAT(' Archivo de resultados . _')
2000 FORMAT(20A2)
3002 FORMAT(' /ISEB4 Error #',I4,' abriendo el archivo ',20A2)
  END
C
C .....
C .....
SUBROUTINE CDIR1
C
C   Lee los parametros de la corrida y calcula las direcciones de
C   los arreglos que no dependen de NUEQ
C.....
  IMPLICIT NONE
  INCLUDE ISEME.COM,NOLIST
  INCLUDE ISEDI.COM,NOLIST
  INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
  INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
  INTEGER R,I
  DATA R/2/
C
C .....
  READ (IR,2000) TIT
  WRITE(IW,1001) TIT
  READ (IR,2002) NNUD,NELE,NETD,NCCC,NNUC,NELC,NECO,NEST
  WRITE(IW,1002) NNUD,NELE,NETD,NCCC,NNUC,NELC,NECO,NEST
  READ (IR,2004) SCN ,IMP1,IMP2,IMP3

```

```
WRITE(IW,1004) SCN ,IMP1,IMP2,IMP3
```

```
C  
C  
C
```

```
Inicializa la memoria a cero
```

```
10 I = 1  
Z(I) = 0.0  
I = I + 1  
IF(I.LE.MNP2) GOTO 10
```

```
C  
C  
C
```

```
Calcula las direcciones
```

```
PDX = 1  
PDY = PDX + NNUD  
PGZ = PDY + NNUD  
PGR = PGZ + NNUD  
PGEd = PGR + NNUD  
PGEr = PGEd + NECO  
PNA = PGEr + NECO  
PNB = PNA + NELE  
PTI = PNB + NELE  
PHY = PTI + NELE  
PHI = PHY + NETD *R  
PAR = PHI + NETD *R  
PLD = PAR + NETD *R  
PCO = PLO + NETD *R  
PSE = PCO + NETD *R  
PCF = PSE + NETD *R  
PELC = PCF + NETD  
PEL = PELC + NECO  
PCC = PEL + NELC  
PPW = PCC + NELC  
PPD = PPW + NELC *R  
PAL = PPD + NELC *R  
PH = PAL + NELC *R  
PMv = PH + NEST *R  
PQ = PMv + NEST *R  
PEC = PQ + NEST *R  
PDC = PEC + NECO*3  
PX = PDC + NECO*3  
PY = PX + NNUD *R  
PRO = PY + NNUD *R  
NX = PX  
RETURN
```

```
C
```

```
2000 FORMAT(40A2)  
1001 FORMAT(' ',/,5X,40A2,/,5X,40A2,')  
2002 FORMAT(5X,8I5)  
2004 FORMAT(5X,8L5)  
1002 FORMAT(1X,/,/,3X,'PARAMETROS DE LA CORRIDA'//,  
+3X,'NNUD NELE NETD NCCC NNUC NELC NECO NEST'/,8I7)  
1004 FORMAT(/,3X,'SCN IP1 IP2 IP3',/,4X,L1,3L6)  
END
```

```
C  
C
```

```
.....  
-----
```

```

SUBROUTINE LEECN(X,Y,DX,DY,GZ)
C
C   Lee coordenadas nodales
C   Hace la numeracion de los grados de libertad
C.....
  IMPLICIT NONE
  INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
  INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
  REAL    X(NNUD),Y(NNUD)
  INTEGER DX(NNUD),DY(NNUD),GZ(NNUD)
  INTEGER I,N
C
  WRITE(IW,1000)
  NUEQ = 0
  I = 1
10  READ (IR,2000) N,X(N),Y(N),DX(N),DY(N),GZ(N)
  CALL NUMER(DX(N),DY(N),GZ(N))
  WRITE(IW,1002) N,X(N),Y(N),DX(N),DY(N),GZ(N)
  I = I + 1
  IF(I.LE.NNUD) GOTO 10
  RETURN
C
1000 FORMAT('/',3X,'COORDENADAS NODALES Y GRADOS DE LIBERTAD'//,
+         3X,'          ecuaciones'//,
+         3X,'NUDD          X          Y          DX DY GZ')
2000 FORMAT(5X,I5,2F10.0,3I5)
1002 FORMAT(3X,I4,4X,F12.3,1X,F12.3,4X,3I4)
  END
C
C-----
C
SUBROUTINE NUMER(DX,DY,GZ)
C
C   Numera los grados de libertad
C.....
  IMPLICIT NONE
  INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
  INTEGER DX,DY,GZ,X,Y,Z
C
  X = DX
  Y = DY
  Z = GZ
  DX = 0
  DY = 0
  GZ = 0
  IF(X.EQ.1) GOTO 10
  NUEQ = NUEQ + 1
  DX = NUEQ
10  IF(Y.EQ.1) GOTO 11
  NUEQ = NUEQ + 1
  DY = NUEQ
11  IF(Z.EQ.1) RETURN
  NUEQ = NUEQ + 1
  GZ = NUEQ
  RETURN

```



```

END
C
C .....
C SUBROUTINE LEETC
*(MY,MI,AR,LO,RO,CF,NA,NB,TI,GR,GER,GEEd,ELC,EC,DC,DY)
C
C Lee elementos tipo y la conectividad
C .....
IMPLICIT NONE
INCLUDE ISEME.COM,NOLIST
INCLUDE ISEDI.COM,NOLIST
INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
REAL MY(NETD),MI (NETD),AR (NETD),LO (NETD),RO(NETD)
INTEGER CF(NETD),NA (NELE),NB (NELE),TI (NELE)
INTEGER GR(NNUD),GER(NECO),GEEd(NECO),ELC(NECO)
INTEGER EC(1),DC(1),DY(NNUD)
INTEGER I,N,A,B,T,E
C
C .....
C Lee los elementos tipo
C
C I = 1
10 READ (IR,2000) N,MY(N),MI(I),AR(N),LO(N),RO(N),CF(N)
I = I + 1
IF(I.LE.NETD) GOTO 10
C
C Lee la conectividad
C
WRITE(IW,1002)
I = 1
NECO = 0
NEEC = 0
20 READ (IR,2002) N,A,B,T
NA(N) = A
NB(N) = B
TI(N) = T
C
C Numera las ecuaciones adicionales para los elementos de contacto
C
IF(CF(T).GT.10) THEN
C
C Franja izquierda Rr,dr
C
IF(GR(A).EQ.0) THEN
NUEQ = NUEQ + 1
NEEC = NEEC + 1
GR(A) = NUEQ
EC(NEEC) = NUEQ
DC(NEEC) = DY(A)
ENDIF
C
C Franja central Rr+1,dr+1
C

```

```

NECO      = NECO + 1
ELC(NECO) = N
NEEC      = NEEC + 1
NUEQ      = NUEQ + 1      I dr+1
GEd(NECO) = NUEQ
DC (NEEC) = NUEQ

C
NUEQ      = NUEQ + 1      I Rr+1
GEr(NECO) = NUEQ
EC (NEEC) = NUEQ

C
C
C Franja derecha Rs, ds
IF(GR(B).EQ.0) THEN
  NUEQ    = NUEQ + 1
  NEEC    = NEEC + 1
  GR(B)   = NUEQ
  EC(NEEC) = NUEQ
  DC(NEEC) = DY(B)
ENDIF
ENDIF
WRITE(IW,1004) N,NA(N),NB(N),TI(N)
I = I + 1
IF(I.LE.NELE) GOTO 20

C
C
C Muestra explícito los elementos de contacto definidos y su orden
WRITE(IW,1006)
I = 1
30 E = ELC(I)
A = NA(E)
B = NB(E)
WRITE(IW,1008) E,GR(A),GEr(I),GR(B),GEd(I)
I = I + 1
IF(I.LE.NECO) GOTO 30

C
C
C Muestra el orden que se asume en los datos de influencia y
C anchos de la cimentación
IF(NEEC.NE.0)
*WRITE(IW,1010) (EC(I),I=1,NEEC)

C
C Muestra ahora los elementos tipo
C
CALL OBLYT(Z(PX),Z(PY),NA,NB,TI,LO,RO,Z(PCD),Z(PSE))
WRITE(IW,1000)
I = 1
40 WRITE(IW,1012) I,MY(I),HI(I),AR(I),LO(I),RO(I),CF(I)
I = I + 1
IF(I.LE.NETD) GOTO 40
RETURN

C
1000 FORMAT(//,3X,'ELEMENTOS TIPO'//,
+       3X,'TIPO E I A ',

```



```
IF(T.LE.NETD) GOTO 40
RETURN
END
```

```
C .....
C -----
```

```
SUBROUTINE CDIR2
```

```
C
C Calcula las direcciones de los vectores que dependen de NUEQ
```

```
C.....
```

```
IMPLICIT NONE
INCLUDE ISEME.COM,NOLIST
INCLUDE ISEDI.COM,NOLIST
INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
INTEGER TOT,R
DATA R /2/
```

```
C .....
C -----
```

```
PB = NX
PII = PB + NEEC *R
PALF= PII + NEST*NEEC *R
PBTA= PALF+ 10 *R
PGMA= PBTA+ NEEC *R
PKS = PGMA+ 4*3 *R
PF = PKS + NUEQ*NUEQ *R
TOT = PF + NUEQ*NCCC *R-1
IF(TOT.LE.MNPZ) RETURN
```

```
C
C No fue suficiente el espacio reservado
C Asegurate de despues de leer los datos terminar
```

```
C
C WRITE(10,3000) TOT,MNPZ
C IMP1 = .TRUE.
C RETURN
```

```
C
3000 FORMAT(' /ISE84 No hay suficiente espacio ',/,
+ ' Numero de palabras requeridas = ',16,/,
+ ' Numero de palabras reservadas = ',16 )
END
```

