

24/54

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA



PROGRAMA DE COMPUTADORA PARA LA INTERACCION  
SUELO-ESTRUCTURA EN UN PILOTE DE  
SECCION VARIABLE

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A :

**MANUEL FLORES OJEDA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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 esta 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.

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN



UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE CHILE

Al Pasante señor MANUEL FLORES OJEDA,  
P r e s e n t e ,

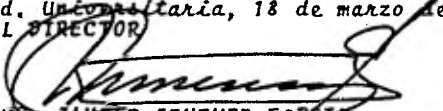
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Agustín Deméneghi Colina, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.


"PROGRAMA DE COMPUTADORA PARA LA INTERACCION SUELO- ESTRUCTURA EN UN PILOTE DE SECCION VARIABLE"

- I. Introducción.
- II. Descripción del método de interacción suelo-pilote.
- III. Elaboración del programa de computadora.
- IV. Instructivo del uso.
- V. Ejemplos de aplicación.
- VI. Conclusiones y recomendaciones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universidad, 18 de marzo de 1981  
EL DIRECTOR

  
ING. JAVIER JIMENEZ ESPINOZA

  
JJE/OBLH/ser

" PROGRAMA DE COMPUTADORA PARA LA INTERACCION SUELO-ESTRUC-  
TURA EN UN PILOTE DE SECCION VARIABLE "

- I) Introducción
- II) Descripción del método de interacción suelo-pilote
  - II.1 Antecedentes
  - II.2 Método interacción suelo-estructura
  - II.3 Desplazamientos horizontales de suelo y pilote
- III) Elaboración del programa de computadora
  - III.1 Introducción al lenguaje de programación Basic
  - III.2 Elaboración del programa
- IV) Instructivo del uso
- V) Ejemplos de aplicación
- VI) Conclusiones y recomendaciones
  - VI.1 Conclusiones
  - VI.2 Recomendaciones

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

En la Ciudad de México, debido a las características y propiedades de su subsuelo, es común observar que grandes estructuras como: Puentes, Edificios y Monumentos, son apoyados a base de cimentaciones profundas del tipo de cajones, pilas y pilotes, logrando con esto librar el estrato de arcilla compresible que ocasiona grandes hundimientos provocando esfuerzos imprevistos para las estructuras.

De las cimentaciones mencionadas es la constituida por pilotes la que mayor profundidad alcanza, ya que un pilote de punta busca como apoyo la primera capa resistente del subsuelo y ésta se localiza a una profundidad aproximada de -- 30 m, en la zona céntrica de la Ciudad; además, por necesidades del desarrollo del país, algunas cimentaciones comienzan a buscar como apoyo la segunda capa resistente del subsuelo, con profundidades aproximadas de 50 m en el mismo lugar. Sumado a lo anterior, debemos considerar que nos encontramos en una zona sísmica en donde este tipo de fenómenos se presentan cada vez con mayor intensidad. Dados los antecedentes nace la inquietud del ingeniero por determinar, -- con mayor exactitud, los esfuerzos a los que se ve sometido un pilote sobre un suelo compresible, con problemas como el de la Ciudad de México, y sometido a una carga lateral efecto de un sismo.

Durante muchos años se trató de resolver este problema mediante el empleo de recomendaciones empíricas que dan lugar, en general, a diseños conservadores. Como consecuencia de -- lo anterior, en fechas recientes se han desarrollado méto--

dos que ya toman en cuenta a la estructura y el suelo en forma integral. El análisis conjunto de estructuras sobre suelos compresibles es un problema hasta cierto punto complejo, dado que intervienen tanto la rigidez del suelo como la rigidez de la estructura.

Zeevaert (1973), presenta un método que tiene la ventaja de tomar en cuenta, en forma integral, el efecto del suelo en la estructura; además, se lleva a cabo en condiciones dinámicas, siendo esto una ventaja adicional del mismo.

Por otra parte, Deméneghi (1979), propone un procedimiento que no requiere del manejo del módulo de reacción del suelo, esto constituyó un avance para la solución de este tipo de problemas. A su vez, la aplicación del método, produce una serie de ecuaciones que se presentan en forma de algoritmo, por lo que el análisis conjunto suelo-estructura es factible de llevarse a cabo por medio de computadoras electrónicas.

Cabe hacer notar que hasta el momento muy pocos ingenieros, dedicados al proyecto de cimentaciones, toman en cuenta a la estructura ligada al suelo, debido a los problemas que esto representa, y proyectan haciendo uso de las recomendaciones empíricas de hace tiempo. En este trabajo se trata de resolver dichos problemas proporcionando al ingeniero una nueva herramienta que le permita efectuar este tipo de análisis sin necesidad de recurrir a iteraciones, ni establecer hipótesis que estén fuera de la realidad.

En el siguiente capítulo de este trabajo se trata, de una manera breve, la descripción del método que propone el Ing. Deméneghi, indicando algunos antecedentes sobre el tema, un

desglosamiento de las partes que lo integran, los lineamientos principales para la obtención de las ecuaciones que de este se deducen, así como la presentación de las mismas; se continua con el análisis del suelo. El siguiente inciso describe las relaciones existentes entre los desplazamientos de suelo y pilote, y la evaluación de los parámetros que intervienen en el análisis.

En el capítulo III, trataremos un método numérico, correspondiente a un programa de computadora, elaborado por el autor de esta tesis, que auxilia en la utilización del método analítico antes mencionado. El primer inciso corresponde a una introducción al lenguaje de programación Basic, el cual se utilizó para la creación del programa; el siguiente inciso nos detalla el procedimiento de elaboración y funcionamiento del mismo.

Una vez conocidas las partes analítica y numérica del método, en el capítulo IV se presenta el instructivo de uso, el cual de una forma sencilla nos lleva a una correcta aplicación de las partes anteriores.

En el capítulo V se presentan algunos ejemplos de aplicación que se han resuelto con el método aquí expuesto; esto se hará dando los enunciados y presentando la solución aportada por una computadora programada para tal efecto.

Finalmente, en el capítulo VI, se dan a conocer las conclusiones obtenidas durante la elaboración y aplicación de este trabajo, así como algunas recomendaciones adicionales para una correcta utilización del procedimiento tratado.



## CAPITULO II

### DESCRIPCION DEL METODO INTERACCION SUELO-PILOTE

#### II.1 ANTECEDENTES

Como se menciona en el capítulo anterior durante el análisis interacción suelo-estructura, para el diseño de cimentaciones, el problema se debe a la consideración conjunta de la rigidez de la estructura así como de la estatigrafía y propiedades del suelo.

Para comprender la magnitud del problema repasemos algunos conceptos, en cuanto la distribución de asentamientos y esfuerzos, tomando en consideración los casos de suelos puramente cohesivos o bien puramente friccionantes; en lo que respecta al tipo de cimentación, analizaremos los casos de cimentaciones totalmente rígidas y cimentaciones totalmente flexibles.

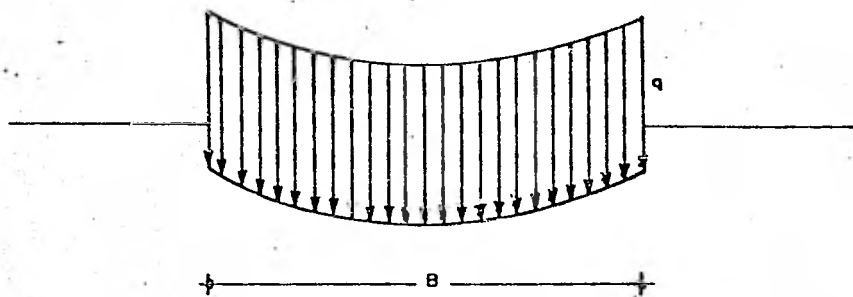
Como primer paso, consideremos una área con carga uniforme y totalmente flexible. Debido a su flexibilidad, las presiones que ésta transmite al suelo serán idénticas a la presión uniforme sobre el área. Por lo anterior el asentamiento no podrá ser uniforme sino que presentará un valor máximo al centro y disminuirá en la periferia. En la práctica - el asentamiento inmediato de áreas flexibles con carga uniforme, sobre suelos compresibles, adopta un perfil similar al mostrado en la figura (2.1.a).

Si consideramos la misma área flexible y la apoyamos sobre un suelo friccionante, ya que los materiales gruesos tienen la propiedad de que aumentan su rigidez al ser confinados,

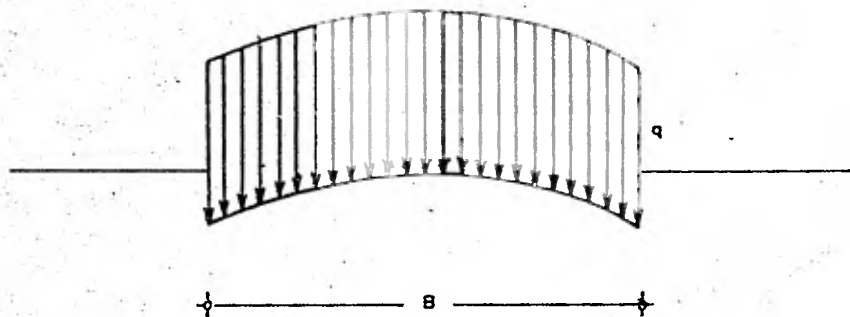
el perfil del asentamiento en este caso adopta la forma que se muestra en la figura (2.1.b). El asentamiento máximo se presenta en los extremos y disminuye conforme nos acercamos al centro del área.

Veamos ahora el caso en que la carga se transmite a través de una placa muy rígida. Es obvio que en este caso la placa se asentará uniformemente, por lo que la presión de contacto entre placa y suelo no podrá ser uniforme. Un razonamiento análogo en el caso de un suelo friccionante conduce a lo siguiente: de manera de que el asentamiento de una placa apoyada sobre un suelo cohesivo sea uniforme, se deberá disminuir la tendencia al asentamiento en la parte central ( por medio de una disminución de presión ) y aumentar dicha tendencia en las orillas ( aumentando la presión ) como se muestra en la figura (2.2.a). Para el caso de un suelo friccionante el aumento de presión se dará al centro del área y disminuirá hacia los extremos (fig. 2.2.b) . La valuación cuantitativa de las distribuciones de esfuerzos y asentamientos ha preocupado a los ingenieros desde hace mucho.

El primer antecedente en lo que se refiere a este tipo de investigaciones se debe al profesor Terzaghi, (1943), quien propuso un método que consiste en sustituir el suelo que soporta a la cimentación por una cama de resortes igualmente espaciados y con un cierto módulo elástico, como se muestra en la figura (2.3). La obtención de los datos necesarios para asignar un valor razonable a este módulo, requiere aplicar una presión uniforme sobre la superficie expuesta del suelo, para después medir la deflexión de los diferentes puntos y dividir la presión unitaria entre la deflexión de los mismos puntos y así tomar un promedio de los valores obtenidos. El procedimiento involucra un factor arbitrario ya

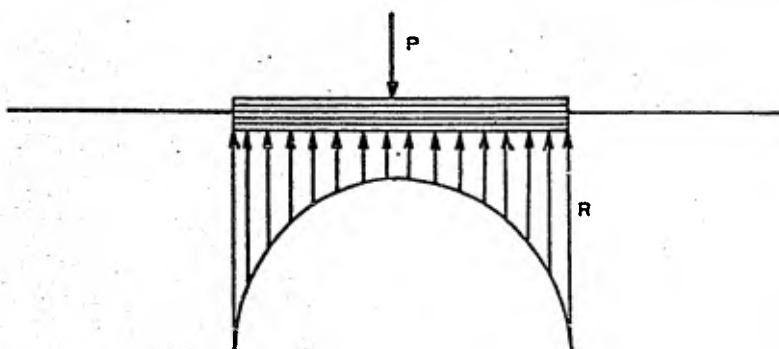


a) Asentamiento sobre un suelo compresible

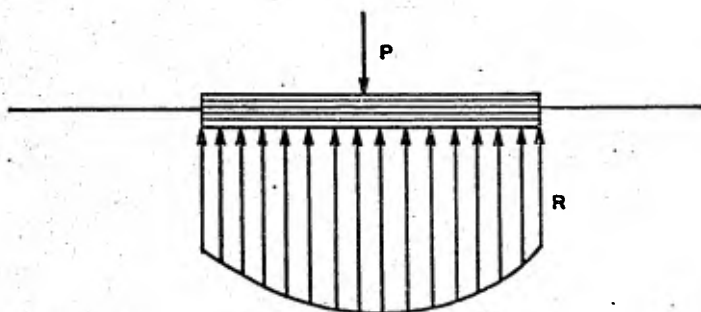


b) Asentamiento sobre un suelo friccionante

FIG. 2.1 PERFILES DEL ASENTAMIENTO DE AREAS FLEXIBLES CARGADAS UNIFORMEMENTE



a) Distribución de presiones bajo un suelo compresible.



b) Distribución de presiones bajo un suelo friccionante..

FIG. 2.2 PERFILES DE PRESIONES BAJO UNA  
PLACA INFINITAMENTE RIGIDA

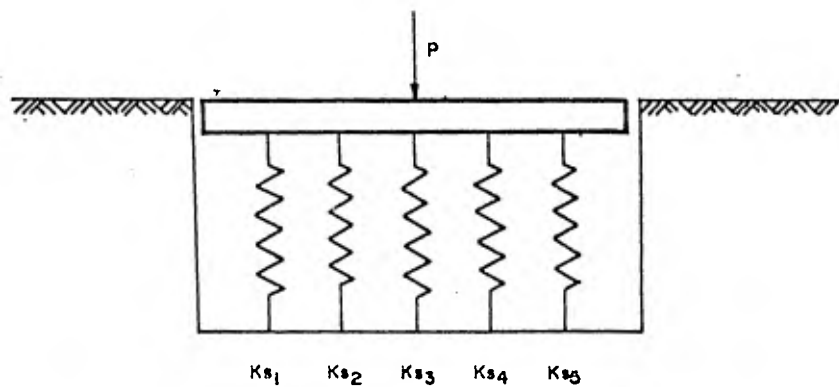


FIG. 2.5 METODO DE TERZAGHI

Sustitución del suelo por resortes.

que se reemplaza un módulo variable por un valor promedio, el módulo de reacción del suelo ( $K_s$ ).

Actualmente se han registrado grandes avances debidos al - Dr. Zeevaert (1973). El método de Zeevaert es de un alcance mucho mayor que el propuesto por Terzaghi además, como ya - se dijo, se lleva a cabo en condiciones dinámicas y esto es una ventaja adicional del mismo.

En el siguiente inciso hablaremos de un procedimiento pro-- puesto por el Ing. Deméneghi el cual permite resolver el -- problema interacción sin necesidad del uso del módulo de -- reacción del suelo.

## II.2 METODO INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA

(Ing. A. Deméneghi, 1979; Revista Ingenieria No. 3)

(Ing. A. Deméneghi, 1980; Apuntes)

El método que presenta el Ing. Deméneghi, para el análisis - interacción suelo-estructura, fue planteado para resolver - una estructura del tipo reticular y determinar la reacción del terreno sobre la cimentación de la misma. En este traba - jo llevaremos el procedimiento al análisis de pilotes en - suelos compresibles y sometidos a cargas laterales efecto - de un sismo. Como hemos visto este caso es muy particular - dentro del análisis interacción suelo-estructura.

Es conveniente señalar que nos encontramos ante un método - de análisis estático, dentro del cual se recurre a hipóte-- sis simplificadorias, sin embargo nos permite resolver el - problema interacción sin la necesidad de conocer el módulo de reacción del suelo, ni de recurrir a iteraciones.

Consideremos un pilote de punta hincado en un suelo de mediana a alta compresibilidad. Durante la ocurrencia de un sismo, un edificio cimentado sobre pilotes se ve sujeto a una serie de efectos ocasionados por el movimiento telúrico. Entre las principales acciones se cuentan el momento de volteo y la fuerza horizontal sobre la estructura, ambos debidos al efecto dinámico del fenómeno (fig. 2.4).

La determinación del momento de volteo ( $M$ ) y la fuerza horizontal ( $V$ ) sísmicos se puede efectuar por el análisis estático o por el análisis dinámico, tratados con amplitud en la literatura del diseño estructural.

El momento de volteo ocasiona un incremento de carga en los pilotes de un extremo de la cimentación y un decremento de carga en el otro extremo. En ocasiones, se valda este incremento (positivo y negativo) por medio de la fórmula de la escuadría.