```
C .....
C -----
```

```
SUBROUTINE LECND(F,DX,DY,GZ)
```

```
C
C Lee las cargas nodales y las suma al vector de cargas
C de cada condicion de carga considerada
```

```
C.....
```

```
IMPLICIT NONE
INCLUDE ISEME.COM,NOLIST
INCLUDE ISEDI.COM,NOLIST
INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
INTEGER DX(NNUD),DY(NNUD),GZ(NNUD)
REAL F(NUEQ,NCCC)
INTEGER I,N,CC,DIR(3),DIR2
REAL FX,FY,MZ,U(3)
```

```

EQUIVALENCE (U(1),FX),
+           (U(2),FY),
+           (U(3),MZ)
C
IF(NNUC,EQ.0) RETURN
WRITE(IW,1000)
I = 1
10 READ (IR,2000) N,CC,FX,FY,MZ
WRITE(IW,1002) N,CC,FX,FY,MZ
DIR(1) = DX(N)
DIR(2) = DY(N)
DIR(3) = GZ(N)
DIR2 = CC+NUEQ
CALL ENSAM(Z(PKS),3,DIR,1,DIR2,U)
I = I + 1
IF(I.LE.NNUC) GOTO 10
RETURN
C
1000 FORMAT(//,3X,'CARGAS NODALES ( SISTEMA GLOBAL )'//,
+          3X,'NUDD CC      FX      FY      MZ      ')
2000 FORMAT(5X,2I5,3F10.0)
1002 FORMAT(3X,2I4,3F12.3)
END
C
C -----
C SUBROUTINE LECEL(EL,CC,PW,PO,AL,DX,DY,GZ,Ged,NA,NB,TI,CF,F,CO,SE)
C
C Lee las cargas en los elementos
C obtiene las cargas de empotramiento y las suma al vector de
C cargas de la condicion de carga correspondiente
C.....
IMPLICIT NONE
INCLUDE ISEME.COM,NOLIST
INCLUDE ISEDI.COM,NOLIST
INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
INTEGER EL (NELC),CC (NELC),DX(NNUD),DY(NNUD),GZ(NNUD)
INTEGER Ged(NECD),NA(NELE),NB(NELE),TI(NELE)
INTEGER CF (NETD)
REAL PW (NELC),PO(NELC),AL(NELC),F(NUEQ,NCCC)
REAL CO(NETD),SE(NETD)
INTEGER I,E,C,EA,EB,FR,T,DIR(7),DIR2,FEC
REAL a,alfa,P
REAL MZA,MZB,PYA,PYB,PXA,PXB,LAM,Pxx,U(7)
REAL COS,SEN
EQUIVALENCE (U(1),MZA),
+           (U(2),MZB),
+           (U(3),PYA),
+           (U(4),PYB),
+           (U(5),PXA),
+           (U(6),PXB),
+           (U(7),LAM)
C
WRITE(IW,1000)

```

```

I = 1
10 READ (IR,2000) E,C,P,a,alfa
   EL(1) = E
   CC(1) = C
   PW(1) = P
   PO(1) = a
   AL(1) = alfa

C
C   Obten las cargas de empotramiento y sumalas al vector de cargas
C   de la condicion de carga correspondiente
C
T = TI(E)
FR = CF(T)
EA = NA(E)
EB = NB(E)
COS = CO(T)
SEN = SE(T)
CALL DBCEM(E,TI,Z(PLO),CF,P,a,alfa,PXA,PXB,PYA,PYB,MZA,MZB,LAM)
WRITE(IW,1002) E,C,P,a,alfa,PXA,PYA,MZA,PXB,PYB,MZB

C
C   Transforma las cargas al sistema global de coordenadas
C   y pasalas al otro miembro
C
MZA = - MZA
Pxx = -(PXA*COS - PYA*SEN)
PYA = -(PYA*COS + PXA*SEN)
PXA = Pxx
MZB = - MZB
Pxx = -(PXB*COS - PYB*SEN)
PYB = -(PYB*COS + PXB*SEN)
PXB = Pxx

C
C   ensambla las cargas
C
DIR(1) = GZ(EA)
DIR(2) = GZ(EB)
DIR(3) = DY(EA)
DIR(4) = DY(EB)
DIR(5) = DX(EA)
DIR(6) = DX(EB)
DIR(7) = 0
IF(FR.GT.10) DIR(7) = Ged( FEC(E,Z(PELC)) )
DIR2 = C+NUJQ
CALL ENSAM(Z(PKS),7,DIR,1,DIR2,U)

C
I = I + 1
IF(I.LE.NELC) GOTO 10

C
1000 FORMAT(//,3X,'CARGAS EN LOS MIEMBROS',//,
+          3X,'ELE CC      P/W      a          alfa  ',
+          '          PXA      PYA      MZA      ',
+          '          PXB      PYB      MZB      ')
2000 FORMAT(5X,215,3F10.0)
1002 FORMAT(3X,I3,I4,9F12.4)

```

```

C      END
C      .....
C      -----
C      SUBROUTINE OBCEM
C      *(E,TI,LO,CF,PW,a,alfa,PXA,PXB,PYA,PYB,MZA,MZB,LAM)
C
C      Obtiene las cargas de empotramiento
C      las transforma al sistema global de coordenadas.
C      .....
C      IMPLICIT NONE
C      INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
C      INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
C      INTEGER E,TI(NELE),CF(NETD)
C      REAL LO(NETD),PW,a,alfa
C      REAL PXA,PYA,MZA,PXB,PYB,MZB,LAM
C      INTEGER T,FR
C      REAL C,b,b2,a2,L,L2,L3
C      REAL px,py,wx,wy
C      EQUIVALENCE (px,wx),(py,wy)
C      DATA C/ 0.0174532 /
C      .....
C      alfa = alfa*C
C      px = PW*SIN(alfa)
C      py = PW*COS(alfa)
C      T = TI(E)
C      FR = CF(T)
C      L = LO(T)
C      b = L - a
C
C      L2 = L*L
C      L3 = L2 *L
C      b2 = b*b
C      a2 = a*a
C
C      IF(FR.GT.10) FR = FR - 10
C      IF(a.EQ.0) GOTO 15
C
C      Cargas concentradas
C
C      Aun no se define la constante 'lamda' para cargas concentradas
C
C      GOTO(11,12,13,14) FR
C
C      Doblemente empotrado
C
C      11 PXA =-px*b/L
C      PYA = py*b2*(3.0*a + b)/L3
C      MZA = py*a*b2/L2
C      PXB =-px*a/L
C      PYB = py*a2*(a+3.0*b)/L3
C      MZB =-py*a2*b/L2
C      RETURN
C
C      Articulado A empotrado B

```

C
 12 PXA = -px*b/L
 PYA = py*b2*(a+2.0*L)/(2.0*L3)
 MZA = 0.0
 PXB = -px*a/L
 PYB = py*a*(3.0*L2-a2)/(2.0*L3)
 MZB = -py*a*b*(a+L)/(2.0*L2)
 RETURN

C
 C Empotrado B articulado A

C
 13 PXA = -px*b/L
 PYA = py*a*(3.0*L2-a2)/(2.0*L3)
 MZA = py*a*b*(a+L)/(2.0*L2)
 PXB = -px*a/L
 PYB = py*b2*(a+2.0*L)/(2.0*L3)
 MZB = 0.0
 RETURN

C
 C Biarticulado

C
 14 PXA = -px*b/L
 PYA = py*b/L
 MZA = 0.0
 PXB = -px*a/L
 PYB = py*a/L
 MZB = 0.0
 RETURN

C
 C Cargas uniformemente repartidas

C
 15 GOTO(16,17,18,19) FR

C
 C Elemento doblemente empotrado

C
 16 PXA = -wx*L /2.0
 PYA = wy*L /2.0
 MZA = wy*L2/12.0
 PXB = PXA
 PYB = PYA
 MZB = -MZA
 IF(CF(T).GT.10) LAM=-wy*L2/24.0
 RETURN

C
 C Articulado A empotrado B

C
 17 PXA = -wx*L/2.0
 PYA = 3.0*wy*L/8.0
 MZA = 0.0
 PXB = PXA
 PYB = 5.0*wy*L/8.0
 MZB = -wy*L2/8.0
 IF(CF(T).GT.10) LAM=-wy*L2/12.0
 RETURN


```

C
C      Empotrado A articulado B
C
18  PXA = -wx/2.0
    PYA = 5.0*wy*L/8.0
    MZA = wy*L2/8.0
    PXB = PXA
    PYB = 3.0*wy*L/8.0
    MZB = 0.0
    IF(CF(T).GT.10) LAM=-wy*L2/12.0
    RETURN

C
C      Biarticulado
C
19  PXA = -wx*L/2.0
    PYA = wy*L/2.0
    MZA = 0.0
    PXB = PXA
    PYB = -PYA
    MZB = 0.0

C
C      Lamda aun no esta definida para esta condicion de frontera
C
    RETURN
    END

C
C      .....
C      -----
C      SUBROUTINE LEEHM(H,MV)
C
C      Lee los espesores de los estratos y el modulo de deformacion de
C      cada uno de ellos
C      .....
    IMPLICIT NONE
    INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
    INCLUDE ISE10.COM,NOLIST
    REAL    H(NEST),MV(NEST)
    INTEGER I

C      .....
    WRITE(IW,1000)
    I = 1
10   READ (IR,2000) H(I),MV(I)
    WRITE(IW,1002) H(I),MV(I)
    I = I + 1
    IF(I.LE.NEST) GOTO 10
    RETURN

C
1000  FORMAT(//,3X,'CARACTERISTICAS DE LOS ESTRATOS',//,
+      3X,' H           MV ')
1002  FORMAT(3X,F8.3,3X,E14.6)
2000  FORMAT(5X,2F10.0)
    END

C
C      .....
C      -----
C      SUBROUTINE OBTKS(NA,NB,DX,DY,GZ,GR,GER,GEEd,TI,CO,SE,CF,H)

```

```

C
C   Obtiene la matriz de rigidez del sistema
C.....
  IMPLICIT NONE
  INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
  INCLUDE ISEME.COM,NOLIST
  INCLUDE ISED1.COM,NOLIST
  INTEGER NA(NELE),NB(NELE),DX(NNUD),DY (NNUD),GZ (NNUD)
  INTEGER GR(NNUD),GEr(NECO),GEd(NECO)
  INTEGER TI(NELE),CF(NETD)
  REAL CO(NETD),SE(NETD),H(NEST),KE(36)
  INTEGER I,E,T,A,B,DIR(10),BTMAP(25),BTMAPL,FEC
  .....
C   BTMAPL = 25
  I = 1
  5   BTMAP(I) = 0
  I = I + 1
  IF(I.LE.BTMAPL) GOTO 5
C
  I = 1          | Cuenta elementos
  10  T = TI(I)
  A = NA(I)
  B = NB(I)
  DIR(1) = GZ(A)
  DIR(2) = GZ(B)
  DIR(3) = DY(A)
  DIR(4) = DY(B)
  DIR(5) = DX(A)
  DIR(6) = DX(B)
  IF(CF(T).GT.10) GOTO 20
  CALL OBTKE(T,Z(PMY),Z(PMI),Z(PAR),Z(PLO),CF,KE)
C
C   Transforma al sistema global de coordenadas
C
  CALL IMPKE(T,KE,BTMAP)
  CALL ROTKE(CO(T),SE(T),KE)
  CALL ENSAM(Z(PKS),6,DIR,6,DIR,KE)
  CALL IMPKE(T,KE,BTMAP)
  GOTO 30
C
  20  CALL OBTKE(T,Z(PMY),Z(PMI),Z(PAR),Z(PLO),CF,KE)
  CALL IMPKE(T,KE,BTMAP)
  CALL ENSAM(Z(PKS),6,DIR,6,DIR,KE)
  CALL OBGMA(T,Z(PLO),CF,Z(PGMA))
  CALL IPGMA(T,Z(PGMA),BTMAP)
  E = FEC(I,Z(PELC))
  DIR( 7) = GEd(E)
  DIR( 8) = GR (A)
  DIR( 9) = GEr(E)
  DIR(10) = GR (B)
  CALL ENSAM(Z(PKS),4,DIR(1),3,DIR(8),Z(PGMA))
  CALL OBALF(Z(PALF),T,Z(PMY),Z(PMI),Z(PLO),CF)
  CALL IPALF(T,Z(PALF),BTMAP)
  CALL ENSAM(Z(PKS),1,DIR(7),10,DIR(1),Z(PALF))

```

```

C
30 CALL SETBT(T,BTMAP)
   I = I + 1
   IF(I.LE.NELE) GOTO 10
C
CALL DEBTA(Z(PKS),Z(PF),Z(PBTA),Z(PB),Z(P11),Z(PQ),Z(PH ),
+        Z(PM),Z(PEC),Z(PDC))
RETURN
END
C
C .....
C -----
C SUBROUTINE OBTKE(T,MY,MI,AREA,LO,CF,KE)
C
C Obtiene la matriz de rigidez de un elemento cualquiera
C .....
IMPLICIT NONE
INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
INTEGER T,CF(NETD)
REAL MY(NETD),MI(NETD),AREA(NETD),LO(NETD),KE(36)
REAL E,I,L,Ar,A,B,C,D
INTEGER FR
C
C .....
E = MY(T)
I = MI(T)
L = LO(T)
Ar = AREA(T)
FR = CF(T)
IF(FR.GT.10) FR = FR - 10
C
GOTO(10,20,30,40),FR
C
C Biempotrado
C
10 A = 4.0*E*I/L
   B = A/2
   C = A
   D = Ar*E/L
   CALL LLKEL(L,KE,A,B,C,D)
   RETURN
C
C Articulado A empotrado B
C
20 A = 0.0
   B = 0.0
   C = 3.0*E*I/L
   D = Ar*E/L
   CALL LLKEL(L,KE,A,B,C,D)
   RETURN
C
C Empotrado A articulado B
C
30 A = 3.0*E*I/L
   B = 0.0

```

```

C = 0.0
D = E*Ar/L
CALL LLKEL(L,KE,A,B,C,D)
RETURN

```

C
C Biarticulado

```

40 A = 0.0
    B = 0.0
    C = 0.0
    D = E*Ar/L
    CALL LLKEL(L,KE,A,B,C,D)
    RETURN
    END

```

C
C
C -----
C SUBROUTINE LLKEL(L,KE,A,B,C,D)

C
C Con los valores independientes A,B,C,D genera el resto de la
C matriz de rigidez de un elemento cualquiera

```

C.....
    IMPLICIT NONE
    INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
    REAL L,KE(36),A,B,C,D
    REAL L2,G,F,E

```

```

C .....
    L2 = L*L
    E = (A+B)/L
    F = (B+C)/L
    G = (A+2*B+C)/L2
    KE( 1) = A
    KE( 2) = B
    KE( 3) = E
    KE( 4) = -E
    KE( 5) = 0.0
    KE( 6) = 0.0
    KE( 7) = B
    KE( 8) = C
    KE( 9) = F
    KE(10) = -F
    KE(11) = 0.0
    KE(12) = 0.0
    KE(13) = E
    KE(14) = F
    KE(15) = G
    KE(16) = -G
    KE(17) = 0.0
    KE(18) = 0.0
    KE(19) = -E
    KE(20) = -F
    KE(21) = -G
    KE(22) = G
    KE(23) = 0.0
    KE(24) = 0.0

```

```

KE(25) = 0.0
KE(26) = 0.0
KE(27) = 0.0
KE(28) = 0.0
KE(29) = D
KE(30) = -D
KE(31) = 0.0
KE(32) = 0.0
KE(33) = 0.0
KE(34) = 0.0
KE(35) = -D
KE(36) = D
RETURN
END

```

```

C .....
C -----
C SUBROUTINE ROTKE(CO,SE,K)

```

```

C
C Transforma la matriz de rigidez 'KE' al sistema global del
C coordenadas
C .....

```

```

IMPLICIT NONE
REAL CO,SE,K(6,6)
REAL C2,S2,CS
REAL Krp,Ksp,Krq,Ksq,Krr,Ktt,Ksr,Kut,Kss,Kuu
INTEGER p,q,r,s,t,u,i,j
DATA p,q,r,s,t,u / 1,2,3,4,5,6 /

```

```

C .....
C C2 = CO*CO
C S2 = SE*SE
C CS = CO*SE
C Krp = K(r,p)
C Ksp = K(s,p)
C K(r,p) = CO*Krp
C K(s,p) = CO*Ksp
C K(t,p) = -SE*Krp
C K(u,p) = -SE*Ksp

```

```

C
C Krq = K(r,q)
C Ksq = K(s,q)
C K(r,q) = CO*Krq
C K(s,q) = CO*Ksq
C K(t,q) = -SE*Krq
C K(u,q) = -SE*Ksq

```

```

C
C Krr = K(r,r)
C Ktt = K(t,t)
C K(r,r) = C2*Krr + S2*Ktt
C Ksr = K(s,r)
C Kut = K(u,t)
C K(s,r) = C2*Ksr + S2*Kut
C K(t,r) = CS*Ktt - CS*Krr
C K(u,r) = CS*Kut - CS*Ksr
C

```

```

Kss = K(s,s)
Kuu = K(u,u)
K(s,s) = C2*Kss + S2*Kuu
K(t,s) = CS*Kut - CS*Ksr
K(u,s) = CS*Kuu - CS*Kss

C
K(t,t) = C2*Ktt + S2*Krr
K(u,t) = C2*Kut + S2*Ksr

C
K(u,u) = C2*Kuu + S2*Kss

C
DO 10 i=p,u
DO 10 j=l+1,u
10 K(i,j) = K(j,i)
RETURN
END

C
C .....
C -----
SUBROUTINE IMPKE(T,KE,BTMAP)

C
C Imprime la matriz de rigidez
C .....
IMPLICIT NONE
INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
INTEGER T,BTMAP(1)
REAL KE(36)
LOGICAL BTSET

C
C .....
IF(.NOT.IMP3.OR.BTSET(T,BTMAP)) RETURN
WRITE(IW,1000) T,KE
RETURN
1000 FORMAT(//,3X,'Matriz de rigidez del elemento tipo ',I3,/,/,
+ (6E16.8))
END

C
C .....
C -----
SUBROUTINE OBGMA(T,LO,CF,GMA)

C
C Obtiene la matriz de rigidez de un elemento de contacto
C .....
IMPLICIT NONE
INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
INTEGER T,CF(NETD)
REAL LO(NETD),GMA(12)
REAL G111,G112,G113,G131,G132,G133
REAL G211,G212,G213,G231,G232,G233,G241,G242,G243
REAL L,L2
INTEGER FR

C
DATA G111 / 0.021809896 / G211 / 0.023925781 /
* G112 / 0.057291667 / G212 / 0.085937500 /
* G113 / 0.004231771 / G213 / 0.015136719 /
* G131 / 0.236328125 / G231 / 0.194824219 /

```

```

*      G132 / 0.250000000 / G232 / 0.164062500 /
*      G133 / 0.013671875 / G233 / 0.016113281 /
*      G241 / 0.055175781 /
*      G242 / 0.335937500 /
*      G243 / 0.233886719 /

```

```

. . . . .
C
C
C Debe notarse que por lo pronto no se esta haciendo la rotacion
C de los elementos de contacto y que esto implica necesariamente
C que el eje local de coordenadas de un elemento de contacto debe
C coincidir con el eje 'X' del sistema global de coordenadas
C

```