La fuerza horizontal provoca un desplazamiento horizontal de la estructura con respecto al subsuelo y genera en cada pilote fuerzas cortantes y momentos flexionantes a lo largo de toda la pieza.

En este trabajo sólo estudiaremos el efecto de la fuerza cortante y, nos concretaremos a determinar el diagrama de reacciones del suelo.

En vista de que desconocemos el diagrama de reacción del terreno lo sustituimos por cargas distribuidas, siguiendo una ley como la mostrada en la figura (2.5), considerando al pilote infinitamente rígido. En este caso es obvio que debido a su rigidez el pilote se desplazará uniformemente por lo -

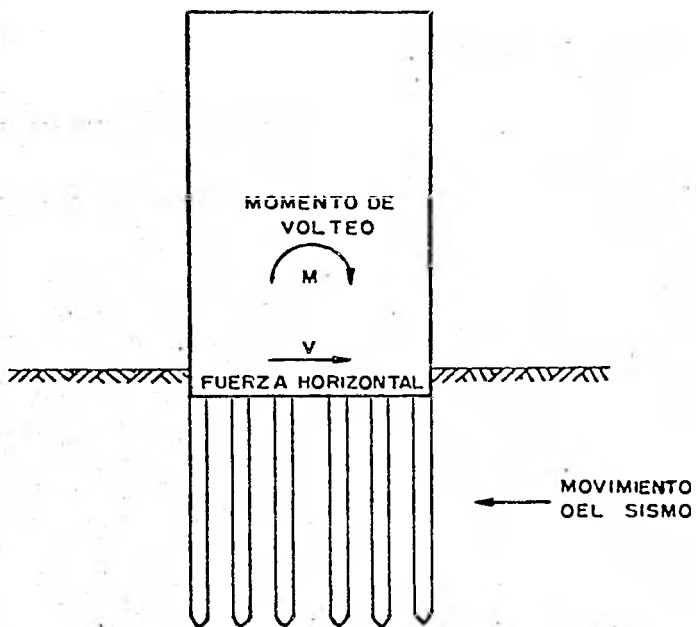


FIG. 2.4 SOLICITACIONES SISMICAS SOBRE LA CIMENTACION DE UN EDIFICIO



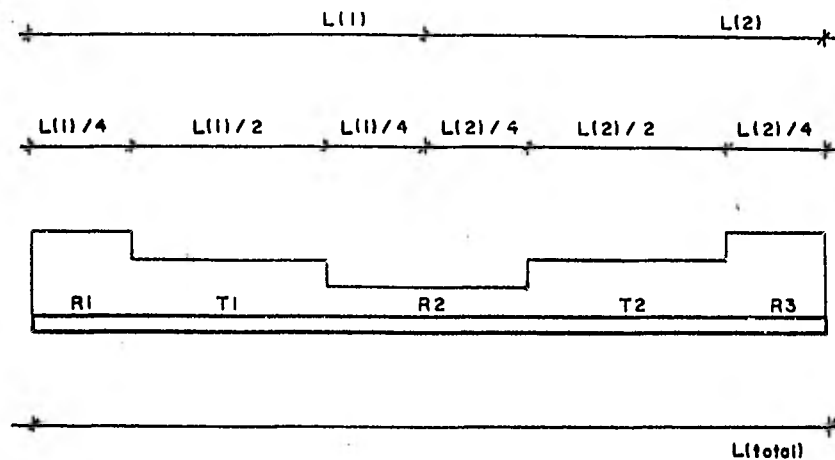


FIG. 2.5 LEY DE DISTRIBUCION DE REACCIONES  
( método de Deméghli )

que, la presión de contacto entre pilote y medio no podrá ser uniforme. (Juárez Badillo y Rico, 1976; Pozas, 1980).

Para realizar el análisis conjunto de la estructura y el suelo, conviene emplear el método de rigideces para el análisis de la estructura. Como es bien conocido, al utilizar este procedimiento, se obtiene la matriz de rigideces y si bien hemos supuesto el vector de cargas, desconocemos el de desplazamientos (al hablar de desplazamientos nos referimos a los desplazamientos angulares o giros ( $\theta_i$ ) de cada uno de los nudos de la estructura y a los desplazamientos horizontales ( $\delta_i$  y  $\xi_i$ ). Sin embargo, al realizar el análisis de hundimientos del terreno, podremos obtener los desplazamientos del suelo en función de las reacciones  $R_i$  y  $T_i$ . Sustituyendo estas ecuaciones en las expresiones derivadas de la aplicación inicial del método de rigideces, nos queda un sistema de ecuaciones en el que las incógnitas son únicamente los giros, las reacciones del terreno y el momento actuante. Resolviendo este sistema determinemos las incógnitas mencionadas. Como tenemos además los desplazamientos horizontales en función de las reacciones, también podremos calcularlos.

Conocidos giros, desplazamientos y el momento, es fácil obtener a partir de ellos los momentos flexionantes y fuerzas cortantes a lo largo de toda la estructura.

Mediante la utilización del método de rigideces, obtendremos las ecuaciones que relacionan el doble de los giros en los nudos (doblegiros,  $\theta$ ), los desplazamientos horizontales  $\delta_i$  y  $\xi_i$  y las reacciones del terreno  $R_i$  y  $T_i$ . Empezaremos con la condición de equilibrio de momentos en los nudos  $i$ , seguiremos con la condición de equilibrio de fuerzas cortan

tes en la cruzía  $i$ , continuaremos con la determinación de la deflexión  $\xi_i$  a la mitad de la cruzía  $i$  y terminaremos con la ecuación de equilibrio de fuerzas verticales en toda la estructura.

La obtención de la ecuación correspondiente a la condición de equilibrio de momentos en el nudo  $l$ , mediante la utilización del método de rigideces, tiene la siguiente forma:

El momento sobre el nudo  $i$ , debido a la barra  $(i,j)$ , valdrá (Luthe, 1971):

$$M_i = M_i^e + 4 \frac{EI}{L} \theta_i + 2 \frac{EI}{L} \theta_j + 6 \frac{EI}{L^2} \Delta_{ij} \dots (1)$$

La expresión anterior es indicativa del proceso que utiliza el método de rigideces. Es una suma de términos que corresponden a las siguientes etapas:

En la figura se presenta la solución de una estructura por el método de rigideces. Los nudos se fijan lineal y angularmente en la estructura I para posteriormente permitir su giro en las estructuras II y III y el desplazamiento lineal en la estructura IV.

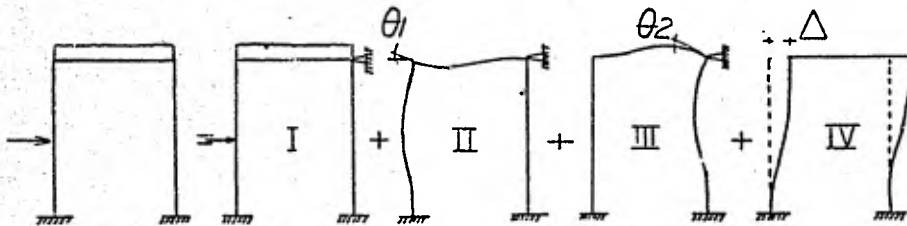


Fig. 2.6., Solución de una estructura por rigideces.

Se calculan los momentos de empotramiento en las diferentes estructuras:

- a) Para la estructura I, debido al sistema de cargas aplicadas.
- b) Para la estructura II, debido al giro ( $\theta_1$ ).
- c) Para la estructura III, debido al giro ( $\theta_2$ ).
- d) Para la estructura IV, debido al desplazamiento.

El momento final sobre el nudo i será la suma de los obtenidos en los pasos anteriores y corresponde al obtenido en la ecuación (1).

Siguiendo lo anterior, el momento de empotramiento debido al sistema de cargas está dado por (Cálculo de estructuras reticulares, Carlos Fernández Casado):

$$M_{ij}^e = -\frac{1}{192} ( 11T_i L_i^2 + 4.2R_i L_i^2 + \dots 812R_j L_i^2 ) \dots (2)$$

si hacemos

$$K_{ij} = \frac{EI}{L} = K_{ji} \dots (3)$$

$$\phi_i = 2\theta_i \dots (4)$$

$$\phi_j = 2\theta_j \dots (5)$$

$$\psi_{ij} = 6\Delta_{ij} / L \dots (6)$$

al sustituir 2,3,4,5 y 6 en la ecuación (1), obtenemos:

$$\begin{aligned}
 & -M_1 + K_1\theta_2 - 6 \frac{K_1}{L_1} \delta_1 + 6 \frac{K_1}{L_1} \delta_2 - \frac{67}{3072} \bar{R}_1 L_1^2 - \frac{13}{3072} R_2 L_1^2 - \\
 & - \frac{11}{192} T_1 L_1^2 = 0 \dots\dots\dots (7)
 \end{aligned}$$

donde (7) es la ecuación de equilibrio de momentos en el modo 1.

De la misma forma obtendríamos cada una de las ecuaciones siguientes:

Ecuación de equilibrio de momentos en el modo 2.

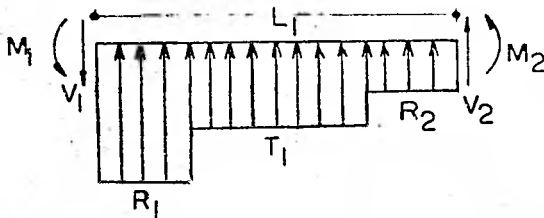
$$\begin{aligned}
 & 2(K_1+K_2)\theta_2 + K_2\theta_3 - 6 \frac{K_1}{L_1} \delta_1 + 6 \left( \frac{K_1}{L_1} - \frac{K_2}{L_2} \right) \delta_2 + 6 \frac{K_2}{L_2} \delta_3 + \\
 & + \frac{13}{3072} R_1 L_1^2 + \frac{67}{3072} (L_1^2 - L_2^2) R_2 - \frac{13}{3072} L_2^2 R_3 + \frac{11}{192} L_1^2 T_1 - \dots \\
 & \dots - \frac{11}{192} L_2^2 T_2 = 0 \dots\dots\dots (8)
 \end{aligned}$$

Ecuación de equilibrio de momentos en el modo  $i$ , para  $i = 3 \leq i \leq n-2$ .

$$\begin{aligned}
 & K_{i-1}\theta_{i-1} + 2(K_{i-1}-K_i)\theta_i + K_i\theta_{i+1} - 6 \frac{K_{i-1}}{L_{i-1}} \delta_{i-1} + 6 \left( \frac{K_{i-1}}{L_{i-1}} \right. \\
 & \left. - \frac{K_i}{L_i} \right) \delta_i + 6 \frac{K_i}{L_i} \delta_{i+1} + \frac{13}{3072} L_{i-1}^2 R_{i-1} + \frac{67}{3072} (L_{i-1}^2 - L_i^2) R_i
 \end{aligned}$$

$$-\frac{13}{3072} L_1^2 R_{1+i} + \frac{11}{192} L_{i-1}^2 T_{i-1} - \frac{11}{192} L_i^2 T_i = 0 \dots (9)$$

Veamos ahora la forma de obtener las ecuaciones para la condición de equilibrio de cortantes en la cruzía  $i = 1$ .



si hacemos  $\sum M_2 = 0$ , tendremos:

$$R_1 \frac{L_1}{4} \frac{7}{8} L_1 + R_2 \frac{L_1}{4} \frac{L_1}{8} + T_1 \frac{L_1}{2} \frac{L_1}{2} - M_1 - M_{21} - V_1 L_1 = 0$$

como sabemos:

$$M_{21} = M_{21}^e + 2K_1 \theta_2 + K_1 \theta_1 - 6 \frac{K_1}{L_1} \delta_1 + 6 \frac{K_1}{L_1} \delta_2$$

si sustituimos y efectuamos operaciones obtendremos:

$$M_1 + 2K_1 \theta_2 - 6 \frac{K_1}{L_1} \delta_1 + 6 \frac{K_1}{L_1} \delta_2 - \frac{659}{3072} L_1^2 R_1 - \frac{29}{3072} L_1^2 R_2 - \dots$$

$$\dots - \frac{37}{192} L_1^2 T_1 = - L_1 V_1 \dots \dots \dots (10)$$

siendo (10) la ecuación de equilibrio de cortantes para  $i=1$

De la misma forma obtendríamos las ecuaciones:

Ecuación de equilibrio de cortantes para  $i = 2$ .

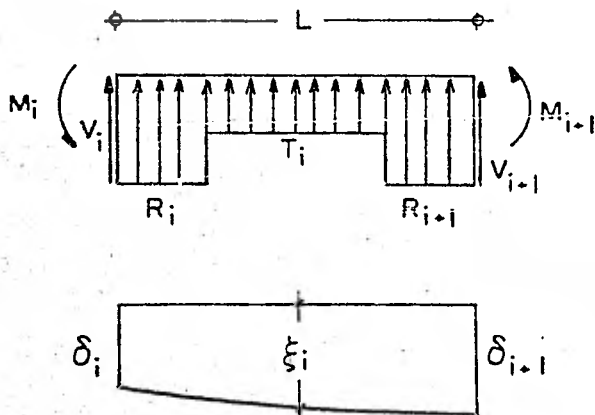
$$3K_2 \theta_2 + 3K_2 \theta_3 - 12 \frac{K_2}{L_2} \delta_2 + 12 \frac{K_2}{L_2} \delta_3 - \frac{L_1 L_2}{4} R_1 - \left( \frac{L_1 L_2}{4} + \dots \right. \\ \left. \dots + \frac{121}{512} L_2^2 \right) R_2 - \frac{7}{512} L_2^2 R_3 - \frac{L_2}{2} L_1 T_1 - \frac{L_2^2}{4} T_2 = - V_1 L_2 \quad (11)$$

Ecuación de equilibrio de cortantes para  $3 \leq i \leq n-2$ .

$$3K_i \theta_i + 3K_i \theta_{i+1} - 12 \frac{K_i}{L_i} \delta_i + 12 \frac{K_i}{L_i} \delta_{i+1} - \frac{L_i L_1}{4} - \frac{L_i}{4} \sum_{k=2}^{i-1} \left( \dots \right. \\ \left. L_{k-1} + L_k \right) R_k - \left( \frac{L_{i-1} L_i}{4} + \frac{121}{512} L_i^2 \right) R_i - \frac{7}{512} L_i^2 R_{i+1} - \dots \\ \dots - \frac{L_i}{2} \sum_{k=1}^{i-1} L_k T_k - \frac{L_i^2}{2} T_i = - L_i V_1 \dots \dots \dots (12)$$

Con las ecuaciones anteriores terminamos con la condición - de equilibrio de cortantes.

Falta encontrar las ecuaciones que nos relacionen los desplazamientos  $\xi_i$  a la mitad de la cruzía  $i$ , con los doble giros en los extremos de la barra ( $\theta_i, \theta_{i+1}$ ), con los desplazamientos ( $\delta_i$  y  $\delta_{i+1}$ ) bajo los ejes y con la fuerza a la mitad de la cruzía.



Para la obtención de  $\xi_i$  haremos uso del método de la viga conjugada.

Con este método se supone una viga ficticia denominada viga conjugada que tiene la misma longitud que la viga real pero con apoyos tales que si la viga conjugada se carga con el diagrama  $M/EI$  de la viga real, la fuerza cortante de la viga en una sección cualquiera es igual a la pendiente de la tangente de la viga real en ese punto, y el momento flexionante de la viga conjugada en un punto cualquiera, es el desplazamiento en ese punto de la viga real.



Los apoyos de la viga conjugada se pueden determinar considerando las características de la viga real y las condiciones correspondientes en la viga conjugada. En un apoyo simple no hay desplazamientos pero si hay giro en la viga real por lo tanto no hay momento pero si hay cortante en la viga conjugada y corresponde a un apoyo simple; un extremo libre en la viga real corresponde a un empotramiento en la viga conjugada y un apoyo simple interior en la viga real es una articulación en la viga conjugada.

En nuestro problema, el diagrama de momentos flexionantes será la suma del diagrama debido a  $M_i$  y  $M_{i+1}$ , del debido a las cargas  $R_i$ ,  $T_i$  y  $R_{i+1}$ . La viga conjugada será la suma de los diagramas mencionados divididos entre  $EI$ .