```

L = LQ(T)
L2 = L*L
FR = CF(T)
IF(FR.GT.10) FR = FR - 10
GOTO(10,20,30),FR

```

```

C
C Biempotrado
C

```

```

C Guarda las constantes 'gama'
C coeficientes de las ecuaciones para obtener las fuerzas de em -
C potramiento debidas a las reacciones del suelo de cada elemento.
C

```

```

10 GMA( 1) =-G111*L2
GMA( 2) = G113*L2
GMA( 3) =-G131*L
GMA( 4) =-G133*L

```

```

C
GMA( 5) =-G112*L2
GMA( 6) = G112*L2
GMA( 7) =-G132*L
GMA( 8) =-G132*L

```

```

C
GMA( 9) =-G113*L2
GMA(10) = G111*L2
GMA(11) =-G133*L
GMA(12) =-G131*L
RETURN

```

```

C
C Articulado A empotrado B
C

```

```

20 GMA( 1) =-G211*L2
GMA( 2) = 0.0
GMA( 3) =-G231*L
GMA( 4) =-G241*L

```

```

C
GMA( 5) =-G212*L2
GMA( 6) = 0.0
GMA( 7) =-G232*L
GMA( 8) =-G242*L

```

```

C
GMA( 9) =-G213*L2
GMA(10) = 0.0

```

```
GMA(11) --G233*L
GMA(12) --G243*L
RETURN
```

```
C
C Empotrado A articulado B
```

```
30 GMA( 1) = 0.0
GMA( 2) --G213*L2
GMA( 3) --G233*L
GMA( 4) --G243*L
```

```
C
GMA( 5) = 0.0
GMA( 6) --G212*L2
GMA( 7) --G232*L
GMA( 8) --G242*L
```

```
C
GMA( 9) = 0.0
GMA(10) --G211*L2
GMA(11) --G231*L
GMA(12) --G241*L
RETURN
```

```
C
C Biarticulado
C
C No estan definidas
C
C END
```

```
C
C .....
C -----
SUBROUTINE IPGMA(T,GMA,BTMAP)
```

```
C
C Imprime los coeficientes 'gama'
```

```
C.....
IMPLICIT NONE
INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
INTEGER T,BTMAP(1)
REAL GMA(4,3)
INTEGER I,J
LOGICAL BTSET
```

```
C
C .....
C IF(.NOT.IMP3.OR.BTSET(T,BTMAP)) RETURN
C WRITE(IW,1000) ((GMA(I,J),J=1,3),I=1,4)
C RETURN
1000 FORMAT(//,3X,"Coeficientes 'gama'",//,(3E18.8))
C END
```

```
C
C .....
C -----
SUBROUTINE OBALF(ALF,T,MY,MI,LO,CF)
```

```
C
C 'Alfas' o ecuacion del desplazamiento al centro del claro
```

```
C.....
IMPLICIT NONE
INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
```



```

REAL      ALF(10),MY(NETD),MI(NETD),LO(NETD)
INTEGER   T,CF(NETD)
INTEGER   FR
REAL      I,E,L,L2,C1,C2,C3,C4
DATA      C2 / 0.033854167 /
*         C3 / 0.006022135 /
*         C4 / 0.014811198 /

```

C
C
C
C
C

La ecuacion de desplazamiento al centro del claro esta multiplicada por -1 para evitar que queden numeros negativos en la diagonal.

```

E = MY(T)
I = MI(T)
L = LO(T)
FR = CF(T)
IF(FR.GT.10) FR = FR - 10
C1 = E*I/L
L2 = L*L

```

C

```
GOTO(10,20,30),FR
```

C

C

C

10

biempotrado

```

ALF( 1) = -C1
ALF( 2) = C1
ALF( 3) = -8.0*C1/L
ALF( 4) = -8.0*C1/L
ALF( 5) = -0.0
ALF( 6) = -0.0
ALF( 7) = 16.0*C1/L
ALF( 8) = -L2/256.0
ALF( 9) = -C2*L2
ALF(10) = -ALF( 8)
RETURN

```

C

C

C

20

Empotrado A articulado B

```

ALF( 1) = -3*C1
ALF( 2) = 0.0
ALF( 3) = -11.0*C1/L
ALF( 4) = -5.0*C1/L
ALF( 5) = 0.0
ALF( 6) = 0.0
ALF( 7) = 16.0*C1/L
ALF( 8) = -C3*L2
ALF( 9) = -L2/16.0
ALF(10) = -C4*L2
RETURN

```

C

C

C

30

Articulado A empotrado B

```
ALF( 1) = 0.0
```

```

ALF( 2) = -3*C1
ALF( 3) = -5.0*C1/L
ALF( 4) = -11.0*C1/L
ALF( 5) = 0.0
ALF( 6) = 0.0
ALF( 7) = 16.0*C1/L
ALF( 8) = -C4*L2
ALF( 9) = -L2/16.0
ALF(10) = -C3*L2
RETURN

```

```

C
C Biarticulado
C
C No esta implementado
C
C END

```

```

C .....
C -----
C SUBROUTINE IPALF(T,ALF,BTMAP)

```

```

C Imprime los coeficientes alfa
C.....

```

```

IMPLICIT NONE
INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
INTEGER T,BTMAP(1)
REAL ALF(10)
LOGICAL BTSET

```

```

C .....
C IF(.NOT.IMP3.OR.BTSET(T,BTMAP)) RETURN
C WRITE(IW,1000) ALF
C RETURN

```

```

1000 FORMAT(//,3X,"Coeficientes 'alfa'",//,10E12.5)
END

```

```

C .....
C -----
C SUBROUTINE DEBTA(KS,F,BTA,B,II,Q,Mv,H,EC,DC)

```

```

C Obten y ensambla los coeficientes 'beta' y 'eta'
C.....

```

```

IMPLICIT NONE
INCLUDE ISEME.COM,NOLIST
INCLUDE ISEDI.COM,NOLIST
INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
REAL KS(NUEQ,NUEQ),F(NUEQ,NCCC),BTA(NEEC),B(NEEC)
REAL II(NEST,NEEC),Q(NEST),H(NEST),Mv(NEST)
INTEGER EC(NEEC),DC(NEEC)
INTEGER Er,Ed,I,J,K,LAST
REAL ETA,S,MAXX
DOUBLE PRECISION M

```

```

C .....
C IF(NECO.EQ.0) RETURN

```



```

S      = 0.0
40  S      = S + Mv(J)*II(J,I)
    J      = J + 1
    IF(J.LE.NEST) GOTO 40
    BTA(I)  = S*B(I)
    I      = I + 1
    IF(I.LE.NEEC) GOTO 30
C
C      Antes de ensamblar escala la ecuacion
C
    I      = 1
    M      = MAXK
45  BTA(I)  = BTA(I)*M
    I      = I + 1
    IF(I.LE.NEEC) GOTO 45
C
    CALL ENSAM(KS,1,Er,NEEC,EC,BTA)
    KS(Er,Ed) = 1.0*M
C
C      Lee los incrementos de esfuerzo de la franja en cuestion
C      debidos a construcciones adyacentes 'q'
C
    READ (IR,2000) (Q(I),I=1,NEST)
    WRITE(IW,1006) (Q(I),I=1,NEST)
C
C      Obten el coeficiente 'eta'
C
    ETA    = 0.0
    I      = 1
50  ETA    = Mv(I)*Q(I)
    I      = I + 1
    IF(I.LE.NEST) GOTO 50
C
C      Despliega 'beta' y 'eta'
C
    IF(IMP3) WRITE(IW,1008) Er,ETA,BTA
C
C      Ensambla eta ( es igual para todas las condiciones de carga )
C      ( no te olvides de escalar tambien 'eta' )
C
    I      = 1
    ETA    = ETA*M
60  F(Er,I) = ETA
    I      = I + 1
    IF(I.LE.NCCC) GOTO 60
C
    K      = K + 1
    IF(K.LE.NEEC) GOTO 20
    RETURN
C
1000  FORMAT(//,3X,"ANCHOS 'b' DE LOS ELEMENTOS DE CONTACTO",//,
+(10F12.4))
1002  FORMAT(//,3X,'COEFICIENTES DE INFLUENCIA ecuacion=',I3,/)
1004  FORMAT(7E16.8)

```

```

1006 FORMAT(//,3X,"Incrementos de esfuerzo 'q'",//,
+(7E16.8))
1008 FORMAT(//,3X,"Coeficientes 'beta'; ecuacion=",I3,' ETA=',E16.8,//,
+(7E16.8))
2000 FORMAT(5X,6F10.0)
END

```

```

C .....
C -----
SUBROUTINE ENSAM(KS,N1,D1,N2,D2,VEC)

```

```

C
C   Ensamble una matriz de N1 * N2 en la matriz del sistema.
C.....
IMPLICIT NONE
INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
INTEGER N1,N2
REAL KS(NUEQ,NUEQ+NCCC),VEC(N1,N2)
INTEGER D1(N1),D2(N2)
INTEGER I,J,KI,KJ

```

```

C .....
C   I = 1
10  J = 1
   KI = D1(I)
   IF(KI.EQ.0) GOTO 11
   KJ = D2(J)
   IF(KJ.EQ.0) GOTO 12
   KS(KI,KJ) = KS(KI,KJ) + VEC(I,J)
12  J = J + 1
   IF(J.LE.N2) GOTO 20
11  I = I + 1
   IF(I.LE.N1) GOTO 10
RETURN
END

```

```

C .....
C -----
SUBROUTINE IMPKS(F,KS)

```

```

C
C   Imprime la matriz de coeficientes y de terminos indep. del sis.
C.....
IMPLICIT NONE
INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
REAL F(NUEQ,NCCC),KS(NUEQ,NUEQ)
INTEGER I,J

```