Si hacemos la suma de momentos en la viga conjugada con respecto al centro de la crujía  $i$ , obtendremos:

$$\begin{aligned} \zeta_i - \delta_i &= \frac{1}{EI} \left( M_i - \frac{M_i - M_{i+1}}{2} \right) \frac{L}{2} \frac{2L}{3} \frac{L}{2} + \frac{M_i - M_{i+1}}{2} \frac{L}{2} \frac{L}{2} \frac{L}{2} + \left( \frac{1}{2} \right. \\ & V_i \frac{L}{2} \frac{L}{2} \frac{L}{3} \frac{L}{2} - \frac{1}{3} \frac{L}{4} \frac{L}{3} \frac{L}{32} R_i L^2 \left( \frac{L}{4} + \frac{1}{4} \frac{L}{4} \right) - \frac{L}{4} \frac{L}{32} R_i L^2 \frac{1}{2} \frac{L}{4} - \frac{1}{2} \frac{L}{4} \frac{L}{16} \dots \\ & \dots R_i L^2 \frac{1}{3} \frac{L}{4} - \frac{1}{3} \frac{L}{4} \frac{L}{32} T_i L^2 \frac{1}{4} \frac{L}{4} \left. \right) - \frac{\phi_i L}{2} \frac{L}{2} \dots \dots \dots (a) \end{aligned}$$

si sabemos que:

$$M_i = M_i^e + 2K\phi_i + K\phi_{i+1} - 6 \frac{K}{L} \delta_i + 6 \frac{K}{L} \delta_{i+1}$$

si hacemos:

$$K = \frac{EI}{L}$$

ademas tenemos:

$$M_1 = -\frac{67}{3072} R_1 L^2 - \frac{13}{3072} R_{i+1} L^2 - \frac{11}{192} T_1 L^2 + 2 \frac{EI}{L} \phi_i + \frac{EI}{L} \dots$$

$$\dots \phi_{i+1} - 6 \frac{EI}{L} \delta_1 + 6 \frac{EI}{L} \delta_{i+1} \dots \dots \dots (b)$$

$$M_{i+1} = \frac{13}{3072} R_1 L^2 + \frac{67}{3072} R_{i+1} L^2 + \frac{11}{192} T_1 L^2 + 2 \frac{EI}{L} \phi_{i+1} + \frac{EI}{L} \dots$$

$$\dots \phi_i - 6 \frac{EI}{L} \delta_1 + 6 \frac{EI}{L} \delta_{i+1} \dots \dots \dots (c)$$

sustituyendo (b) y (c) en la ecuación (a), efectuando operaciones y reagrupando tendríamos:

$$-K_1 - 8 \frac{K_1}{L_1} \delta_1 - 8 \frac{K_1}{L_1} \delta_2 + 16 \frac{K_1}{L_1} \xi_1 + \frac{1}{256} L_1^2 R_2 + \frac{13}{284} L_1^2 T_1 \dots$$

$$\dots = 0 \dots \dots \dots (13)$$

donde (13) es la ecuación del desplazamiento a la mitad del entre-eje, para  $i = 1$ .

De la misma forma obtendríamos las ecuaciones:

Ecuación del desplazamiento en la cruzía  $i$ , para  $2 \leq i \leq n-2$ .

$$K_i \theta_i - K_i \theta_{i+1} - 8 \frac{K_i}{L_i} \delta_i - 8 \frac{K_i}{L_i} \delta_{i+1} + 16 \frac{K_i}{L_i} \zeta_i + \frac{1}{256} L_i^2 R_i + \dots$$

$$\dots + \frac{13}{384} L_i^2 T_i = 0 \dots \dots \dots (14)$$

Ecuación del desplazamiento a la mitad de la cruzía para  $i = n-1$ .

$$-2K_{n-1} \theta_n - 8 \frac{K_{n-1}}{L_{n-1}} \delta_n + 8 \frac{K_{n-1}}{L_{n-1}} \zeta_{n-1} + \frac{5}{256} L_{n-1}^2 R_n + \dots$$

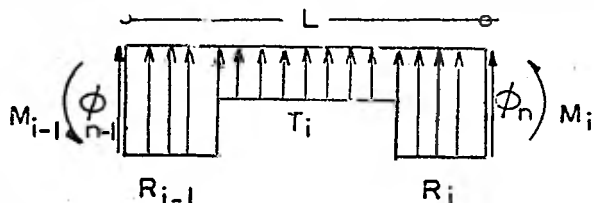
$$\dots + \frac{1}{768} L_{n-1}^2 T_{n-1} = 0 \dots \dots \dots (15)$$

Ecuación del desplazamiento en el mudo  $n$ .

$$-K_{n-1} \theta_n + 2 \frac{K_{n-1}}{L_{n-1}} \delta_{n-1} - 2 \frac{K_{n-1}}{L_{n-1}} \delta_n + \frac{1}{3072} R_{n-1} L_{n-1}^2 + \dots$$

$$\dots + \frac{175}{3072} L_{n-1}^2 R_n + \frac{5}{192} L_{n-1}^2 T_{n-1} = 0 \dots \dots \dots (16)$$

Obtenemos ahora la ecuación del giro en el mudo  $n$ , para ello es necesario obtener el cortante en el mudo  $n$  en la viga conjugada:



tenemos que:

$$\phi_{n-1} - \phi_n + \frac{13}{96} L_{n-1}^3 T_{n-1} + \frac{37}{192} L_{n-1}^3 R_n + \frac{1}{192} L_{n-1}^3 R_{n-1} = 0$$

de donde:

$$K_{n-1} \phi_{n-1} - K_{n-1} \phi_n + \frac{13}{96} L_{n-1}^2 T_{n-1} + \frac{37}{192} L_{n-1}^2 R_n + \frac{1}{192} L_{n-1}^2 \dots$$

$$\dots R_{n-1} = 0 \dots \dots \dots (17)$$

siendo (17) la ecuación del giro en el nudo n .

Por el mismo procedimiento, de la viga conjugada, obtendríamos la ecuación de equilibrio de momentos en el nudo n-1, esta ecuación tiene la siguiente forma:

$$K_{n-2} \phi_{n-2} + 2K_{n-2} \phi_{n-1} - 6 \frac{K_{n-2}}{L_{n-2}} \delta_{n-2} + 6 \frac{K_{n-2}}{L_{n-2}} \delta_{n-1} + \dots$$

$$\dots + \frac{13}{3072} L_{n-2}^2 R_{n-2} + \left( \frac{67}{3072} L_{n-2}^2 - \frac{1}{32} L_{n-1}^2 \right) R_{n-1} - \dots$$

$$\dots - \frac{7}{32} L_{n-1}^2 R_n + \frac{11}{192} L_{n-2}^2 T_{n-2} - \frac{1}{4} L_{n-1}^2 T_{n-1} = 0 \dots \dots \dots (18)$$

Finalmente obtengamos la ecuación de equilibrio de fuerzas verticales; de la fig. (2.5) vemos que la suma de fuerzas verticales esta dada por:

$$R_1 \frac{L_1}{4} + R_2 \left( \frac{L_1}{4} + \frac{L_2}{4} \right) + R_3 \left( \frac{L_2}{4} + \frac{L_3}{4} \right) + R_4 \frac{L_3}{4} + T_1 \frac{L_1}{2} + T_2 \frac{L_2}{2} + T_3 \frac{L_3}{2} = V$$

de donde podemos obtener la ecuación general:

$$R_1 \frac{L_1}{4} + \sum_{i=2}^{n-1} R_i \left( \frac{L_{i-1}}{4} + \frac{L_i}{4} \right) + R_n \frac{L_{n-1}}{4} + \sum_{i=1}^{n-1} T_i \frac{L_i}{2} = V \quad (19)$$

y (19) es la ecuación buscada.

Hemos visto hasta ahora las formas de obtener las ecuaciones necesarias para el análisis interacción las cuales, como indicamos anteriormente, quedan en función de los giros ( $\theta$ ), los desplazamientos ( $\delta$  y  $\xi$ ) y el momento de volteo ( $M$ ) además de las cargas ( $R$  y  $T$ ). Es necesario ahora determinar los desplazamientos horizontales del pilote en función de las reacciones, para esto se hará un cambio de notación llamando  $Q_i$  a las fuerzas y  $\eta_i$  a los desplazamientos (fig. 2.7). Se puede ver que el cambio de notación esta dado por:

$$\delta_i = \eta_{2i-1} \quad ; \quad \xi_i = \eta_{2i}$$

$$R_i = Q_{2i-1} \quad ; \quad T_i = Q_{2i}$$

donde  $i$  varía de 1 a  $n$ , siendo  $n$  = número de nudos.

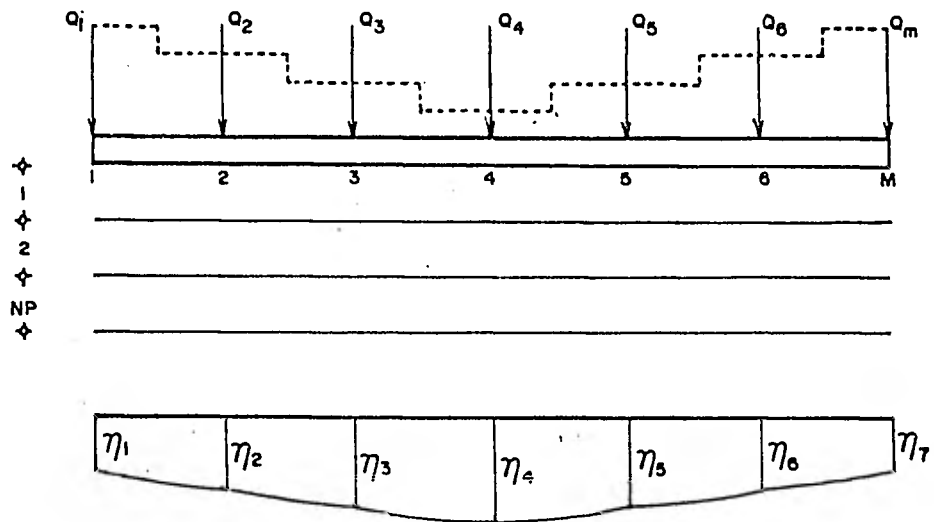


FIG. 2.7 DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES DEL PILOTE  
(cambio de variable)

Para determinar los desplazamientos del pilote será necesaria la suposición de estratos paralelos a este; el número y espesor de ellos dependerá de la precisión deseada en el análisis.

Calculemos ahora los desplazamientos  $\eta_i$  en función de las cargas  $Q_i$ . En el caso de un estrato compresible, homogéneo, de espesor pequeño, en el que el coeficiente  $M_v$  puede considerarse constante, para el intervalo de presiones en que se trabaja, la deformación de un estrato  $j$ , bajo una carga  $Q_i$  colocada en  $r$ , valdrá:

$$\alpha_{ir} = M_{vi} \Delta \sigma_{ir} H_j \dots \dots \dots (I)$$

donde:

$\alpha_i$  = Deformación del estrato  $j$ , debido a una carga colocada en  $r$ .

$M_{vi}$  = Módulo de deformación del estrato  $i$ .

$H_j$  = Espesor del estrato  $j$ .

$\Delta \sigma_{ir}$  = Esfuerzo normal en el estrato  $j$ , debido a la presión  $Q_r/a_r$ , en el contacto suelo-pilote.

$a_r$  = Área de contacto correspondiente a la carga  $Q_r$ .

pero:

$$\Delta \sigma_{ir} = I_r \frac{Q_r}{a_r} \dots \dots \dots (II)$$

siendo  $I_r$  = Valor de influencia debido a una carga colocada en  $r$ .

El valor de  $I_r$  se puede determinar calculando el esfuerzo - que ocasiona una presión unitaria en el área  $a_r$ , sobre el estrato  $j$  (Zeevaert, 1973).

La deformación del estrato  $j$ , debida a todas las cargas  $Q_r$  será igual a:

$$\eta_i = M_{vi} H_j \sum_{r=1}^m I_r \frac{Q_r}{a_r} \quad ; \quad m = \text{Número de cargas en la superficie}$$

Ahora bien, el desplazamiento bajo el punto  $r$  valdrá:

$$\eta_r = \sum_{j=1}^{np} \eta_{ij} \quad ; \quad np = \text{Número de estratos supuesto}$$

es decir:

$$\eta_r = \sum_{j=1}^{np} M_{vi} H_j \sum_{r=1}^m I_r \frac{Q_r}{a_r} \dots \dots \dots \text{(III)}$$

Con la ecuación III, podemos obtener los desplazamientos en función de las cargas  $Q_r$ . Para determinar los desplazamientos  $\delta_i$  y  $\xi_i$ , emplearemos las siguientes transformaciones:

$$R_i = Q_{2i-1} \dots \dots \dots \text{(IV)}$$

$$T_i = Q_{2i}$$

$$\delta_i = \eta_{2i-1} \dots \dots \dots \text{(V)}$$

$$\xi_i = \eta_{2i}$$

para  $i=1$  a  $m$ .



De esta manera, los desplazamientos quedan en función lineal de las reacciones  $R_i$  y  $T_i$ . Los valores que se obtienen de aplicar las ecuaciones III, IV y V, se sustituyen en las ecuaciones obtenidas de aplicar, inicialmente, el método de rigideces a la estructura. De esta forma desaparecen como incógnitas los desplazamientos. Con lo anterior, es fácil ver que el número de ecuaciones resultante, al hacer esta sustitución, es igual al número de incógnitas y se puede resolver. Conocidos los valores de  $R_i$  y  $T_i$  y aplicando las ecuaciones III, IV y V se pueden determinar, a partir de ellas, los desplazamientos del pilote en estudio.

### II.3 DESPLAZAMIENTOS HORIZONTALES DE SUELO Y PILOTE

Como indicamos anteriormente, la fuerza sísmica horizontal ocasiona en la cabeza de un pilote una fuerza cortante que se puede valuar dividiendo la fuerza total entre el número total de pilotes. De esta manera, se obtiene la fuerza cortante en la cabeza de un pilote individual, que denominaremos (V)(fig. 2.8).

Debido al sismo se presenta un movimiento horizontal del suelo con respecto a un plano de referencia A-A', que denominaremos  $\delta_s$  (fig. 2.9.a); este desplazamiento se puede determinar utilizando el método propuesto por Zeevaert (1973). Por el efecto de la fuerza cortante, el pilote experimenta un desplazamiento horizontal  $\delta_p$ , con respecto al mismo plano de referencia A-A' (fig.2.9.a). En estas condiciones, se presenta entre suelo y pilote un desplazamiento relativo  $\delta_s - \delta_p = \delta$ , tal como se indica en la fig. (2.9.a)(Zeevaert 1973), el cual ocasiona una reacción repartida del suelo sobre el pilote (fig. 2.9.b).

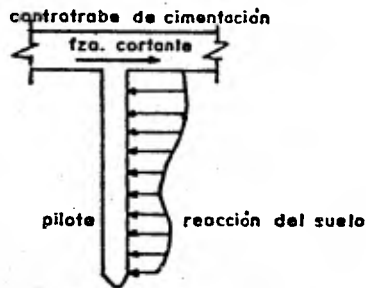


FIG. 2.8 ACCIONES HORIZONTALES SOBRE UN PILOTE

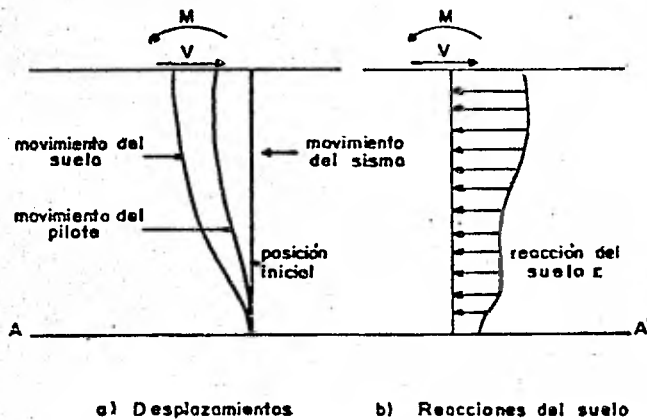


FIG. 2.9

El desplazamiento horizontal relativo entre suelo y pilote depende de la magnitud de la fuerza cortante en la cabeza - de la pieza, de la rigidez del pilote y de la rigidez del - suelo.

La valuación de  $V$  la comentamos anteriormente. La rigidez - del pilote está dada por el producto  $EI$ , siendo  $E$  el módulo de elasticidad del material que forma el pilote y que para el caso de pilotes de concreto se puede obtener como:

$$E = 10\,000\sqrt{f'c}$$

en  $\text{Kg/cm}^2$ , siendo  $f'c$  la resistencia en compresión no confi- nada del concreto a los 28 días de fabricado, en  $\text{Kg/cm}^2$ .  $I$  es el momento de inercia de la sección de un pilote, supues- to de tipo prismático o cilíndrico, más no constante en to- da su longitud para este caso.

La rigidez del suelo debe valuar en condiciones dinámicas. Sabemos que la deformación de un estrato de suelo de espe- sor  $e$  está dada por:

$$\delta = M_v e \Delta_p$$

siendo:

$M_v$  = módulo longitudinal de deformación del suelo.

$\Delta_p$  = esfuerzo promedio aplicado a la mitad del estra- to.

Desde luego, el módulo  $M_v$  debe ser el módulo longitudinal - dinámico de deformación, el cual está relacionado con el -

módulo cortante de rigidez  $G$  de acuerdo con la siguiente -  
 expresión:

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

en donde  $\nu$  = módulo de Poisson

Para el caso de suelos finos saturados sujetos a una solici-  
 tación dinámica (lo que ocurre en un sismo), se puede consi-  
 derar  $\nu = 0.5$ , alcanzando  $M_v$  el valor:

$$M_v = \frac{1}{3G}$$

En términos generales, en dinámica de suelos ha resultado -  
 de mayor facilidad la determinación en la práctica del módu-  
 lo cortante  $G$ , para después emplear las ecuaciones anterio-  
 res para valuar el modulo longitudinal  $M_v$ .

## CAPITULO III

## ELABORACION DEL PROGRAMA DE COMPUTADORA

En el capítulo anterior se vio como las ecuaciones obtenidas mediante la aplicación inicial del método de rigideces, para el análisis de la estructura, y la incorporación en ellas de las deducidas en el análisis del suelo, durante el cálculo de hundimientos, se presentaron en forma de algoritmo. Debido a esto, se ve factible implementar el análisis conjunto suelo-estructura empleando computadoras.

Hace algún tiempo el uso de las computadoras estaba restringido, ya que solo las grandes empresas contaban con los medios económicos para solventar el gasto que esto implicaba. En la actualidad, con la aparición de las microcomputadoras, el acceso a ellas se ha acrecentado, debido a que ahora éstas se encuentran al alcance de quienes no contaban con este tipo de servicio, por lo que la utilización de las mismas será cada vez mayor.

En este capítulo, y como primer inciso, veremos una introducción al lenguaje de programación BASIC, ya que es este el más utilizado en el manejo de las nuevas computadoras.

## III.1 INTRODUCCION AL LENGUAJE DE PROGRAMACION BASIC

El lenguaje BASIC, es un lenguaje de programación que se asemeja a la notación matemática ordinaria. Cumple con el requisito de tener un vocabulario sencillo, fácil de entender y utilizar, que permite la especificación de los programas en forma precisa y completa.

Su nombre proviene de:

Beginner's All-purpose Symbolic Instrucción Code, es decir, Código de instrucción simbólica de fines generales para principiantes. Es un lenguaje orientado al procedimiento, en lugar de orientarse a la máquina y es el lenguaje de programación más sencillo en cuanto aprendizaje y uso, comparado con otros lenguajes como: FORTRAN, COBOL, ALGOL, y PL/1.

Los elementos básicos de este lenguaje lo constituyen las constantes, variables, arreglos, expresiones y proposiciones. El programa para la solución de un problema consiste en un grupo de proposiciones formado por expresiones y operadores, que siguen reglas previamente establecidas semejantes a las reglas gramaticales. A continuación se presentan los elementos básicos del lenguaje BASIC.

#### NUMERACION DE RENGLONES

Cada renglón de un programa en lenguaje BASIC se debe numerar; este número, que identifica al renglón, se encuentra al principio de cada proposición y puede tener de uno a cinco dígitos. Ningún número de proposición debe repetirse en el programa, efectuando la computadora las proposiciones indicadas en el orden especificado por los números de renglón.

Antes de proceder a la ejecución de las proposiciones, la computadora reordena las proposiciones de acuerdo a los números de renglón correspondientes. Por esta razón, las proposiciones pueden introducirse en cualquier orden, pudiéndose añadir o modificar proposiciones en cualquier posición del programa. Por lo tanto, no se recomienda la numeración consecutiva de los renglones, ya que la intercalación de un

nuevo renglón implicaría la reenumeración de las proposiciones restantes del programa.

### CONSTANTES

Una constante es un número cualquiera, entero o real, que no cambia de valor al utilizarse de una ejecución del programa a la siguiente ejecución.

Las constantes pueden ser positivas o negativas. El signo - (+), es opcional para números positivos. La magnitud de una constante puede ser cero o estar comprendida en el intervalo aproximado entre  $10^{-75}$  y  $10^{75}$ , dependiendo del tipo de computadora.

Para números muy grandes o muy pequeños, se tiene la posibilidad de utilizar la nomenclatura exponencial, que consiste en un número seguido de la letra E y de una constante entera positiva o negativa, que indica la potencia de 10 por la que se multiplica el número que precede a la letra E.

### VARIABLES

Las variables indican cualquier cantidad, entera o real, a la que se puede hacer referencia y que puede tener distintos valores durante la ejecución de un programa.

Una variable se indica por cualquier letra del alfabeto, - por combinaciones de las mismas, que no excedan de dos caracteres, por una letra del alfabeto seguida por un solo dígito, entre 0 y 9.

Existen las llamadas variables alfanuméricas, que permiten

el manejo de datos alfanuméricos, como nombres, direcciones y cualquier otra información de identificación. Las variables alfanuméricas se indican por medio de una sola letra - del alfabeto seguida por el símbolo de pesos (\$).

## ARREGLOS Y SUBINDICES

Una variable con subíndice se forma en BASIC con el nombre de un arreglo, seguido de paréntesis, en los que se comprenden uno o varios subíndices, separados por una coma. El nombre del arreglo, que es una variable, cumple con lo establecido para las mismas anteriormente.

Los subíndices pueden ser constantes, variables o expresiones. Se recomienda iniciar la referencia a los subíndices de arreglos con el número uno, de manera que las proposiciones sean aceptadas en todos los sistemas, aun cuando se pierda una posición en los sistemas que aceptan el cero como subíndice.

Se permite que el nombre de un arreglo, se use también como nombre de una variable en un mismo programa. Por lo tanto, C y C(I), representan elementos diferentes, sin embargo, C(I) y C(I,J), pueden representar un mismo arreglo en un mismo programa, por lo tanto, no es recomendable el uso del mismo nombre para dos arreglos diferentes, independientemente de la dimensión de estos.

## EXPRESIONES

Una expresión se define como una constante, una variable con o sin subíndice, una función o cualquier combinación -



de estos elementos, separados por operadores y paréntesis.

Los símbolos de los operadores aritméticos son:

+	adición
-	sustracción
*	multiplicación
/	división
↑	exponenciación

Existe la regla que permite el uso de paréntesis para establecer agrupamientos de la misma manera que en la notación matemática ordinaria. Cuando el orden de los operadores no se indica completamente con el uso de paréntesis, el orden de ejecución es el siguiente: en primer lugar se ejecutan las exponenciaciones, después las multiplicaciones y divisiones, y finalmente las sumas y restas. Sin embargo, en el caso de que el nivel de operaciones sea el mismo, como por ejemplo multiplicaciones y divisiones, o sumas y restas, se procede de izquierda a derecha en el orden de ejecución.

En la operación de exponenciación existe la regla de que una expresión cualquiera se puede elevar a un exponente real, positivo o negativo, pero no se permite que una cant dad ne ga t iv a se eleve a un exponente real, ya que en general el resultado es complejo. Por lo tanto, una can ti dad ne ga t iv a solo puede elevarse a un exponente entero.

#### FUNCIONES PROPORCIONADAS

Todos los sistemas tienen disponible una serie de funciones matemáticas de uso frecuente y a las cuales se puede hacer referencia fácilmente. Los nombres de las funciones consis-

ten de tres letras, seguidas de un argumento encerrado entre paréntesis. En la tabla se presentan las funciones disponibles en BASIC.

Función matemática	Nombre
Seno de un ángulo	SIN
Coseno de un ángulo	COS
Tangente de un ángulo	TAN
Ángulo tangente	ATN
Raíz cuadrada	SQR
Valor absoluto	ABS
Log. natural	LOG

En las funciones SIN, COS, TAN y ATN, el argumento debe estar dado en radianes.

#### PROPOSICIONES

Las proposiciones que se usan en el lenguaje BASIC pueden ser de los tipos siguientes: Aritmética, de Control, Entrada y/o Salida, de Especificación y de Subprograma.

##### a) Proposición Aritmética

Tiene la forma "LET"; es una proposición que se utiliza para especificar las operaciones de cálculo que hay que efectuar. En la mayoría de los sistemas se puede omitir la palabra LET quedando únicamente señaladas las operaciones a efectuar.

##### b) Proposiciones de Control

Las proposiciones de Control se utilizan para especificar el orden de ejecución de las instrucciones de un programa.

En principio las instrucciones se ejecutan según el orden indicado por los números de renglón, utilizandose las proposiciones de control para alterar ese orden. Se tienen - las siguientes proposiciones de Control:

**GOTO n;** al encontrar la proposición anterior, la siguiente proposición que se ejecuta es la que tiene el número de renglón n.

**IF-THEN-ELSE;** con esta proposición se puede alterar el orden de ejecución, dependiendo de si cierta relación entre expresiones es cierta o falsa. Si la relación entre las expresiones es verdadera, el control se transfiere a donde se indique entre los comandos THEN-ELSE, si es falsa, se hace transferencia a donde se indique después del comando ELSE. Otra posibilidad de esta proposición es la de omitir el comando ELSE, en la cual al no cumplir la relación indicada el control se transfiere al siguiente renglón del programa.

Los operadores de relación son:

<u>Símbolo</u>	<u>Significado</u>
=	igual
<	menor que
>	mayor que
≤	menor o igual
≥	mayor o igual
≠	diferente

**FOR-NEXT;** con estas dos proposiciones se pueden ejecutar repetidamente una serie de instrucciones, cambiandose el valor de las variables en cada iteración. La proposición FOR es la primera del rango y la proposición NEXT es la última.

La forma general de estas proposiciones es:

```
FOR R=a TO b STEP c
. . . . .
. . . . .
. . . . .
NEXT R
```

en donde R representa una variable, generalmente llamada - índice y a, b, y c, indican cualquier expresión válida en - BASIC.

La primera vez que se ejecutan las instrucciones, la variable R tiene el valor a y para cada repetición el índice R se recalcula incrementandose al valor de c, hasta obtener el valor b. Después de ejecutarse el ciclo por última vez, el control se transfiere a la proposición inmediata a la proposición NEXT.

En el caso en que el incremento sea igual a +1, se puede - omitir la parte STEP c.

REM; es una proposición de información, que permite insertar comentarios dentro de un programa, en donde el comentario - no tiene ningún efecto en la ejecución del programa.

END; indica el final de un programa, siendo físicamente la última proposición ejecutable de todo programa. Las proposiciones posteriores a END, no se compilan.

### c) Proposiciones de Entrada y/o Salida

Las proposiciones de Entrada/Salida, controlan la transmisión de información entre la computadora y las unidades de

entrada/salida.

READ y DATA; asignan valores numéricos a las variables que se utilizan en el programa y no puede usarse una proposición sin la otra. Tienen la forma general:

```
READ  Lista de variables
DATA  Lista de constantes
```

en donde la lista de variables, indica los nombres de las variables de los datos de entrada, separados por comas, a los cuales se especificarán en ese orden los valores indica dos en la lista de constantes de la proposición DATA.

Las proposiciones DATA pueden encontrarse en cualquier parte del programa teniendo cuidado a que se encuentren en el orden correcto. Por lo general las proposiciones DATA se agrupan inmediatamente antes de la proposición END.

PRINT; esta proposición permite la comunicación entre la máquina y el usuario, mediante la impresión de información, - tiene la forma general:

```
PRINT  Lista de elementos
```

en donde la lista de elementos incluye valores de variables y expresiones, resultados de cálculos numéricos, impresión de mensajes o títulos, saltar renglones en blanco para el - espaciamiento vertical de la información, así como combinaciones de los elementos anteriores.

PRINT USING; con esta proposición se puede obtener la impresión de información con un formato especificado. Tiene la -

forma general:

```
PRINT USING "###.###"; elemento
```

donde "###.###" nos indica el formato de impresión para el elemento deseado (tres enteros y tres decimales). Será necesario un USING para cada elemento con formato.

#### d) Proposición de Especificación

Esta proposición tiene la forma DIM; proporciona información al compilador respecto a la naturaleza y características de determinados arreglos. Es una instrucción no ejecutable, en el sentido de que no genera instrucciones en el programa objeto, en la mayoría de los sistemas debe preceder a la primera proposición ejecutable del programa fuente.

Cuando un arreglo no aparece indicado en la proposición DIM la máquina le reserva automáticamente diez localidades para cada subíndice; por lo tanto si ningún subíndice en los arreglos de un programa excede el valor diez, puede omitirse la proposición; por lo contrario, cuando algún subíndice exceda este valor, es indispensable el uso de la proposición DIM.

#### e) Proposiciones de Subprogramas

Los subprogramas se usan con ventaja en los casos en que se requiere, en partes diferentes de un programa, un mismo cálculo cambiando datos. Los subprogramas permiten escribir una sola vez las proposiciones de cálculo y hacer referencia a ellas en cualquier parte del programa.

Tiene la forma general GOSUB n; con esta proposición se hace transferencia del programa a la subrutina, esta inicia -

en el renglón número n.

RETURN; especifica la terminación de la subrutina, regresando el control a la proposición que sigue a la que transfiere el control a esta.

Con lo anterior, he tratado de introducir los conceptos básicos en lo que se refiere al lenguaje de programación BASIC con el objeto de lograr una mayor comprensión durante la presentación del programa elaborado.

Es conveniente señalar que los conceptos expuestos son una pequeña parte de lo que se podría tratar, son los lineamientos principales de este lenguaje, existiendo grandes variantes que dependerán del sistema empleado, dado que todos ellos ofrecen grandes facilidades de utilización y operación; por lo anterior es de esperar que encontremos modificaciones importantes al pasar de un sistema a otro, y solo podremos conocerlos a fondo mediante sus respectivos manuales.

A continuación presento el programa de computadora para el Análisis Interacción Suelo-Estructura en un Pilote de Sección Variable.

```

10 REM
20 REM PROGRAMA DE COMPUTADORA PARA LA INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA EN UN
30 REM PILOTE DE SECCION VARIABLE
40 REM
50 REM
60 REM PROGRAMA: MANUEL FLORES OJEDA
70 REM
80 REM LENGUAJE DE PROGRAMACION: BASIC
90 REM
100 LPRINTCHR$(12);GOSUB 4300
110 LPRINTSPC(24);CHR$(31);UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO *LPRINT
120 LPRINTSPC(19)* FACULTAD DE INGENIERIA*IFORI=0T04LPRINTNEXTI
130 LPRINTSPC(2)*TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL*LPRINT
140 LPRINTSPC(17)* PRESENTA: MANUEL FLORES OJEDA *IFORI=0T02LPRINTNEXTI
150 LPRINT*PROGRAMA DE COMPUTADORA PARA LA INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA EN UN*
160 LPRINTSPC(19)*PILOTE DE SECCION VARIABLE*CHR$(30);LPRINT
170 REM LECTURA DE DATOS
180 REM DATOS DEL PILOTE
190 READ N
200 M=2*N-1
210 NT=3*N-1
220 DIM B(M),TL(N),ET(N),THI(N),Y(M),AL(M),L(M),G(M),RD(N,N),TD(N,N),RZ(N,N),TZ(N,N),TK(N),NK(N),MINT+1),F1(N,NT+1),DIM(NT+1),R
(N,NT+1),T(N,NT+1),Z(N,NT+1),C(NT+1),A(NT+2,NT+2)
230 PRINT@9B5;" MEMORIA DISPONIBLE "MEM1;" BYTES "IFORI=1T02500;NEXTI;GOSUB4300
240 FOR KR=1 TO M:READ B(KR);NEXT KR
250 FOR I=1 TO N-1:READ TL(I);NEXT I
260 FOR I=1 TO N-1:READ ET(I);NEXT I
270 FOR I=1 TO N-1:READ THI(I);NEXT I
280 REM DATOS DEL SUELO
290 READ NP
300 READ H
310 DIM MV(M,NP),H(NP),F(M,NP,M)
320 PRINT@9B5;" MEMORIA DISPONIBLE "MEM1;" BYTES "IFORI=1T02500;NEXTI;GOSUB4300
330 FOR J=1 TO NP
340 FOR I=1 TO M:READ MV(I,J);NEXT I
350 NEXT J
360 READ V
370 REM IMPRESION DE DATOS
380 LPRINTLPRINTCHR$(31);DATOS PROPORCIONADOS*CHR$(30);LPRINT
390 LPRINT "NUMERO DE EJES" N;"NUMERO DE TRAMOS" N:LPRINT
400 LPRINT "ANCHO DEL PILOTE POR TRAMO DE CARGA" LPRINT
410 FOR KR=1 TO M:LPRINT"B(KR)";B(KR);NEXT KR:LPRINT
420 LPRINT "LONGITUD DE LOS TRAMOS" LPRINT
430 FOR I=1 TO N-1:LPRINT "TL(I)";TL(I);NEXT I:LPRINT
440 LPRINT "MODULO DE ELASTICIDAD DE LOS TRAMOS" LPRINT
450 FOR I=1 TO N-1:LPRINT "ET(I)";ET(I);NEXT I:LPRINT
460 LPRINT "MOMENTO DE INERCIA DE LOS TRAMOS" LPRINT
470 FOR I=1 TO N-1:LPRINT "THI(I)";THI(I);NEXT I:LPRINT
480 LPRINT "NUMERO DE ESTRATOS" NP:LPRINT
490 LPRINT "ESPESOR DE LOS ESTRATOS" LPRINT
500 LPRINT "CORTANTE APLICADO AL PILOTE" V:LPRINT
510 LPRINT "MV EN CADA ESTRATO" LPRINT
520 FOR J=1 TO NP
530 FOR I=1 TO M:LPRINT "MV(I,;J)";MV(I,J);NEXT I
540 NEXT J:LPRINT
550 LPRINT "NUMERO DE CARGAS" M:LPRINT
560 REM OBTENCION DE LAS LONGITUDES POR CARGA
570 I=1
580 Y=1-TL(I)/4