```

C .....
C   IF(.NOT.IMP3) RETURN
WRITE(IW,1000)
I = 1
10  WRITE(IW,1002) I,(KS(I,J),J=1,NUEQ)
I = I + 1
IF(I.LE.NUEQ) GOTO 10

```

```

C
C   Terminos independientes
C
WRITE(IW,1004) (I,I=1,NCCC)

```

```

      I = 1
20  WRITE(IW,1006) I,(F(I,J),J=1,NCCC)
      I = I + 1
      IF(I.LE.NUEQ) GOTO 20
      RETURN
C
1000 FORMAT('1',3X,'MATRIZ DE COEFICIENTES DEL SISTEMA')
1002 FORMAT('/',3X,'Renglon ',I3,/, '(7E16.8)')
1004 FORMAT('/',3X,'Terminos independientes',/,
+3X,'ECUA.',I1,5('  CC',I1))
1006 FORMAT(3X,I4,5E16.8)
      END
C
C .....
C -----
C
C SUBROUTINE SSECU(KS)
C
C Solucion del sistema de ecuaciones por Eliminacion Gaussiana
C .....
      IMPLICIT NONE
      INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
      INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
      REAL    KS(NUEQ,NUEQ+NCCC)
      INTEGER I,J,K
      DOUBLE PRECISION S,M
C
      INTEGER Q,MXC
      REAL    MAX,AUX
C
C .....
      IF(IMP3) WRITE(IW,1)
      FORMAT('/',3X,'PIVOTES UTILIZADOS EN LA SOLUCION DE ECUACIONES'//)
C
C Transforma el sistema a una matriz triangular superior
C
      DO 15 I=1,NUEQ-1
        DO 15 J=I+1,NUEQ,1
C
C busca el pivote mas adecuado
C
          MAX = 0
          MXC = J
          DO 16 Q=J,NUEQ,1
            IF(ABS(KS(Q,I)).LE.MAX) GOTO 16
            MAX = ABS(KS(Q,I))
            MXC = Q
16      CONTINUE
C
C Intercambia renglones si es necesario
C
          IF(MXC.EQ.J) GOTO 19
          DO 18 K=I,NUEQ+NCCC,1
            AUX = KS(I ,K)
            KS(I ,K) = KS(MXC,K)
            KS(MXC,K) = AUX
18      CONTINUE

```

```

19  CONTINUE
C
      M = KS(J,I)/KS(I,I)
C
      IF(IMP3) WRITE(IW,2) I,J,KS(J,I),KS(I,I),M
2   FORMAT(1X,'I=',I3,3X,'J=',I3,3X,'KS(J,I)=' ,E18.8,3X,'KS(I,I)=' ,
*      E18.8,3X,'M=' ,E18.8)
C
      IF(M.EQ.0) GOTO 15
      DO 10 K=1,NUEQ+NCCC
10     KS(J,K) = KS(J,K) - KS(I,K)*M
15  CONTINUE
C
C      Efectua la sustitucion hacia atras
C
      DO 30 K=NUEQ+1,NUEQ+NCCC
      DO 30 J=NUEQ,1,-1
      S = 0.000
      DO 20 I=NUEQ,J+1,-1
20     S = S + KS(J,I)*KS(I,K)
30     KS(J,K) = (KS(J,K)-S)/KS(J,J)
C
      RETURN
      END
C
C      .....
C      -----
C      SUBROUTINE IMPDR(DX,DY,GZ,EC,ELC,Ged,F)
C
C      Imprime desplazamientos nodales
C      Imprime las reacciones del suelo y los desplazamientos al
C      centro del claro de los elementos de contacto
C      .....
      IMPLICIT NONE
      INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
      INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
      INTEGER DX(NNUD),DY(NNUD),GZ(NNUD),EC(NEEC),ELC(NECD),Ged(NECO)
      REAL F(NUEQ,NCCC),OKF
      INTEGER I,C,E,EL,X,Y,Z
C      .....
      IF(IMP2) RETURN
      I = 1
      WRITE(IW,1000) TIT
      WRITE(IW,1001)
10     X = DX(I)
      Y = DY(I)
      Z = GZ(I)
      WRITE(IW,1002) (I,C,OKF(F,X,C),OKF(F,Y,C),OKF(F,Z,C),C=1,NCCC)
      WRITE(IW,* ) ' '
      I = I + 1
      IF(I.LE.NNUD) GOTO 10
      IF(NEEC.EQ.0) RETURN
C
C      Imprime las reacciones del suelo
C

```

```

WRITE(IW,1004) (I,I=1,NCCC)
I = 1
20 E = EC(I)
WRITE(IW,1006) (E,OKF(F,E,C),C=1,NCCC)
I = I + 1
IF(I.LE.NECC) GOTO 20
C
C Imprime los desplazamientos al centro del claro
C
WRITE(IW,1008) (I,I=1,NCCC)
I = 1
30 EL = ELC(I)
E = GE(I)
WRITE(IW,1010) (EL,E,OKF(F,E,C),C=1,NCCC)
I = I + 1
IF(I.LE.NECC) GOTO 30
RETURN
C
1000 FORMAT('1',/,5X,40A2,/,5X,40A2,')
1001 FORMAT(//,3X,'DESPLAZAMIENTOS NODALES ( sistema global )',//,
+3X,'Nudo CC DX DY GZ',/)
1002 FORMAT(3X,I4,I4,3X,3E16.8)
1004 FORMAT(//,3X,'REACCIONES DEL TERRENO'//,
+3X,'Ecu' ,5(:' CC',I1),/)
1006 FORMAT(3X,I4,8X,5E16.8)
1008 FORMAT(//,3X,'DESPLAZAMIENTOS AL CENTRO DEL CLARO DE LOS ',
+ 'ELEMENTOS DE CONTACTO',//,
+3X,'Elem Ecu' ,5(:' CC',I1),/)
1010 FORMAT(3X,I4,I5,8X,5E16.8)
END
C
C .....
C -----
SUBROUTINE SETBT(BIT,VEC)
* ,PU IOIS 8242 8242 ..JJ
C
C Prende el bit BIT del vector de bits VEC (ver BTSET)
C .....
IMPLICIT NONE
INTEGER*2 BIT,VEC(1),
* MASK(16),WOFST,BOFST
DATA MASK / 000001B,000002B,000004B,000010B,
* 000020B,000040B,000100B,000200B,
* 000400B,001000B,002000B,004000B,
* 010000B,020000B,040000B,100000B /
C
WOFST = (BIT-1)/16 + 1
BOFST = MOD(BIT-1,16) + 1
VEC(WOFST) = VEC(WOFST).OR.MASK(BOFST)
RETURN
END
C
C .....
C -----
LOGICAL FUNCTION BTSET(BIT,VEC)

```



```

DBY = DY(EB)
DAX = DX(EA)
DBX = DX(EB)
IF(FR.LT.10) GOTO 15
  E = FEC(1,Z(PELC))
  Rr = GR(EA)
  Rr1 = GER(E)
  Rs = GR(EB)
15  C = 1
20  SEN = SE(T)
    COS = CO(T)
    D(1) = OKF(F,GAZ,C)
    D(2) = OKF(F,GBZ,C)
    D(3) = -SEN*OKF(F,DAX,C) + COS*OKF(F,DAY,C)
    D(4) = -SEN*OKF(F,DBX,C) + COS*OKF(F,DBY,C)
    D(5) = COS*OKF(F,DAX,C) - SEN*OKF(F,DAY,C)
    D(6) = COS*OKF(F,DBX,C) - SEN*OKF(F,DBY,C)
    CALL MULT(KE,D,6,6,F1)
    IF(NELC.EQ.0) GOTO 40
    K = 1
30  IF(CC(K).NE.C) GOTO 35
    IF(EL(K).NE.I) GOTO 35
    P = PW(K)
    a = PO(K)
    alfa = AL(K)
    CALL OBCEM(I,TI,Z(PLO),CF,P,a,alfa,PXA,PXB,PYA,PYB,MZA,MZB,LAM)
C
C  WRITE(IW,'(/,3X,"CARGAS"/,6E16.6)')PXA,PXB,PYA,PYB,MZA,MZB
C
F1(1) = F1(1) + MZA
F1(2) = F1(2) + MZB
F1(3) = F1(3) + PYA
F1(4) = F1(4) + PYB
F1(5) = F1(5) + PXA
F1(6) = F1(6) + PXB
35  K = K + 1
    IF(K.LE.NELC) GOTO 30
40  IF(FR.LT.10) GOTO 50
    CALL OBGMA(T,Z(PLO),CF,Z(PGMA))
    D(1) = F(Rr,C)
    D(2) = F(Rr1,C)
    D(3) = F(Rs,C)
    CALL MULT(Z(PGMA),D,4,3,F2)
    F1(1) = F1(1) + F2(1)
    F1(2) = F1(2) + F2(2)
    F1(3) = F1(3) + F2(3)
    F1(4) = F1(4) + F2(4)
    E = E + 1
50  WRITE(IW,1002) I,C,F1
    C = C + 1
    WRITE(IW,*) ' '
    IF(C.LE.NCCC) GOTO 20
    I = I + 1
    IF(I.LE.NELE) GOTO 10

```