```



```

590 J=0
600 FOR I=2 TO M-1 STEP 2:J=J+1:Y(I)=TL(J)/2:NEXT I
610 J=0
620 FOR I=3 TO M-2 STEP 2:J=J+1:Y(I)=TL(J)/4+TL(J+1)/4:NEXT I
630 I=M
640 Y(I)=TL(I-1)/4
650 LPRINTCHR$(31) "LONGITUDES POR CARGA:"CHR$(30):LPRINT
660 FOR I=1 TO M:LPRINT "Y(I)";Y(I):NEXT I:LPRINT
670 REM CALCULO DE LOS VALORES DE INFLUENCIA
680 I=1:AL(1)=Y(1):Y=M-1
690 FOR I=2 TO MSTEP2
700 IF I=2 THEN 740
710 IF I>Y THEN 740
720 AL(I)=AL(I-2)+.5*Y(I-2)+.5*Y(I)+Y(I-1)
730 GOTO 750
740 AL(I)=AL(I-1)+.5*Y(I)
750 NEXT I
760 I=M:AL(I)=AL(I-1)+.5*Y(I-1)+Y(I)
770 LX=0:XL=0:FOR I=3TOM-2STEP2:XL=XL+1:LX=LX+2:AL(I)=AL(LX)+.5*Y(LX)+TL(XL)/4:NEXT I
780 J=1
790 H(J)=H/2
800 IFNP=1THENB20
810 FOR J=2 TO NP:H(J)=H(J-1)+H:NEXT J
820 FOR I=2 TO M-1
830 FOR J=I+1 TO M:L(J,I)=AL(J)-AL(I):NEXT J:NEXT I
840 I=1:FOR J=1 TOM:L(J,I)=AL(J):NEXT J
850 REM SOLUCION A LOS VALORES DE INFLUENCIA
860 XL=0:FOR KR=3TOM-2STEP2:XL=XL+1
870 FOR I=1TOKR-1
880 FOR J=1TOMP
890 LE=L(KR,I)+TL(XL+1)/4:LIN=L(KR,I)-TL(XL)/4:B=B(KR)/2:H=H(J):L=LE
900 GOSUB4240:W=PI*L:LIN=GOSUB4240
910 F(I,J,KR)=ABS(W-P)*2
920 NEXTJ:NEXTI:NEXTKR
930 FORKR=2TOM-1STEP2
940 FORI=1TOKR-1
950 FORJ=1TOMP
960 LE=L(KR,I)+.5*Y(KR):LIN=L(KR,I)-.5*Y(KR):B=B(KR)/2:H=H(J):L=LE
970 GOSUB4240:W=PI*L:LIN=GOSUB4240
980 F(I,J,KR)=ABS(W-P)*2
990 NEXTJ:NEXTI:NEXTKR
1000 FORKR=2TOM-1STEP2
1010 FORI=KR+1TOM
1020 FORJ=1TOMP
1030 LE=L(I,KR)+.5*Y(KR):LIN=L(I,KR)-.5*Y(KR):B=B(KR)/2:H=H(J):L=LE
1040 GOSUB4240:W=PI*L:LIN=GOSUB4240
1050 F(I,J,KR)=ABS(W-P)*2
1060 NEXTJ:NEXTI:NEXTKR
1070 XL=0:FOR KR=3TOM-2STEP2:XL=XL+1
1080 FORI=KR+1TOM
1090 FORJ=1TOMP
1100 LE=L(I,KR)+TL(XL)/4:LIN=L(I,KR)-TL(XL+1)/4:B=B(KR)/2:H=H(J):L=LE
1110 GOSUB4240:W=PI*L:LIN=GOSUB4240
1120 F(I,J,KR)=ABS(W-P)*2
1130 NEXTJ:NEXTI:NEXTKR
1140 FORKR=2TOM-1STEP2
1150 FORJ=1TOMP
1160 I=KR:L=Y(KR)/2:B=B(KR)/2:H=H(J)
1170 GOSUB4240:F(I,J,KR)=ABS(W*4)
1180 NEXTJ:NEXTI

```

```

1190 XL=0:FORKR=3TOM-2STEP2:XL=XL+1
1200 FORJ=1TONP
1210 I=KRILE=TL(XL)/4:ILIN=TL(XL+1)/4:IB=B(KR)/2:H=H(J):L=LE
1220 GOBUBA240:W=P+2:L=LIN:GOBUBA240
1230 F(I,J,KR)=ABS(W*(P+2))
1240 NEXTJ:NEXTKR
1250 KR=I:FORI=2TOM
1260 FORJ=1TONP
1270 LE=AL(I):ILIN=AL(I)-AL(I):IB=B(KR)/2:H=H(J):L=LE
1280 GOBUBA240:W=P+L:LIN:GOBUBA240
1290 F(I,J,KR)=ABS((W-P)*2)
1300 NEXTJ:NEXTI
1310 KR=H:FORI=1TOM-1
1320 FORJ=1TONP
1330 LE=L(KR,I):ILIN=L(KR,I)-Y(KR):IB=B(KR)/2:H=H(J):L=LE
1340 GOBUBA240:W=P+L:LIN:GOBUBA240
1350 F(I,J,KR)=ABS((W-P)*2)
1360 NEXTJ:NEXTI
1370 FORJ=1TONP:I=1:KR=1:L=Y(KR):IB=B(KR)/2:H=H(J):GOBUBA240
1380 F(I,J,KR)=ABS(P+2):NEXTJ
1390 FORJ=1TONP:I=H:KR=H:L=Y(KR):IB=B(KR)/2:H=H(J):GOBUBA240
1400 F(I,J,KR)=ABS(P+2):NEXTJ
1410 LPRINTCHR(31)*"LOS VALORES DE INFLUENCIA SON:"CHR(30):LPRINT
1420 FOR I=1 TO M
1430 FOR KR=1 TO N
1440 FOR J=1 TO NP
1450 LPRINT" F(I,J,KR)=" USING "D.999999" F(I,J,KR)
1460 NEXT J
1470 NEXT KR
1480 NEXT I:LPRINT
1490 REM CALCULO DE LOS MUNDIMIENTOS DEL BUELO.
1500 FOR I=1 TO M
1510 FOR KR=1 TO N
1520 SUM=0
1530 FOR J=1 TO NP
1540 SUM=SUM(I,J)+H*F(I,J,KR)+SUM
1550 NEXT J
1560 Q(KR,I)=SUM/Y(KR)
1570 NEXT KR
1580 NEXT I
1590 REM CAMBIO DE VARIABLES: A. DEMENEGHI Y CEBAR HERNANDEZ
1600 FOR K=1 TO N
1610 FOR I=1 TO N:RD(I,K)=0(2+I-(2+K-1)):NEXT I
1620 FOR I=1 TO N-1:YD(I,K)=0(2+I,2+K-1):NEXT I
1630 NEXT K
1640 FOR K=1 TO N-1
1650 FOR I=1 TO N:RZ(I,K)=0(2+I,2+K):NEXT I
1660 FOR I=1 TO N-1:TZ(I,K)=0(2+I,2+K):NEXT I
1670 NEXT K
1680 REM OBTENCION DE LAS RIGIDECES DE LOS TRAMOS DEL PILOTE
1690 FOR I=1 TO N-1
1700 TK(I)=(ET(I)*TH(I))*E-07/TL(I)
1710 NEXT I
1720 REM OBTENCION DE LAS RIGIDECES DE LOS NUDOS
1730 FOR I=2 TO N-1
1740 NK(I)=TK(I-1)+TK(I)
1750 NEXT I
1760 REM FORMACION DE LAS ECUACIONES
1770 REM ECUACION DE EQUILIBRIO DE MOMENTOS EN EL NUDO I: EC. # 7. CAP. II
1780 M(I)=-1

```

```

1790 F1(2,1)=TK(1)
1800 D(1,1)=-6*TK(1)/TL(1)
1810 D(2,1)=-6*TK(1)/TL(1)
1820 R(1,1)=-167/3072*TL(1)+2
1830 R(2,1)=-13/3072*TL(1)+2
1840 T(1,1)=-11/192*TL(1)+2
1850 C(1)=0
1860 REM ECUACION DE EQUILIBRIO DE MOMENTOS EN EL NUDO 21 EC.# 8, CAP. 11
1870 F1(2,2)=2*TK(1)+TK(2)
1880 F1(3,2)=TK(2)
1890 D(1,2)=-6*TK(1)/TL(1)
1900 D(2,2)=6*((TK(1)/TL(1))-(TK(2)/TL(2)))
1910 D(3,2)=6*TK(2)/TL(2)
1920 R(1,2)=-13/3072*TL(1)+2
1930 R(2,2)=-67/3072*TL(1)+2-TL(2)+2
1940 R(3,2)=-13/3072*TL(2)+2
1950 T(1,2)=-11/192*TL(1)+2
1960 T(2,2)=-11/192*TL(2)+2
1970 C(2)=0
1980 EN=2
1990 IF N<3 GOTO 2160
2000 REM EQUILIBRIO DE MOMENTOS EN EL NUDO 1, PARA 3<=I<=N-21 EC.# 9, CAP. 11
2010 FOR I=3 TO N-2
2020 GOBUB4330
2030 F(1+I,EN)=TK(I-1)
2040 F(1,EN)=2*TK(I-1)+TK(I)
2050 F(1+I,EN)=TK(I)
2060 D(1+I,EN)=-6*TK(I-1)/TL(I-1)
2070 D(1,EN)=6*((TK(I-1)/TL(I-1))-(TK(I)/TL(I)))
2080 D(1+I,EN)=6*TK(I)/TL(I)
2090 R(1+I,EN)=(13/3072)*TL(I-1)+2
2100 R(1,EN)=(67/3072)*TL(I-1)+2-TL(I)+2
2110 R(1+I,EN)=-13/3072*TL(I)+2
2120 T(1+I,EN)=-11/192*TL(I-1)+2
2130 T(1,EN)=-11/192*TL(I)+2
2140 C(EN)=0
2150 NEXT I
2160 REM ECUACION DE EQUILIBRIO DE CORTANTES EN I=1 EC.# 10, CAP. 11
2170 GOBUB4350
2180 H(EN)=1
2190 F(1,EN)=2*TK(1)
2200 D(1,EN)=-6*TK(1)/TL(1)
2210 D(2,EN)=6*TK(1)/TL(1)
2220 R(1,EN)=-167/3072*TL(1)+2
2230 R(2,EN)=-13/3072*TL(1)+2
2240 T(1,EN)=-11/192*TL(1)+2
2250 C(EN)=-TL(1)+V
2260 REM ECUACION DE EQUILIBRIO DE CORTANTES EN I=21 EC.# 11, CAP. 11
2270 GOBUB4350
2280 F(1,2,EN)=3*TK(2)
2290 F(1,3,EN)=3*TK(2)
2300 D(2,EN)=-12*TK(2)/TL(2)
2310 D(3,EN)=-12*TK(2)/TL(2)
2320 R(1,EN)=-TL(1)+TL(2)/4
2330 R(2,EN)=-1*(TL(1)+TL(2)/4)+((121/512)*TL(2)+2)
2340 R(3,EN)=-7/512*TL(2)+2
2350 T(1,EN)=-TL(2)+TL(1)/2
2360 T(2,EN)=-TL(2)+2/4
2370 C(EN)=-TL(2)+V
2380 IF N<3 GOTO 2380

```

```

2390 REM EQUILIBRIO DE CORTANTES PARA  $3 < I < N-2$ ; EC. # 12; CAP. II
2400 FOR I=3 TO N-2
2410 GOSUB 4350
2420 F(I,EN)=3*TK(I)
2430 F(I+1,EN)=3*TK(I)
2440 D(I,EN)=-12*TK(I)/TL(I)
2450 D(I+1,EN)=12*TK(I)/TL(I)
2460 R(I,EN)=TL(I)*TL(I)/4
2470 FOR K=2 TO I-1
2480 R(K,EN)=-(TL(I)/4)*(TL(K)-1)*TL(K)
2490 NEXT K
2500 R(I,EN)=-((TL(I)-1)*TL(I)/4)+((121/512)*TL(I)^2)
2510 R(I+1,EN)=-17/512*TL(I)^2
2520 FOR K=1 TO I-1
2530 T(K,EN)=-(TL(I)/2)*TL(K)
2540 NEXT K
2550 T(I,EN)=-17/2*TL(I)^2/4
2560 C(EN)=-TL(I)*V
2570 NEXT I
2580 REM DESPLAZAMIENTO A LA MITAD DEL ENTRE.EJE, PARA I=11 EC. # 13; CAP. II
2590 GOSUB 4350
2600 F(2,EN)=TK(1)
2610 D(1,EN)=-8*TK(1)/TL(1)
2620 D(2,EN)=-8*TK(1)/TL(1)
2630 Z(1,EN)=16*TK(1)/TL(1)
2640 R(1,EN)=(1/256)*TL(1)^2
2650 R(2,EN)=(1/256)*TL(1)^2
2660 T(1,EN)=(13/384)*TL(1)^2
2670 C(EN)=0
2680 IF N<4 THEN 2820
2690 REM ECUACION DE DESPLAZAMIENTOS PARA  $3 < I < N-2$ ; EC. # 14; CAP. II
2700 FOR I=2 TO N-2
2710 GOSUB 4350
2720 F(I,EN)=TK(I)
2730 F(I+1,EN)=-TK(I)
2740 D(I,EN)=-8*TK(I)/TL(I)
2750 D(I+1,EN)=8*TK(I)/TL(I)
2760 Z(I,EN)=16*TK(I)/TL(I)
2770 R(1,EN)=(1/256)*TL(I)^2
2780 R(I+1,EN)=(1/256)*TL(I)^2
2790 T(I,EN)=(13/384)*TL(I)^2
2800 C(EN)=0
2810 NEXT I
2820 REM DESPLAZAMIENTO PARA N=11; EC. # 15; CAP. II
2830 GOSUB 4350
2840 F(N,EN)=-TK(N-1)^2
2850 D(N,EN)=-8*TK(N-1)/TL(N-1)
2860 Z(N,EN)=8*TK(N-1)/TL(N-1)
2870 R(N,EN)=(5/256)*TL(N-1)^2
2880 T(N,EN)=(1/768)*TL(N-1)^2
2890 C(EN)=0
2900 REM GIRO EN EL NUDO N1 EC. # 17; CAP. II
2910 GOSUB 4350
2920 F(N-1,EN)=TK(N-1)
2930 F(N,EN)=-TK(N-1)
2940 T(N-1,EN)=(13/96)*TL(N-1)^2
2950 R(N,EN)=(37/192)*TL(N-1)^2
2960 R(N-1,EN)=(1/192)*TL(N-1)^2
2970 C(EN)=0
2980 REM DESPLAZAMIENTO EN EL NUDO N1 EC. # 16; CAP. II

```

```

3999 GOSUB4388
3000 F1(N,EN)=-TK(N-1)
3010 D(N-1,EN)=2*TK(N-1)/TL(N-1)
3020 D(N,EN)=-2*TK(N-1)/TL(N-1)
3030 R(N-1,EN)=(1/3072)*TL(N-1)+2
3040 R(N,EN)=(175/3072)*TL(N-1)+2
3050 T(N-1,EN)=(5/192)*TL(N-1)+2
3060 C(EN)=0
3070 IFN<4 THEN J288
3080 REM EQUILIBRIO DE MOMENTOS EN EL NUDO N-11 EC. # 18, CAP. 11
3090 GOSUB4358
3100 F1(N-2,EN)=TK(N-2)
3110 F1(N-1,EN)=2*TK(N-2)
3120 D(N-2,EN)=-6*TK(N-2)/TL(N-2)
3130 D(N-1,EN)=6*TK(N-2)/TL(N-2)
3140 R(N-2,EN)=(13/3072)*TL(N-2)+2
3150 R(N-1,EN)=(67/3072)*TL(N-2)+2-(11/32)*TL(N-1)+2
3160 R(N,EN)=-7/32*TL(N-1)+2
3170 T(N-2,EN)=(11/192)*TL(N-2)+2
3180 T(N-1,EN)=(1/4)*TL(N-1)+2
3190 C(EN)=0
3200 REM EQUILIBRIO DE FUERZAS VERTICALES: EC. # 19, CAP. 11
3210 GOSUB4358
3220 R(1,EN)=TL(1)/4
3230 FOR I=2 TO N-1
3240 R(I,EN)=TL(I-1)/4+TL(I)/4
3250 NEXT I
3260 R(N,EN)=TL(N-1)/4
3270 FOR I=1 TO N-1
3280 T(I,EN)=TL(I)/2
3290 NEXT I
3300 C(EN)=V
3310 GOSUB4388
3320 REM SUSTITUCION EN EL METODO DE LAS RIGIDECES: A. DEMENECHI Y CEBAR HERNANDEZ
3330 FOR K=1 TO NT
3340 FOR I=1 TO N
3350 FOR KC=1 TO N-1
3360 SB=RD(I,KC)*D(KC,K)+RD(I,KC)*Z(KC,K)
3370 R(I,K)=R(I,K)+SB
3380 NEXT KC
3390 SB=RD(I,N)*D(N,K)
3400 R(I,K)=R(I,K)+SB
3410 NEXT I
3420 FOR I=1 TO N-1
3430 FOR KC=1 TO N-1
3440 SB=TD(I,KC)*D(KC,K)+TZ(I,KC)*Z(KC,K)
3450 T(I,K)=T(I,K)+SB
3460 NEXT KC
3470 SB=TD(I,N)*D(N,K)
3480 T(I,K)=T(I,K)+SB
3490 NEXT I
3500 NEXT K
3510 REM FORMACION DE LA MATRIZ 'A'
3520 FOR I=1 TO NIA1(I,1)=N(I):NEXT I
3530 FOR I=1 TO NT
3540 JA=2
3550 FOR J=2 TO NIA1(I,JA)=F(I,J):JA=JA+1:NEXT J
3560 NEXT I
3570 FOR I=1 TO NT
3580 FOR J=1 TO NIA1(I,N+J)=R(I,J):NEXT J

```

```

3590 NEXT I
3600 FOR I=1 TO NT
3610 FOR J=1 TO N-1:AI(I,2*N+J)=T(J,I):NEXT J
3620 NEXT I
3630 REM IMPRESION DE LA MATRIZ 'A'
3640 LPRINTCHR$(31)LPPRINT"MATRIZ DE COEFICIENTES":LPRINTCHR$(30):LPRINT:LPRINT
3650 AA=1:BB=1:IX=NT:J=NT
3660 LPRINTSPC(5)"COLUMNAS"SPC(7)
3670 FORI=BBTO7:AA
3680 IFI>IXTHENI=7+AAIGOTO3700
3690 LPRINTUSING"###":I:LPRINTSPC(14)
3700 NEXTI:LPRINT
3710 LPRINTSPC(1)"RENGLON"
3720 FORJ=1TOJX:LPRINTSPC(3)USING"###":J:LPRINTSPC(9)
3730 FORI=BBTO7:AA
3740 IFI>IXTHENI=AA+7IGOTO3760
3750 LPRINTUSING"###.#####":AI(J,I):LPRINTSPC(4)
3760 NEXTI:LPRINT:LPRINT
3770 NEXTJ
3780 IFI>IXTHENLPRINTIGOTO3800
3790 AA=AA+1:BB=BB+7:LPRINT:LPRINTIGOTO3660
3800 LPRINTCHR$(31)"TERMINO INDEPENDIENTES"CHR$(30):LPRINT:LPRINTSPC(35)"ECUACION"SPC(12)"VALOR":LPRINT:FORI=1TOHT:LPRINTSPC(39)U
SING"###":I:LPRINTSPC(12)USING"###.#####":I:NEXTI:FORI=DTO2:LPRINTINEXT
3810 REM SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES
3820 X=NT+1:FOR I=1 TO NT:AI(I,X)=C(I):NEXT I
3830 FOR K=1 TO NT
3840 L=K
3850 FOR I=K+1 TO NT
3860 IF ABS(AI(I,K))<ABS(AI(I,K)) THEN L=I
3870 NEXT I
3880 IF L=K GOTO 3940
3890 FOR J=1 TO X
3900 AUX=AI(L,J)
3910 AI(L,J)=AI(K,J)
3920 AI(K,J)=AUX
3930 NEXT J
3940 IF AI(K,K)=0 GOTO 4060
3950 FOR J=K+1 TO X
3960 AI(K,J)=AI(K,J)/AI(K,K)
3970 NEXT J
3980 AI(K,K)=1
3990 FOR I=1 TO NT
4000 IF I=K GOTO 4050
4010 FOR J=K+1 TO X
4020 AI(I,J)=AI(I,J)-AI(I,K)*AI(K,J)
4030 NEXT J
4040 AI(I,K)=0
4050 NEXT I
4060 NEXT K
4070 LPRINTCHR$(31)"SOLUCION AL PROBLEMA PROPUESTO":LPRINTCHR$(30):LPRINT:LPRINT
4080 LPRINTSPC(35)"MOMENTO DE VOLTEO"SPC(10)USING"###.###":AI(1,X):LPRINTSPC(2)"(TON - M)":LPRINT
4090 FORI=2TON:LPRINTSPC(35)"DOBLEGIRO EN EL NUDO":LPRINTUSING"###":I:LPRINTSPC(5)USING"###.###":AI(I,X):LPRINTSPC(2)"(T
ON/M)":NEXTI:LPRINT
4100 AA=0:FORI=N+1TON+1:AA=AA+1:LPRINTSPC(35)"REACCION R":LPRINTUSING"###":AA:LPRINTSPC(15)USING"###.###":AI(I,X):LPRINTSPC(2)"(T
ON/M)":NEXTI:LPRINT
4110 AA=0:FORI=(N+1)TON+1:AA=AA+1:LPRINTSPC(35)"REACCION T":LPRINTUSING"###":AA:LPRINTSPC(15)USING"###.###":AI(I,X):LPRINTSPC(2)
"(TON/M)":NEXTI
4120 FORI=(TOS)LPRINTINEXT
4130 LPRINTCHR$(31)"
4140 DATA J

```

FIN DEL CALCULO:LPRINTCHR\$(30):PRINTCHR\$(25):CLS:END

```
4150 DATA 0.30,0.30,0.30,0.30,0.30
4160 DATA 4.0,5.0
4170 DATA 173205.1,173205.1
4180 DATA 67500.0,67500.0
4190 DATA 1
4200 DATA 0.5
4210 DATA 0.0014,0.0014,0.0012,0.0012,0.0012
4220 DATA 10.00
4230 PRINTCHR$(25);CLS;END
4240 REM SUBROUTINA, ECUACION DE ROUSSINESO
4250 A=B*2+L*2+H*2
4260 B1=SORIA)
4270 C=B*2+L*2
4280 D=2*B+L*H
4290 E=B*2+L*2+2*H*2
4300 G=ATN((D*B1)/(H*2*A+C))
4310 IF G=0 THEN 4330
4320 G=G*3.1415927
4330 P=0.079577*((D*B1)/(H*2*A+C))+(E/A)+G
4340 RETURN
4350 REM SUBROUTINA, NUMERA ECUACIONER
4360 CLS;EN=EN+1;PRINT$990;CHR$(25);CHR$(2);FORMANDO ECUACION "UBING"*****;EN;FORJ=1 TO 1000;NEXT J;CLS
4370 RETURN
4380 REM SUBROUTINA, PANTALLA BLANCA
4390 PRINTCHR$(26);CLS;PRINT$988;CHR$(25);PROGRAMA INTERACCION "CHR$(25);CHR$(2)";RETURN
```

El programa anterior fue estructurado a base de bloques, es decir, conjuntos de instrucciones que persiguen un mismo fin. Lo anterior tiene el objetivo de poder realizar cambios en un bloque sin modificar el funcionamiento del resto del programa.

Para un mayor entendimiento del proceso de elaboración y funcionamiento del programa, haré uso de un ejemplo de aplicación mediante el cual se pretende aclarar las dudas que de esto surjan.

### III.2 ELABORACION DEL PROGRAMA

Consideremos un pilote de punta de sección circular hincado en un suelo compresible, cuyas características se muestran en la figura (3.1). Este pilote forma parte de la cimentación de un edificio en la Ciudad de México. Durante la ocurrencia de un sismo, el pilote estará sometido a un momento de volteo y una fuerza lateral, ambos producto del movimiento telúrico (cap. II). Nos interesa conocer el diagrama de reacción del suelo. Planteado el problema anterior veamos como funcionaría el programa.

Como se indicó anteriormente, la estructura del programa es a base de bloques en este inciso se verán, en forma breve, los pasos del programa así como el funcionamiento de cada uno de ellos. Para lo anterior iniciaremos con el bloque correspondiente a la lectura e impresión de los datos, seguiremos con la obtención de las longitudes de carga, según el método propuesto, continuaremos con la obtención de los valores de influencia. Hecho lo anterior pasaremos al análisis del suelo; como primer paso tenemos el cálculo de des--



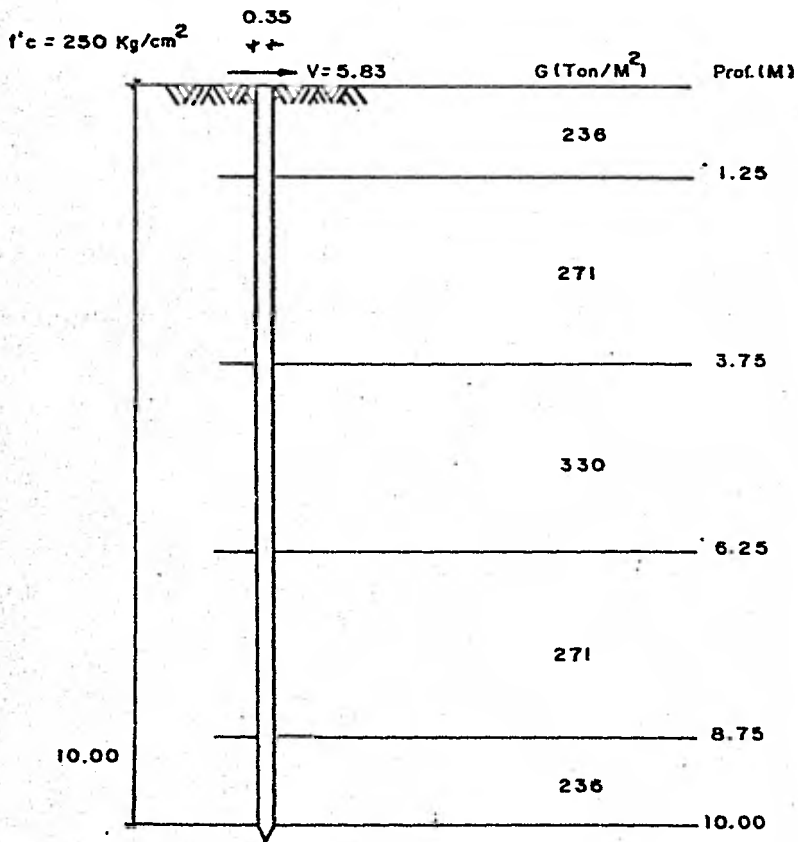


FIG. 3.1 EJEMPLO PROPUESTO

plazamientos, pasaremos a la creación de las ecuaciones, - estas se refieren a las obtenidas durante la aplicación inicial del método de rigideces; continuaremos con la incorporación en éstas de los hundimientos calculados para lograr finalmente la formación de un sistema único de ecuaciones. La solución de este nos conduce automáticamente a la solución del problema propuesto.

Como primer paso encontraremos una serie de comentarios explicativos; estos, como ya sabemos, no son ejecutables como instrucciones dentro del programa; seguido a lo anterior veremos un grupo de proposiciones DIM que como hemos mencionado sirven para asignar espacio libre en la memoria de la máquina para las variables que así lo requieran.

El primer bloque comprende de la instrucción 170 a la instrucción 540 y corresponde a la lectura e impresión de los datos. En este momento deben surgir dudas en cuanto al número, orden y tipo de datos a proporcionar. Para poder aclarar lo anterior será necesario volver al problema propuesto (fig. 3.1).

Tenemos un pilote de punta, hincado sobre un suelo compresible, de sección circular y constante. Tiene 10 m de longitud y las propiedades del suelo están dadas por el espesor de los estratos y el módulo cortante  $G$ . De simple observación veremos que existe simetría, tanto en el espesor de los estratos como en sus propiedades físicas. Para aplicar el método de Deméneghi es necesario dividir al pilote en tramos y aprovechando la simetría indicada, es conveniente dividir al pilote en dos tramos por la mitad (fig. 3.2). Hecho lo anterior regresemos al programa y continuemos el análisis.

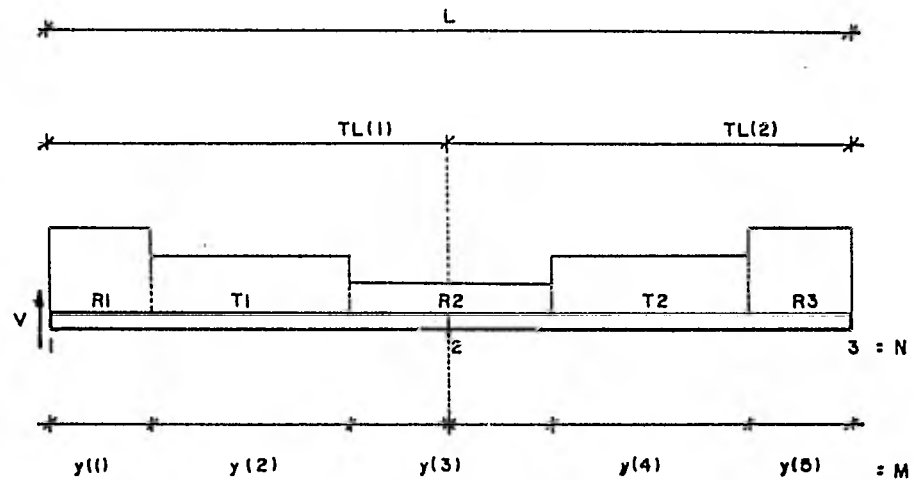


FIG. 3.2 PILOTE DIVIDIDO Y DATOS

El primer dato requerido es el valor de  $N$ ;  $N$  es el número de ejes o nudos que resulta de dividir el pilote en tramos para su análisis. De la figura (3.2) vemos que  $N=3$ , siendo  $N=1$  la cabeza del pilote,  $N=2$  el punto donde se dividió y  $N=3$  la punta. Para cualquier otro problema, el orden al numerar los nudos debe ser el mismo que en este caso, de la cabeza a la punta.

Las siguientes proposiciones son referentes al cálculo de las variables  $M$  y  $NT$ . La primera de ellas nos indica el número de cargas o reacciones que resultan, según el método que estamos utilizando, y la segunda de ellas nos dice cuántas incógnitas contendrá el sistema a formar.

Como siguiente paso encontramos la lectura de un arreglo vectorial llamado  $B(KR)$ . Corresponde al ancho del pilote y daremos tantos valores del mismo como valor tenga la variable  $M$ . El objetivo de lo anterior es poder manejar pilotes de sección variable. El orden de estos valores deberá ser de izquierda a derecha, correspondiendo la izquierda a la cabeza del pilote.