```

C
C   Deja el impresor a 10 ch/in
C
WRITE(IW,1004)
RETURN
C
1000 FORMAT('1',/,5X,40A2,/,5X,40A2,')
1001 FORMAT(//,3X,'ELEMENTOS MECANICOS ( Sistema local )',//,
+          3X,'Ele CC ',
+          ' MZA           MZB           PYA           ',
+          ' PYB           PXA           PXB           ')
1002 FORMAT(3X,I3,I3,6E16.6)
1004 FORMAT(1X,')
END
C
C   .....
C   -----
C   INTEGER FUNCTION FEC(E,ELC)
C
C   Determina el numero de elemento de contacto que corresponde al
C   elemento E para poder direccionar los arreglos GEd y GER
C.....
IMPLICIT NONE
INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
INTEGER E,ELC(NECD)
C
C   .....
FEC = 1
20 IF(ELC(FEC).EQ.E) RETURN
FEC = FEC + 1
GOTO 20
END
C
C   .....
C   -----
C   REAL FUNCTION DKF(F,E,C)
C
C   Regresa el valor real de desplazamiento o reaccion
C   verifica si el grado de libertad fue restringido
C.....
IMPLICIT NONE
INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
REAL F(NUEQ,NCCC)
INTEGER E,C
C
C   .....
IF(E.NE.0) GOTO 10
DKF = 0.0
RETURN
10 DKF = F(E,C)
RETURN
END
C
C   .....
C   -----
C   SUBROUTINE MULT(U1,V2,N,M,D)
C
C   Multiplica 2 matrices U1(n,m) y V2(m)
C.....

```

```

IMPLICIT NONE
INTEGER N,M
REAL U1(N,M),U2(M),D(M)
REAL S
INTEGER I,J
INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
C .....
C I = 1
C1 WRITE(IW,'(/, (7E16.6))') (U1(I,J),J=1,M),U2(I)
C I = I + 1
C IF(I.LE.N) GOTO 1
C
C I = 1
10 J = 1
S = 0.0
20 S = S + U1(I,J)*U2(J)
J = J + 1
IF(J.LE.M) GOTO 20
D(I) = S
I = I + 1
IF(I.LE.N) GOTO 10
C
C WRITE(IW,'(//, (6E16.6))') (D(I),I=1,M)
RETURN
END
C .....
C -----
C SUBROUTINE TERMI
C
C Cierra archivos, manda mensaje de terminacion y termina
C .....
IMPLICIT NONE
INCLUDE ISEIO.COM,NOLIST
INCLUDE ISEPA.COM,NOLIST
INCLUDE ISEDI.COM,NOLIST
C .....
C
C Despliega las deirecciones calculadas
C
CLOSE(IW)
CLOSE(IR)
WRITE(ID,1000)
RETURN
1000 FORMAT(' /ISE84: Fin normal de proceso')
END

```

Apéndice C ISEINF, Cálculo de los factores de influencia

FTN7X

*FILES(0,1)

PROGRAM ISEINF

```

C-----
C
C Programa para el cálculo de los factores de influencia reque --
C ridos por el programa ISE84 --
C Supone que los elementos son de long constante y que la cimen--
C tacion es continua --
C --
C Facultad de Ingeniería --
C Universidad Nacional Autónoma de Mexico U. N. A. M. --
C --
C T E S I S P R O F E S I O N A L --
C --
C Alumno : Juan José Pérez Gavilán Escalante. --
C No.Cta : 8059210-5 --
C --
C --
C México, D.F., Dic. 1984 --
C-----

```

IMPLICIT NONE

INCLUDE ISEIO.COM

INTEGER I,J,K,N

INTEGER NECO,NEST,NEEC

REAL Z,L,INF,I2,I1,A,B,L2,L4,Hn,Y2

REAL Y,H(10),In(20,10,20)

C

CALL ABREA

WRITE(IO,'(//" Numero de elementos de contacto _")')

READ (IO,*) NECO

WRITE(IO,'(" Longitud _")')

READ (IO,*) L

WRITE(IO,'(" Ancho _")')

READ (IO,*) Y

WRITE(IO,'(" Numero de estratos _")')

READ (IO,*) NEST

C

DO 5 I=1,NEST,1

WRITE(IO,'(" Espesor del estrato ",I3," ..._")') I

READ (IO,*) H(I)

CONTINUE

5

C

L4 = L/4.0

L2 = L/2.0

Y2 = Y/2.0

Hn = 0.0

DO 10 J=1,NEST,1

Z = Hn + H(J)/2.0

Hn = Hn + H(J)

In(1,J,1) = INF(L4,Y2,Z)*2.0

```

10  CONTINUE
C
Hn = 0.0
DO 20 J=1,NEST,1
  Z = Hn + H(J)/2.0
  Hn = Hn + H(J)
  I = 1
  DO 20 B=L2,NECO*L,L2
    I = I + 1
    I1= INF(B ,Y2,Z)
    I2= INF(B-L4,Y2,Z)
    In(I,J,1) = 2.0*(I1-I2)
20  CONTINUE
NEEC = I
C
DO 40 J=1,NEST,1
DO 40 I=1,NEEC,1
  In(NEEC-I+1,J,NEEC) = In(I,J,1)
40  CONTINUE
C
Hn = 0.0
DO 50 J=1,NEST,1
  Z = Hn + H(J)/2.0
  Hn = Hn + H(J)
  I = 0
  DO 50 B=0.0,NECO*L,L2
    I = I + 1
    K = 1
    DO 50 A=L2,NECO*L-L2,L2
      K = K + 1
      IF(I.EQ.K) THEN
        In(I,J,K) = INF(L4,Y2,Z)*4.0
      ELSE
        I1 = INF(ABS(A-B)+L4,Y2,Z)
        I2 = INF(ABS(A-B)-L4,Y2,Z)
        In(I,J,K) = 2.0*(I1-I2)
      ENDIF
50  CONTINUE
C
Imprime la matriz con formato compatible con ISE84
C
DO 80 I=1,NEEC,1
  DO 90 J=1,NEST,1
    WRITE(IW,1000) (In(I,J,K),K=1,NEEC,1)
90  CONTINUE
    WRITE(IW,1002) (0.0,K=1,NEST)
80  CONTINUE
C
1000 FORMAT("INFLU",6F10.7)
1002 FORMAT("Q ",6F10.7)
C
END
. . . . .
-----

```