La siguiente lectura es la de la longitud que tiene cada tramo del pilote. El número de datos a indicar será igual al número de tramos que se tengan, esto es igual al valor de  $N-1$ . El orden de aportación es de la cabeza a la punta del pilote, como se muestra en la figura (3.2).

El siguiente paso corresponde a la lectura del módulo de elasticidad del material que constituye al pilote. El número de datos será igual que el número de tramos y seguiremos el mismo orden. En este punto podemos observar que este programa permite el manejo de diferentes materiales simulta---

neos, con la única disposición de dividir el pilote en el sitio donde se cree la junta de materiales y así no tener problemas con la aportación del E correspondiente.

Como último punto, dentro de la lectura de los datos de la estructura, tenemos la lectura del momento de inercia de la sección transversal del pilote. En este momento podemos ver que no sólo el pilote puede tener diferencias de materiales, sino que también puede ser de sección variable. La precaución en este punto es lograr dividir de manera que se tenga un solo material y una sola sección en cada tramo. El número de datos a indicar será igual al número de tramos analizado. El orden será el indicado en los otros arreglos.

En este momento ha quedado resuelto el problema referente a los datos de la estructura, solo queda pendiente indicar las unidades correspondientes para cada caso. Para ello haremos referencia a la tabla (3.3).

Tratemos ahora el problema de los datos del suelo. La parte correspondiente a estos se indica en el programa por un comentario. El primer dato solicitado en este bloque es el correspondiente a NP; NP es la variable asociada al número de estratos a considerar durante el análisis del suelo.

Es necesario señalar que NP no es el número de estratos reales del subsuelo sino que es el número de estratos supuestos, paralelos al pilote, como indicamos en el capítulo II (fig. 3.4). El hacer esta suposición nos indica que no estamos determinando un hundimiento vertical, sino que calculamos un desplazamiento lateral. El valor de NP dependerá de la precisión deseada en el análisis.

CONCEPTO	VARIABLE	UNIDADES
ancho por carga	B(KR)	mts.
longitud de los tramos	TL(I)	mts.
módulo de elasticidad	ET(I)	kg/cm <sup>2</sup>
momento de inercia	TMI(I)	cm <sup>4</sup>
espesor de los estratos	H	mts.
módulo del suelo	Mv(I,J)	m <sup>2</sup> /ton
cortante aplicado	V	ton
número de nudos	N	—
número de estratos	NP	—

FIG. 3.3 TABLA DE UNIDADES

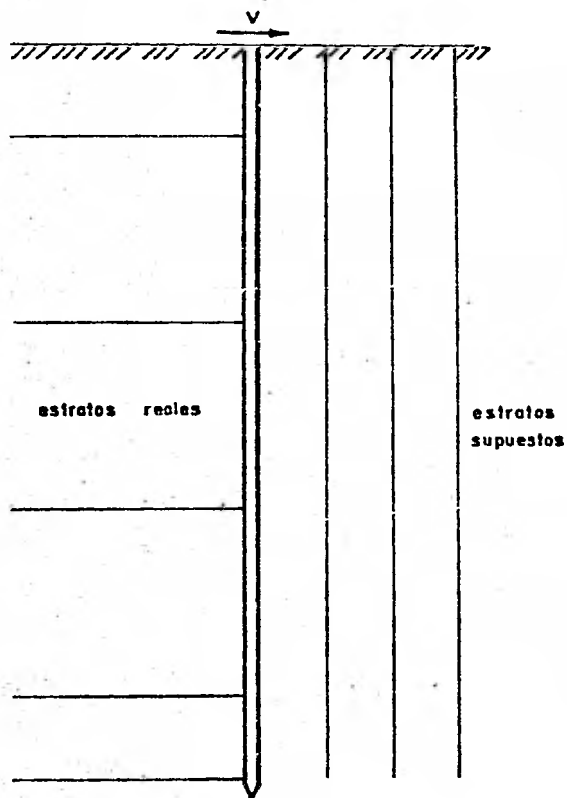


FIG. 3.4 ESTRATOS PARA EL CALCULO  
DE DESPLAZAMIENTOS

La siguiente lectura corresponde al valor de  $H$ , siendo  $H$  el espesor de los estratos antes mencionados. Solo será necesario un valor, ya que estos estratos se consideran de espesor constante.

En el siguiente punto del programa veremos la lectura de un arreglo de tipo matricial, este corresponde a los valores del módulo de variación volumétrica del suelo ( $M_v(I, J)$ ). El primer subíndice tiene una variación de 1 al valor  $M$  y se incrementa hacia la derecha, indicándonos el punto en cuestión. El segundo subíndice tendrá una variación de 1 al valor de  $NP$  y se incrementará hacia abajo, indicándonos el estrato a considerar (véase fig. 3.5).

En el programa se puede ver que la variación del subíndice  $I$  es más rápida que la del subíndice  $J$ , pudiéndonos dar cuenta con esto del orden de aportación de estos datos. Este deberá ser: de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. El número necesario de estos datos será igual al valor resultante de la operación  $M * NP$ . Dado lo anterior, si volvemos al ejemplo, planteado al inicio de este inciso, vemos que  $M = 5$  y  $NP = 2$ , por lo que el número de valores de  $M_v$  necesarios será igual a 10.

Como punto final, en la lectura de datos, tenemos la aportación del valor  $V$ , siendo este el correspondiente al cortante aplicado en la cabeza del pilote. La forma de obtener este, ya fue comentada en el capítulo anterior.

Resueltas las incógnitas presentadas, en cuanto al número, tipo y orden de los datos, solo queda indicar las unidades correspondientes, para ello veamos la tabla (3.3).



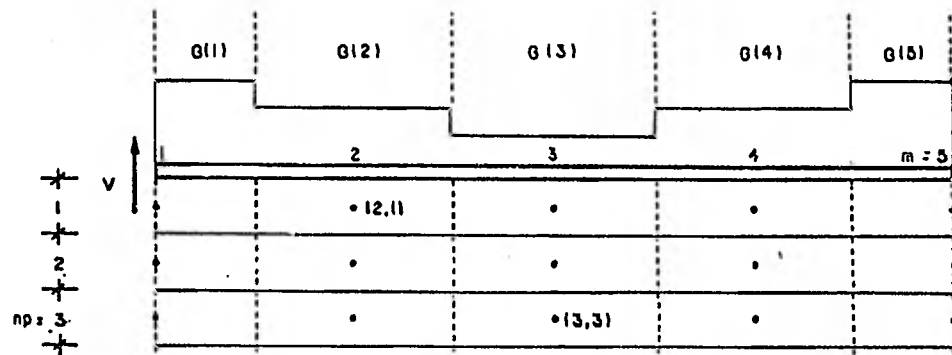


FIG. 3.5 LOCALIZACION DE LOS VALORES  $M_v(i, j)$

Formando parte de este bloque está contenida la impresión de datos, con el fin de verificar su correcta aportación. Cada dato, o grupo de ellos, será titulado de acuerdo a la interpretación dada por el programa.

El siguiente bloque trata de la determinación de las llamadas longitudes por carga y corresponde a lo siguiente: al utilizar el método de Deméneghi, para el análisis interacción, se supone una reacción del suelo sobre el pilote y esta tiene una cierta distribución (fig. 2.5). El programa de termina, por si solo, este arreglo y asigna a cada reacción su longitud correspondiente. La obtención de las longitudes mencionadas solo depende de la aportación de las longitudes de cada tramo, el cálculo de estas será de gran utilidad para la determinación de los valores de influencia, ya que sirven de apoyo durante la obtención de longitudes acumuladas y relativas (de punto a punto). Para verificar la correcta valuación de las mismas, la suma de ellas deberá ser igual a la longitud total del pilote.

Como siguiente punto tenemos un bloque, comprendido de la instrucción 670 a la instrucción 1480, y corresponde al cálculo de los valores de influencia. A continuación se describe el funcionamiento del mismo.

Como mencionamos en el capítulo II de este trabajo, el cálculo de los hundimientos del suelo, en el método de Deméneghi, se hace utilizando el concepto de valores de influencia. El valor de influencia se puede determinar calculando el esfuerzo que ocasiona una presión unitaria en una área, sobre un punto considerado (Zeevaert, 1973). Cabe señalar que gracias a esta hipótesis, el análisis conjunto suelo-estructura fue factible de realizarse por este método. El ha-

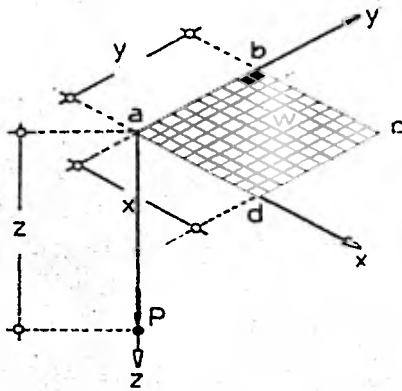
ber logrado, el autor de esta tesis, programar esta parte, para superficies rectangulares uniformemente cargada, fue - un paso adelante ya que esta solución podrá ser utilizada - en problemas similares al aquí tratado o ser implementada a otros haciendo las modificaciones que se requieran, teniendo la seguridad de que estas serán mínimas y fácilmente ejecutables.

Como es del conocimiento, el cálculo de valores de influencia se puede efectuar de las siguientes formas: empleando - la carta de Newmark, utilizando las gráficas de Fadum o por medio de las ecuaciones de Boussinesq. Se ve claro que un número considerable de valores obtenidos por cualquiera de los métodos mencionados, nos tomaría buen tiempo de cálculos rutinarios; debido a lo anterior, se buscó la forma de utilizar nuevamente a la computadora como auxiliar en esta parte del trabajo.

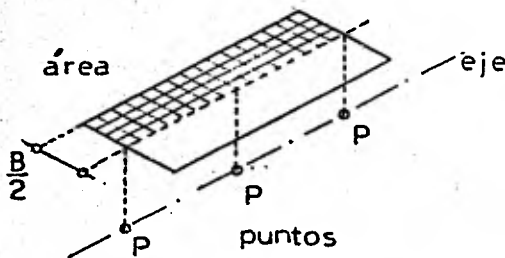
De los procedimientos existentes para la determinación de esfuerzos, el más apropiado para aplicarse por computadora fue el de las ecuaciones de Boussinesq, de ellas, la más apegada a las condiciones de nuestro problema y a este tipo de análisis es la de: determinación de esfuerzos en un punto bajo una carga uniforme distribuida, y esta dada por:

$$\sigma_z = \frac{W}{4\pi} \frac{2xyz(x^2+y^2+z^2)^{3/2}}{z^2(x^2+y^2+z^2)+xy^2} \cdot \frac{x^2+y^2+2z^2}{x^2+y^2+z^2} + \text{TAN}^{-1} \frac{2xyz(x^2+y^2+z^2)^{1/2}}{z^2(x^2+y^2+z^2)-xy^2}$$

Con esta ecuación obtendremos valores de esfuerzos correspondientes a un punto bajo una esquina de la carga (véase figura anexa).



En nuestro caso, los puntos en los cuales nos interesa conocer el esfuerzo aplicado están localizados bajo el área, pero siguen la dirección de un eje longitudinal que la divide en dos partes iguales (véase figura).



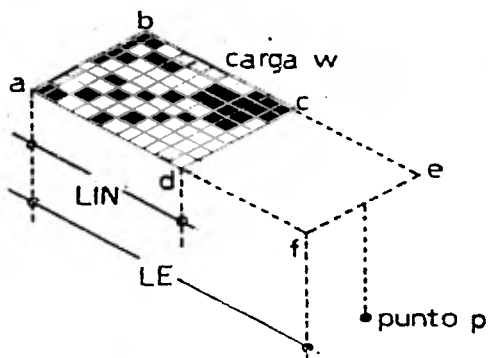
La solución al problema anterior fue hacer el cálculo considerando la mitad del área, para lograr con esto la condición de Boussinesq de tener el punto bajo una esquina de ella, al valor obtenido será necesario duplicarlo para obtener de ese modo el valor del esfuerzo correspondiente al área total.

Otra condición que se presentó fue la de un punto bajo el centro del área; en este caso se dividió la zona cargada en cuatro partes iguales y obtener el esfuerzo correspondiente a una sola de ellas (el punto ya está bajo la esquina), el valor final será el anterior multiplicado ahora por cuatro.

Una condición especial se presenta cuando al dividir el pilote, resultan tramos asimétricos; por lo anterior los puntos localizados bajo los nudos, independientemente de la punta y la cabeza del pilote, no se encuentran bajo el centro del área sino que se han desplazado en dirección del tramo más corto. Para resolver este caso fue indispensable el cálculo de dos esfuerzos por separado, siguiendo el procedimiento del primer caso presentado, y el valor final será la suma de los dos.

Cuando se requiere el valor correspondiente a un punto que se localiza fuera del área se sigue el siguiente procedimiento: se determina el valor del esfuerzo debido a la mitad del área y con la longitud exterior, esta es la longitud existente entre el borde exterior del área y el punto en cuestión, se determina un segundo valor tomando ahora la longitud interior, del borde interior al punto. Si al valor determinado con la longitud exterior le restamos el obtenido con la longitud interior tendremos el correspondiente al área cargada, el cual multiplicado por dos nos da el esfuer

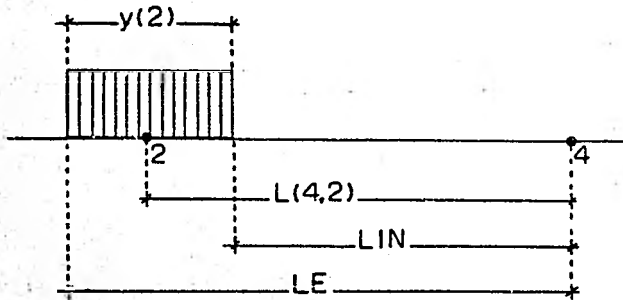
zo total producido para ese punto, bajo las condiciones mencionadas.



Dadas las soluciones anteriores veamos cómo funciona el programa para aplicar cada una de ellas.

A partir de las longitudes de carga, calculadas anteriormente, se determinan las longitudes acumuladas, del nudo 1 a cada uno de ellos, por medio de estas obtenemos las longitudes relativas y haciendo uso de estas últimas encontramos las longitudes interiores y exteriores que hemos mencionado. La forma de ejecutar lo anterior es la siguiente: si tenemos una carga y un punto fuera de ella, como se muestra en la figura, conocida la longitud de carga  $Y(KR)$  y con la distancia entre nudos  $L(I,J)$  al sumar la mitad de la primera a la relativa obtendríamos la longitud exterior; si por el contrario hacemos la resta de las indicadas, tendríamos la longitud interior. Conocidas  $LE$  y  $LIN$  además del ancho del pilote, proporcionado como dato, y siguiendo el procedimiento adecuado, de los ya descritos, llegamos al va

lor buscado (como se indica en la figura).



A los valores de influencia se les asignó el arreglo - - -  $F(I,J,KR)$ ; el primer subíndice, I, nos indica el punto al que corresponde ese valor; el subíndice J, señala el estrato analizado y finalmente el subíndice KR, nos dice la carga que provoca esa influencia. Como ejemplo:

$F(4,1,2)$  = Influencia en el punto 4, para el primer estrato, de una carga colocada en el punto 2 (fig. anterior).

El siguiente paso durante la aplicación de este procedimiento es el correspondiente al análisis del suelo. A continuación describiremos el bloque correspondiente al cálculo de los desplazamientos.

Durante el análisis del suelo, para el cálculo de desplazamientos, se utilizó la siguiente expresión:

$$\eta_1 = \sum_{j=1}^{NP} M_{vij} H_j \sum_{r=1}^m I_{rj} \frac{Q_r}{Y(KR)}$$

La expresión anterior señala una sumatoria de desplazamientos los cuales se deducen de la siguiente manera: cada una de las reacciones que actúan sobre el pilote colabora en el desplazamiento total de un punto, este es igual a la suma de todos los calculados en el mismo.

Como observamos la ecuación anterior, presentada en forma de algoritmo, es muy factible de programar. Tanto los valores de  $M_v$  como  $H_j$  son aportados como dato; las longitudes  $Y(KR)$  se calcularon al inicio de este proceso y los valores  $I_r$  (valor de influencia) se determinaron en el punto anterior, así que solo se presentan como incógnitas las cargas  $Q_r$ . De lo anterior y aplicando la expresión mencionada, en vista de que desconocemos las reacciones  $Q_r$ , los desplazamientos calculados estarán en función de ellas.