```

REAL FUNCTION INF(X,Y,Z)
C
C   Evalua la ecuacion de Businessq
C.....
  IMPLICIT NONE
  REAL    X,Y,Z
  REAL    X2,Y2,Z2,A,B,C,D,CPI
  DATA   CPI / 12.56637062 /
C
C   .....
  X2 = X**2
  Y2 = Y**2
  Z2 = Z**2
  A  = X2 + Y2 + Z2
  B  = 2.0*X*Y*Z*SQRT(A)
  C  = X2*Y2
  D  = X2 + Y2 + 2.0*Z2
  INF= ( B/(Z2*A+C) * D/A  +  ATAN(B/(Z2*A-C)) ) / CPI
  RETURN
  END
C
C   .....
C-----
SUBROUTINE ABREA
C
C   Pregunta por los archivos de entrada y salida de datos
C   y abre los archivos
C.....
  IMPLICIT NONE
  INCLUDE ISEIO.COM
  INTEGER IRFLE(10),IWFLE(10),IOS
  INTEGER LOGLU
C
C   .....
  IO = LOGLU()
  IR = IO
C
C   CALL CLRDP(IO)
  WRITE(IO,3000)
20  WRITE(IO,1002)
  READ (IO,2000) IWFLE
  OPEN (IW,FILE=IWFLE,IOSTAT=IOS)
  IF(IWFLE(1).EQ.2H#F) STOP
  IF(IOS.EQ.0) GOTO 30
  WRITE(IO,3002) IOS,IWFLE
  GOTO 20
30  RETURN
C
3000 FORMAT(//,
+ ' /ISEB4: Analisis de interaccion suelo estructura 8422.8422 ',/,
+ '      Obtension de los coeficientes de influencia'//)
1002 FORMAT(' Archivo de resultados . _')
2000 FORMAT(20A2)
3002 FORMAT(' /ISEB4 Error #',I4,' abriendo el archivo ',20A2,'')
END

```

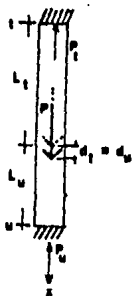
Apéndice D Ecuaciones

Con el objeto de formalizar este trabajo, se presentan las deducciones de algunas ecuaciones, y se listan otras muchas que son utilizadas por el programa ISE84.

Las deducciones que se presentan y la metodología que se emplea, es típica en cada caso, de modo que las ecuaciones que quedan por demostrar, podrán llevarse a cabo de manera similar, o en todo caso el lector interesado podrá obtener las ecuaciones para algunos casos de interés que no estén contemplados en esta obra, como es el caso de las ecuaciones para elementos de la cimentación con cargas concentradas y otros.

A.i Obtención de las fuerzas de empotramiento de una viga de apoyos contiguos y una carga concentrada axial.

Sabemos que:



$$\sigma = E\varepsilon$$

$$\delta = \int \varepsilon dx$$

$$\delta = \int \frac{\sigma}{E} dx$$

$$\delta = \frac{P}{AE} \int_0^L dx = \frac{PL}{AE}$$

$$P_t + P_u + P = 0 \quad \dots(1)$$

$$\delta_t = \frac{P_t L_t}{AE} \quad \delta_u = \frac{P_u L_u}{AE} \quad \text{y} \quad \delta_t = \delta_u$$

por tanto:

$$\frac{P_t L_t}{AE} = \frac{P_u L_u}{AE} \quad \dots(2)$$

de la ecuación (1) : $P_t = -P - P_u \quad \dots(3)$

sust en (2) : $(-P_u - P) L_t = P_u L_u$

$$P_u = - \frac{P L_t}{L}$$

sust en (3) $P_t = - \frac{P L_u}{L}$

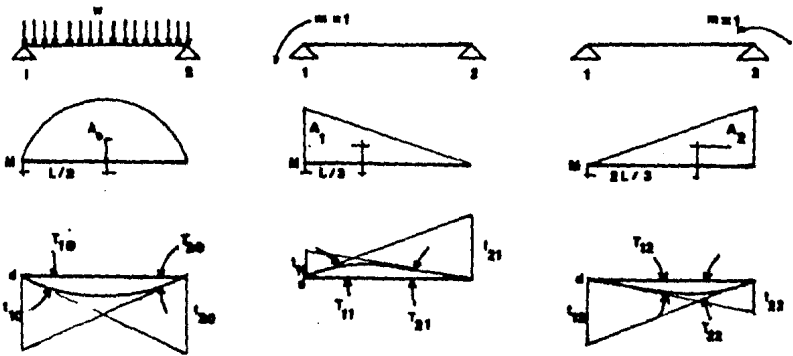
A.ii Obtención de la fuerzas de empotramiento de una viga con apoyos con ténuos y carga repartida.

Sabemos del método de flexibilidades que:

$$T_{10} + T_{11}m_1 + T_{12}m_2 = 0 \dots (1)$$

$$T_{20} + T_{21}m_1 + T_{22}m_2 = 0 \dots (2)$$

Utilizando los teoremas de area momento es posible obtener los giros 'T':



$$A_0 = \frac{wL^3}{12}$$

$$A_1 = \frac{L}{2}$$

$$A_2 = \frac{L}{2}$$

$$t_{20} = \frac{A_0 L}{2EI} = \frac{wL^4}{24EI}$$

$$t_{21} = \frac{A_1 L}{3EI} = \frac{L^2}{6EI}$$

$$t_{22} = \frac{2LA_2}{3EI} = \frac{L^2}{3EI}$$

$$T_{10} = \frac{t_{20}}{L} = -\frac{wL^3}{12}$$

$$T_{21} = \frac{t_{21}}{L} = -\frac{L}{6EI}$$

$$T_{22} = \frac{t_{22}}{L} = \frac{L}{3EI}$$

$$T_{10} = -T_{20}$$

$$T_{11} = \frac{2LA_1}{(3)EIL} = \frac{L}{3EI}$$

$$T_{12} = \frac{LA_2}{(3)EIL} = -\frac{L}{6EI}$$

Sustituyendo valores en las ecuaciones (1) y (2)

$$\frac{L}{3EI} m_1 - \frac{L}{6EI} m_2 = -\frac{wL^3}{24EI} \dots (3)$$

$$-\frac{L}{6EI} m_1 - \frac{L}{3EI} m_2 = \frac{wL^3}{24EI} \dots (4)$$

Despejando m_2 de la ecuación (4)

$$m_2 = \left[-\frac{wL^3}{24EI} + \frac{L}{6EI} m_1 \right] \frac{3EI}{L} \dots (5)$$

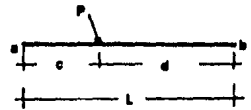
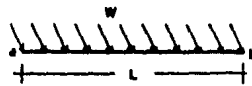
Sustituyendo (5) en (3) y arreglando términos:

$$m_1 = \frac{wL^2}{12}; \quad m_2 = -m_1$$

Haciendo el equilibrio de la viga:

$$P_{ya} = P_{yb} = \frac{wL}{2}$$

A continuación se muestra una tabla con los valores que toman las fuerzas de empotramiento para diferentes condiciones de frontera y para cargas uniformemente repartidas y cargas concentradas.



Condición.

	$f_{ax} = -\frac{w_x L}{2}$	$f_{ax} = -\frac{P_x d}{L}$
	$f_{ay} = \frac{w_y L}{2}$	$f_{ay} = P_y d \frac{(3c + d)}{L^3}$
	$m_a = \frac{w_y L^2}{12}$	$m_a = \frac{P_y c d^2}{L^2}$
	$f_{bx} = f_{ax}$	$f_{bx} = -\frac{P_x c}{L}$
	$f_{by} = f_{ay}$	$f_{by} = -P_y c^2 \frac{(a + 3d)}{L^3}$
	$m_b = -m_a$	$m_b = -\frac{P_y c^2 d}{2}$

	$f_{ax} = -\frac{w_x L}{2}$	$f_{ax} = -\frac{p_x d}{L}$
	$f_{ay} = -\frac{3w_y L}{8}$	$f_{ay} = p_y d^2 \frac{(c + 2L)}{2L^3}$
	$m_a = 0$	$m_a = 0$
	$P_{bx} = P_{ax}$	$f_{bx} = -\frac{p_x c}{L}$
	$P_{by} = \frac{5w_y L}{8}$	$f_{by} = -p_y c \frac{3L^2 - c^2}{L^3}$
	$m_b = -\frac{w_y L^2}{8}$	$m_b = -p_y c d \frac{c + d}{2L^2}$

	$f_{ax} = -\frac{w_x L}{2}$	$f_{ax} = -\frac{p_x d}{L}$
	$P_{ay} = \frac{w_y L}{2}$	$f_{ay} = \frac{p_y d}{L}$
	$m_a = 0$	$m_a = 0$
	$f_{bx}} = f_{ax}$	$f_{bx} = -\frac{p_x c}{L}$
	$f_{by} = -f_{ay}$	$f_{by} = \frac{p_y c}{L}$
	$m_b = 0$	$m_b = 0$

Tabla A1 Momentos de empotramiento para diferentes condiciones de carga y condiciones de frontera.

A.iii Obtención de la matriz de rigidez de un elemento biempotrado, tomando en cuenta solo deformaciones por momento flexionante.

Usaremos el método de las flexibilidades:

El primer paso es seleccionar una viga estáticamente determinada, de modo que las componentes de desplazamiento que se relajan, correspondan a los giros que se impondrían en el método de las rigideces. Si esto se cumple es válida la siguiente ecuación:

$$[k] = [f]^{-1}$$

En la demostración A.ii llegamos a las ecuaciones

$$\begin{aligned} \frac{L}{3EI} m_1 - \frac{L}{6EI} m_2 &= -\frac{wL^3}{24EI} \\ -\frac{L}{6EI} m_1 + \frac{L}{3EI} m_2 &= \frac{wL^3}{24EI} \end{aligned}$$

En forma matricial:

$$\begin{bmatrix} \frac{L}{3EI} & -\frac{L}{6EI} \\ -\frac{L}{6EI} & \frac{L}{3EI} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \end{bmatrix}$$

La primera matriz representa la matriz de flexibilidades de la barra. Invertiendo esta matriz:

$$[k] = \begin{bmatrix} \frac{4EI}{L} & \frac{2EI}{L} \\ \frac{2EI}{L} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

Haciendo el equilibrio de la barra:

$$\frac{4EI}{L} + \frac{2EI}{L} + k_{pr} \frac{L}{pr} = 0 ; \quad k_{pr} = \frac{6EI}{L^2} \quad \text{y} \quad k_{ps} + k_{pr} = 0 ; \quad k_{ps} = -k_{pr}$$

Como vimos en el capítulo la sección II.ii, el aplicar un desplazamiento unitario en la dirección 'r' es equivalente a girar los nudos un ángulo

igual a $1/L$ por lo tanto los momentos que se desarrollarán en los extremos serán:

$$k_{rs} = \frac{1}{L} \left[\frac{4EI}{L} + \frac{2EI}{L} \right] = \frac{6EI}{L^2}; \quad k_{rq} = k_{rs}$$

haciendo nuevamente equilibrio en la barra:

$$k_{rs} + k_{rq} - k_{rr}L = 0; \quad k_{rr} = \frac{k_{rs} + k_{rq}}{L}$$

$$k_{rr} = \frac{\frac{6EI}{L} + \frac{6EI}{L}}{L} = \frac{12EI}{L^2}; \quad k_{rr} + k_{rs} = 0; \quad k_{sr} = -k_{rr}$$

Por último, vimos de la demostración A.i que:

$$\delta = \frac{PL}{AE}$$

si hacemos el desplazamiento unitario, entonces $k_{tt} = P$, esto es:

$$P = \frac{AE}{L} = k_{tt}; \quad k_{tt} + k_{tu} = 0; \quad k_{tt} = -k_{tu}$$

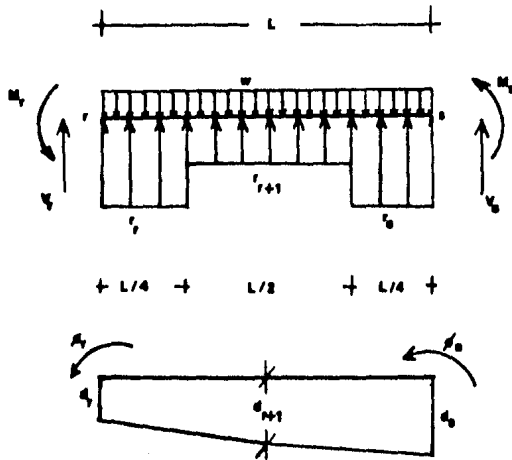
Ordenando términos en forma matricial tenemos:

$$[k] = \begin{bmatrix} \frac{4EI}{L} & \frac{2EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & 0 \\ & \frac{4EI}{L} & \frac{6EI}{L^2} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & 0 \\ & & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{12EI}{L^3} & 0 & 0 \\ & & & \frac{12EI}{L^3} & 0 & 0 \\ & & & & \frac{AE}{L} & -\frac{EA}{L} \\ & & & & & \frac{EA}{L} \end{bmatrix}$$

Simétrica

A.iv Obtención del desplazamiento al centro del claro de los elementos de contacto con apoyos continuos. (Notas de Ing. Agustín Demeneghi)

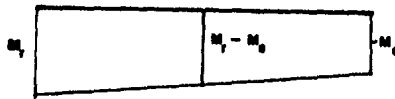
Para la obtención del desplazamiento al centro del claro se empleará el segundo teorema de la viga conjugada.



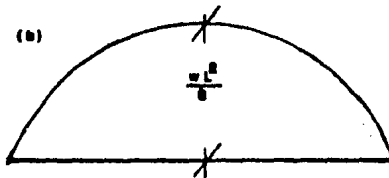
El diagrama de momento flexionante sera la suma del diagrama debido a:

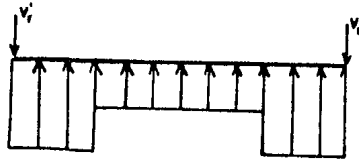
- a) Los momentos M_r y M_s
- b) La carga w
- c) Las cargas r , $r+1$ y s

(a)



(b)

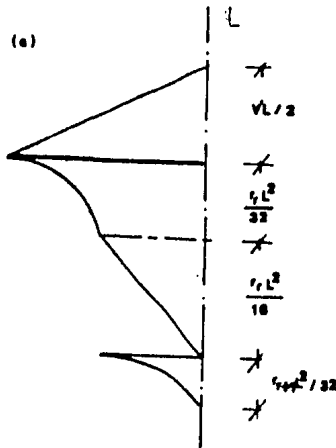




$$\Sigma M_B = -V_r' L + r_r \frac{L}{4} \left[\frac{L}{2} + \frac{L}{4} + \frac{L}{8} \right] + r_{r+1} \frac{L^2}{2} + r_s \frac{L^2}{32} = 0$$

$$V_r' = \frac{1}{L} \left[\frac{7}{32} L^2 r_r + \frac{1}{4} r_{r+1} L^2 + \frac{1}{32} r_s L^2 \right] \quad \dots (1)$$

Por lo tanto el diagrama de momento flexionante debido a r_r , r_{r+1} y r_s es:



La viga conjugada será la suma de los diagramas (a), (b) y (c) divididos entre EI . Para obtener d_{r+1} , tomamos momentos en la viga conjugada, con respecto a' punto $r+1$:

$$d_{r+1} - d_r = \frac{1}{EI} \left[M_r - \frac{M_r - M_s}{2} \right] \frac{L}{2} \frac{1}{2} \frac{2}{3} \frac{L}{2} + \frac{M_r - M_s}{2} \frac{L}{2} \frac{1}{2} \frac{L}{2} \frac{1}{EI} \dots (Ea)$$

$$- \frac{2}{3} \frac{wL^2}{8} \frac{L}{2} \frac{3}{8} \frac{L}{2} \frac{1}{EI} \dots (Eb)$$

$$+ \left[\frac{1}{2} V_r' \frac{L}{2} \frac{1}{2} \frac{L}{3} \frac{1}{2} - \frac{1}{3} \frac{L}{4} \frac{1}{32} r_r L^2 \frac{5}{16} L \right]$$

$$\begin{aligned}
 & - \frac{L}{4} \frac{1}{32} r_r L^2 \frac{1}{2} \frac{L}{4} - \frac{1}{2} \frac{L}{4} \frac{1}{16} r_r L^2 \frac{1}{3} \frac{L}{4} \\
 & - \left. \frac{1}{3} \frac{L}{4} \frac{1}{32} r_{r+1} L^2 \frac{1}{4} \frac{L}{4} \right] \frac{1}{EI} - \theta_r \frac{L}{2} \dots (Ec) \quad \dots (2)
 \end{aligned}$$

Pero:

$$M_r = M_r^0 + 2 \frac{EI}{L} \delta_r + \frac{EI}{L} \delta_s - \frac{6EI}{L^2} \delta_r + \frac{6EI}{L^2} \delta_s$$

$$M_r^0 = - \frac{67}{3072} r_r L^2 - \frac{13}{3072} r_s L^2 - \frac{11}{192} r_{r+1} L^2 + \frac{wL^2}{12}$$

$$M_s = M_s^0 + 2 \frac{EI}{L} \delta_s + \frac{EI}{L} \delta_r - \frac{6EI}{L^2} \delta_r + \frac{6EI}{L^2} \delta_s$$

$$M_s^0 = \frac{13}{3072} r_r L^2 + \frac{67}{3072} r_s L^2 + \frac{11}{192} r_{r+1} L^2 - \frac{1}{12} wL^2$$

$$M_r + M_s = \frac{3EI}{L} \delta_r + \frac{3EI}{L} \delta_s - \frac{12EI}{L^2} \delta_r + \frac{12EI}{L^2} \delta_s - \frac{27}{32} r_r L^2 + \frac{27}{32} r_s L^2 \dots (3)$$

$$M_r - M_s = - \frac{40}{32} r_r L^2 - \frac{40}{32} r_s L^2 - \frac{22}{192} \delta_r L^2 + \frac{1}{6} wL^2 + \frac{EI}{L} \theta_r - \frac{EI}{L} \theta_s \dots (4)$$

Sustituyendo 1,3 y 4 en 2:

$$\begin{aligned}
 \delta_{r+1} = & \delta_r - \frac{1}{4096 EI} r_r L^4 - \frac{1}{4096 EI} r_s L^4 - \frac{1}{6144 EI} r_{r+1} L^4 + \frac{1}{2} \delta_r \\
 & + \frac{1}{2} \delta_s - \frac{1}{16} \theta_r L + \frac{1}{16} \theta_s L + \frac{1}{384 EI} wL^4
 \end{aligned}$$

Apéndice E Notación utilizada

A continuación se listan los símbolos mas utilizados y su(s) significado(s):

Simbolo S i g n i f i c a d o . . .

[A]	Matriz de coeficientes de la ecuación de desplazamiento al centro del claro. (a)
a_i	Coficiente 'i' de la ecuación de desplazamiento al centro del claro de los elementos de contacto.
[B]	Matriz de coeficientes de la ecuación de desplazamiento de la masa del suelo.
[b]	Matriz de anchos de la cimentación
b_i	Coficiente de la ecuación de desplazamiento, en la masa de suelo
b_i	Ancho de la cimentación de la franja 'i'.
[Δ]	Vector de desplazamientos de la estructura.
Δ	Incremento de ...
δ	desplazamiento
[δ]	Vector de desplazamientos de un elemento (Sist Loc.)
$\bar{[\delta]}$	Vector de desplazamientos de un elemento (Sist Glob).
E	Modulo de Young.
[ε]	Desplazamiento unitario.
e	Relación de vacios del suelo.
[F]	Vector de términos independientes o vector de cargas.
[f]	Vector de cargas de un elemento (Sistema local).
$\bar{[f]}$	Vector de cargas de un elemento (Sistema global).
f	fuerza de empotramiento
ab	a: extremo b: direccion
[γ]	Matriz de coeficientes, de la ecuación de las fuerzas de empotramiento para elementos de contacto.

- γ_{ij} Coeficiente en la ecuación de las fuerzas de empotramiento para los elementos de contacto.
- [H] Matriz diagonal, de los espesores de los estratos.
- h_i Espesor de un estrato.
- i
- I_{jk} Coeficiente de influencia de la franja 'i' estrato 'j' debido a una carga unitaria en la franja 'k'.
- [I]_i Matriz de coeficientes de influencia de la franja 'i'.
- [K] Matriz de rigidez del sistema.
- [k] Matriz de rigidez de un elemento (Sistema local).
- \bar{k} Matriz de rigidez de un elemento (Sistema global).
- k_{ij} Fuerza que debe generarse en el grado de libertad 'j', para mantener un desplazamiento unitario en el grado de libertad 'i'.
- L Longitud de un elemento.
- G Término independiente de la ecuación de desplazamiento al centro de los elementos de contacto.
- [M] Vector de fuerzas necesarias para mantener en equilibrio un elemento sujeto a desplazamientos cualesquiera de sus grados de libertad (sistema local).
- \bar{M} Idem. (Sistema glob.).
- $M_{h/z}$ Módulo de deformación lineal en la dirección h/z
- m_i Momento de empotramiento.
- [m] Vector de coeficientes de compresibilidad de cada estrato
- m_v Módulo de deformación volumétrica.
- P Fuerza concentrada externa.
- $p_{x/y}$ Componente de 'P' en 'x' o 'y'

- Q Fuerza externa en un nudo.
- q_{jk} Incremento de esfuerzo debido a una carga aladaña.
- [r] Vector de reacciones en la cimentación.
- r Reacción del terreno
- [S] Matriz de fuerzas requeridas para mantener el equilibrio de la estructura sejeta a desplazamientos cualesquiera de los grados de definidos.
- σ Esfuerzo normal.
- θ Angulo de inclinación del sistema local de referencia de elemento respecto del sistema global.
- V Coeficiente de Poisson
- v Volumen.
- W Carga repartida
- $w_{x/y}$ Componente de la carga repartida en la dirección de 'x' o 'y' (local).

Bibliografía

- < 1) Agustín Deméneghi Colina
"Interacción Suelo-Estructura"
IV Congreso de Ingeniería Estructural, Mex. León Gto., 1984.
SOCIEDAD MEXICANA DE INGENIERIA ESTRUCTURAL, A.C.
- < 2) Fred W. Beaufait.
"Computer Methods of Structural Analysis"
N.J. PRENTICE HALL, Inc., 1973.
- < 3) Rubinstein, Moshe F.
"Matrix Computer Analysis of Structures"
N.J. PRENTICE-HALL, Inc., 1966.
- < 4) Livesley, R.K.
"Matrix Methods of Structural Analysis"
New York THE MAC MILLAN COMPANY, Inc., 1964.
- < 5) Juárez Badillo, Rico Rodríguez
"Mecánica de Suelos TOMO II" (Fundamentos de la mecánica de suelos)
México. LIMUSA Tercera Edición., 1974.
- < 6) Leonardo Zeevaert
"Foudation Engineering" (For difficult Subsoil Conditions)
New York. VAN NOSTRAND REIHNHOLD COMPANY, INC. Second Ed., 1983.
- < 7) Ben Noble.
"Applied Linear Algebra"
N.J. PRENTICE HALL, Inc., 1969.
- < 8) Charles B. Kreitzberg, Ben Shneiderman.
"The Elements of Fortran Style" (Techniques for efectiva programing).
New York. HARCOURT BRACE JOVANOVIICH, INC., 1972.
- < 9) Egor P. Popov
"Mecánica de Sólidos" (Intruducción al la)
Limusa la edición., 1981