Una vez planteados los desplazamientos totales en cada punto el siguiente paso será transformar estos a la notación empleada para la estructura, de manera que sean congruentes, mediante el siguiente cambio de variables:

$$R_i = KR_{2i-1}$$

$$T_i = KR_{2i}$$

$$\delta_i = \eta_{2i-1}$$



y por último

$$\xi_1 = \eta_{21}$$

Hecho esto solo falta determinar las rigideces correspondientes a los tramos y a los nudos; para ello solo se emplea el concepto correspondiente, esto es:

$$\frac{E_i I_i}{L_i} = \text{rigidez de barra (I=momento de inercia)}$$

$$\sum \frac{E_i I_i}{L_i} = \text{sumatoria de las rigideces de las barras que concurren al nudo.}$$

donde el subíndice  $i$  nos indicará el tramo o nudo de que se trate.

Hasta el momento hemos valuado los parámetros que intervienen en nuestras ecuaciones y estamos en condiciones de sustituirlos en ellas. A continuación explicaremos el método empleado para este fin.

Tenemos la ecuación: equilibrio de momentos en el nudo 1

$$-M + K_1 \delta_2 - 6 \frac{K_1}{L_1} \delta_1 + 6 \frac{K_1}{L_1} \delta_2 - \frac{67}{3072} L_1^2 R_1 - \frac{13}{3072} L_2^2 R_2 - \frac{11}{192} L_1^2 T_1 = 0 \quad (\text{Ec. \# 7, Cap. II})$$

Las incógnitas que presenta son: el momento (M), los giros ( $\phi$ ), los desplazamientos ( $\delta$ ) y las reacciones (R y T); podemos ver que cada una de éstas lleva asociado un coeficiente, que en este momento ya es conocido, así que debemos hacer que la computadora asocie a cada uno de ellos su correspondiente variable, logrando así crear de manera implícita la ecuación indicada, tomando la siguiente forma:

$$\begin{aligned} M(1) &= -1 \\ F1(2,1) &= TK(1) \\ D(1,1) &= -6 * TK(1) / TL(1) \\ D(2,1) &= 6 * TK(1) / TL(1) \\ R(1,1) &= -67/3072 * TL(1) \uparrow 2 \\ R(2,1) &= -13/3072 * TL(1) \uparrow 2 \\ T(1,1) &= -11/192 * TL(1) \uparrow 2 \\ C(1) &= 0 \end{aligned}$$

Se puede observar que cada variable lleva asignados dos subíndices; el primero de ellos corresponde al subíndice propio de la variable,  $F1(2, )$  para  $\phi_2$ , y el segundo señala el número de ecuación al que corresponde el coeficiente asociado,  $F1(2,1)$  para  $\phi_2$  de la ecuación uno. Existen algunas variables que solo contienen un subíndice, este corresponderá al número de ecuación a la cual pertenece.

En el caso de encontrar que estos subíndices sean variables será por estar, la ecuación, dentro de un proceso repetitivo y tomarán su valor durante la ejecución del programa. Como ejemplo:

Tenemos la ecuación: desplazamiento a la mitad de la crujía para  $i = n-1$

$$-2K_{n-1}\theta_n - 8 \frac{K_{n-1}}{L_{n-1}} \delta_n + 8 \frac{K_{n-1}}{L_{n-1}} \zeta_{n-1} + \frac{5}{256} L_{n-1}^2 R_n + \dots$$

$$\frac{1}{768} L_{n-1}^2 T_{n-1} = 0 \quad (\text{Ec. \# 15, Cap. II})$$

creada por la computadora tendrá la forma:

$$\begin{aligned} F(N, \text{No.}) &= -TK(n-1) * 2 \\ D(N, \text{No.}) &= -8 * TK(n-1) / TL(n-1) \\ Z(N, \text{No.}) &= 8 * TK(n-1) / TL(n-1) \\ R(N, \text{No.}) &= 5/256 * TL(n-1) \uparrow 2 \\ T(N, \text{No.}) &= 1/768 * TL(n-1) \uparrow 2 \\ C(\text{No.}) &= 0 \end{aligned}$$

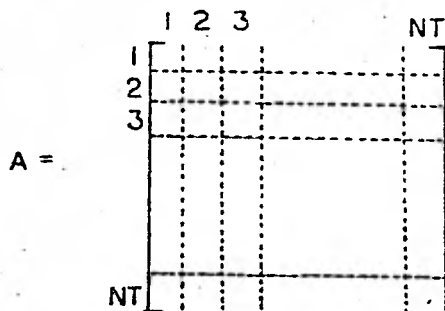
De la misma forma que los dos ejemplos anteriores la computadora formará todas y cada una de las ecuaciones resultantes de la aplicación inicial del método de rigideces.

Habiendo formado todas las ecuaciones se deberán ordenar los datos de manera que se forme un sistema de ecuaciones, para esto procedemos de la siguiente manera: si se ha captado el problema, desde el inicio de la formación de ecuaciones, hemos estado creando arreglos de tipo matricial como son: R(I,J), F(I,J) y T(I,J), además de algunos arreglos vectoriales como M(I) y C(I); el problema consiste en organizar los arreglos mencionados de manera que se forme una sola matriz, la matriz A, quedando representado en ella el sistema cuya solución es la solución del problema propuesto.

El primer paso será conocer el orden de la matriz A, este -  
lo podemos determinar mediante la expresión:

$$NT = 3 \times N - 1$$

Una matriz es un arreglo formado por renglones y columnas, en nuestro caso esta debe ser cuadrada, es decir, el número de renglones será igual al número de columnas y estas - serán igual al número de incógnitas por lo que tendremos - una matriz de orden  $NT \times NT$ .



Como siguiente paso introduzcamos el vector  $M(I)$ . Ya sabemos que el subíndice nos indica la ecuación a la que pertenece el coeficiente tratado y si tenemos  $NT$  ecuaciones,  $I$  varía de 1 a  $NT$ ; para colocar esta columna hacemos:

```
FOR I = 1 TO NT
  A(I,1) = M(I)
NEXT I
```

esto es, fijamos la columna "uno" y variamos el renglón de

"uno" a  $N_f$ , siendo:

$A(I,1)$   
 └─── renglón  
 └─── columna

por lo que obtendremos la matriz:

$$A = \begin{array}{c} \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \\ \begin{array}{c} M(1) \\ M(2) \\ M(3) \\ \vdots \\ M(NT) \end{array} \end{array} \quad \begin{array}{c} 1 \quad 2 \quad \dots \quad NT \\ \left[ \begin{array}{c} \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right] \end{array}$$

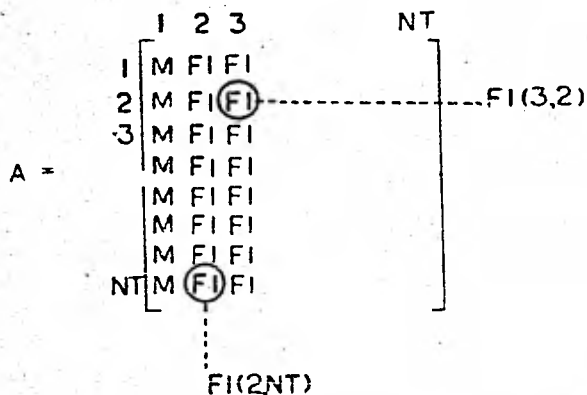
Vemos ahora como colocaríamos el arreglo  $F(I,J)$ : como -  
ya sabemos tenemos  $N-1$  giros por conocer, ya que el apoyo -  
número uno se considera empotrado, por lo que tenemos un -  
arreglo de esta forma:

$$F_I = \begin{array}{c} \begin{array}{c} 2 \\ 3 \\ \vdots \\ N \end{array} \\ \begin{array}{c} \left[ \begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array} \right] \end{array} \end{array} \quad \begin{array}{c} 1 \quad 2 \quad 3 \quad \dots \quad NT \\ \left[ \begin{array}{c} \\ \\ \\ \end{array} \right] \end{array}$$

y para su colocación en la matriz A haríamos:

```
FOR I = 1 TO NT
JA = 2
FOR J = 2 TO N
A(I,JA) = F1(J,I)
JA = JA + 1
NEXT J
NEXT I
```

con lo que la matriz en formación tomaría la forma:



logrando lo anterior con el siguiente criterio: el subíndice I se inicializa con el valor 1, JA toma el valor 2 y J - también inicia con el valor 2; al sustituir estos valores - en el proceso planteado anteriormente tendríamos:

$$A(1,2) = F1(2,1)$$

continuando el proceso indicado se incrementa JA a 3, y J - incrementa una unidad igualando a 3 por lo que tendríamos:

$$A1(1,3) = F1(3,1)$$

y sucesivamente hasta formar el arreglo indicado.

Con la misma secuencia se acomodarian todos los arreglos - restantes y finalmente obtendríamos la matriz que se muestra a continuación:

Ejemplo de la matriz resultante al problema propuesto; los valores claves son:  $N = 3$ ;  $NT = 8$ , por lo tanto:

$$A = \begin{bmatrix} MFIFI & RR & RTT \\ MFIFI & RR & RTT \\ MFIFI & RR & RTT \\ MFIFI & RR & RTT \\ MFIFI & RR & RTT \\ MFIFI & RR & RTT \\ MFIFI & RR & RTT \\ MFIFI & RR & RTT \end{bmatrix}$$

siendo nuestras únicas incógnitas  $M, \phi_2, \phi_3, R_1, R_2, R_3, T_1$  y  $T_2$  (véase figura 2.5).

Cuando alguna incógnita no forma parte en alguna de las ecuaciones, la computadora asignará automáticamente un cero como coeficiente asociado a la misma.

Con lo anterior ya tenemos completa a la matriz A, el vector de términos independientes, C(I), ya es conocido, así que solo nos resta resolver el sistema de ecuaciones que ésta nos representa. Para lograr lo anterior se utilizó un programa de biblioteca el cual mediante el método de Gauss-Jordan nos resuelve la matriz. Este programa fue obtenido durante un curso de programación impartido por el Centro de Cálculo de la Facultad de Ingeniería en la U.N.A.M..

Como último paso del programa tenemos el bloque de la impresión de resultados. En este bloque se creó un formato que titula cada uno de los valores obtenidos como resultado para evitar una mala interpretación de los mismos, además en este mismo punto se indican las unidades correspondientes en cada caso.

La convención de signos correspondiente al análisis efectuado es la siguiente: el momento de volteo resultante será un momento de nudo sobre barra, el signo de este se tomará como positivo cuando lleve el sentido contrario de las manecillas de un reloj. Las reacciones, el sentido positivo se considera cuando estén en sentido contrario al del cortante aplicado al pilote.

Finalmente encontraremos las subrutinas indicadas durante el transcurso de esta reseña, éstas corresponden por orden de aparición a: la ecuación de Boussinesq, la numeración de las ecuaciones y por último indicaciones de la máquina hace al operador (capacidad de memoria entre otras).



Para la elaboración de este programa se conto con el auxilio de un programa ya existente, elaborado en lenguaje -- Fortran para la interacción suelo estructura reticular, elaborado por el Ing. A. Deméneghi y César Hernández. Las partes utilizadas de este programa fueron algunas ideas sobre notación, la parte correspondiente al cambio de variables y la sustitución en el método de las rigideces.

Debo señalar que la forma de resolver cada paso del programa no es estrictamente la óptima, ya que cada persona y más siendo especialista del ramo, puede aportar una solución - diferente; en este inciso traté de exponer el criterio seguido para hacer tal o cual cosa, dejando claro que hay otros caminos que nos llevan al mismo lugar.

## CAPITULO IV

## INSTRUCTIVO DEL USO

En los capítulos anteriores se ha visto, de manera breve y en primer lugar, un método para el análisis conjunto del suelo y la estructura; posteriormente se dió a conocer un método numérico, consistente en un programa de computadora, mediante el cual la utilización del método analítico se transforma en sencilla y práctica. El empleo del programa mencionado debe cumplir un orden específico; la intervención por nuestra parte, durante su utilización, será mínima sin embargo debemos tomar ciertas precauciones. En este capítulo se dará un instructivo donde se indican los pasos y precauciones a seguir durante la aplicación del programa - interacción.

En este momento, se vió conveniente insistir en lo que se refiere al número y orden de los datos por indicar, ya que un dato mal proporcionado o faltante se traduce en un mal funcionamiento del programa.

Para la creación de este programa se contó con la ayuda de la microcomputadora Radio Shack, ubicada en el cubículo - No. 25 de la zona de oficinas de la División de Ingeniería Civil, topográfica y geodésica de la Facultad de Ingeniería en la U.N.A.M., y está almacenado en un disco de la misma con el nombre INTER/BO3. Para su utilización debemos respetar los siguientes pasos:

- a) Insertar el disco que contiene el programa.
- b) Teclar el comando LOAD "INTER/BO3" y ejecutarlo, - presionando la tecla ENTER, espere la palabra READY.

Los pasos anteriores han logrado cargar el programa en la memoria de la máquina, estando listo para ser utilizado.

Como indicamos en el capítulo anterior la estructura del programa es a base de bloques, siendo así, el paso a seguir es crear el bloque de datos correspondiente al problema por resolver. Para su construcción contamos con nueve renglones en el programa, comprendidos de la instrucción 4140 a la instrucción 4220, y cada uno corresponde a un READ en el programa.

El primer DATA con número de renglón 4140, debe contener el valor de  $N$  (número de nudos resultante al dividir el pilote).

El segundo DATA (4150), debe contener los valores correspondientes al ancho del pilote, por reacción; el número de datos será igual al resultado de la operación  $2 \times N - 1$ , en orden de izquierda a derecha y las unidades en metros.

El tercer DATA, con número 4160, corresponde a los valores de la longitud de los tramos del pilote (TL); el número de datos será igual a  $N - 1$ , el orden es de izquierda a derecha y en metros como unidades.

El cuarto DATA deberá contener los valores del módulo de elasticidad del material que constituya al pilote (ET); el número y orden será igual que en el caso anterior, las unidades deberán ser  $\text{KG}/\text{CM}^2$ .

El quinto DATA contendrá los datos correspondientes al momento de inercia de la sección transversal del pilote (TMI) su número y orden debe ser el mismo que en el caso anterior,

sus unidades serán  $CM^4$ .

El siguiente DATA debe llevar el número de instrucción 4180 y contendrá el número de estratos a considerar durante el análisis del suelo.

En el siguiente DATA indicaremos el espesor (H), en metros, de los estratos mencionados; como sabemos este espesor se considera constante.

El octavo DATA, con número de instrucción 4210, corresponde a los valores del módulo de variación volumétrica del suelo. El número de datos necesario será igual al valor resultante de la operación  $M \times NP$ , siendo NP el número de estratos y M el número de reacciones resultantes; el orden será de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, las unidades son  $M^2/TON$ .

El noveno y último DATA (4220), contendrá el valor de la fuerza lateral aplicada al pilote; sus unidades deben ser TON.

Para crear este bloque señalaré un instructivo, que corresponde al tipo de máquina mencionado al inicio de este capítulo, estando claro que no será válido para cualquier sistema que exista en el mercado.

Después de ejecutar los incisos a y b indicados, teclee CLS con lo anterior limpiaremos la pantalla eliminando todo lo que en ella se contenga. Teclee AUTO 4140 y ejecútelo; este comando indica secuencia automática, esto es, el número de renglón será puesto automáticamente por la computadora después de registrar cualquier instrucción y tendrá un incremento de 10.

Hecho lo anterior, al dar secuencia la máquina, tecleemos el comando DATA, para indicar que se trata de un renglón de datos, e indiquemos los valores correspondientes a ese DATA, según lo expuesto anteriormente, ejecutándolo la computadora guardará los valores en memoria e indicará nuevamente la secuencia pedida. Al llegar al último renglón y habiendo registrado los valores la computadora dará nueva secuencia, a lo que debemos responder presionando la tecla BREAK, indicando el final del bloque.

Una forma de verificar la correcta aportación de los datos es la siguiente: teclee el comando CLS y ejecútelo. Teclee el comando LIST 4140-4220, ejecutándolo, en la pantalla deberá aparecer un listado del bloque de datos aportado. Si existe algún error reteclea el renglón donde este aparesca; si los datos son correctos nuestra siguiente intervención será: teclee RUN y ejecútelo, el programa correrá sin ninguna otra intervención por nuestra parte.

Si durante el proceso de ejecución del programa la máquina indica algún error, seguramente, este estará referido a un fuera de datos o a un fuera de memoria. El primero de ellos nos indica que el número de datos aportado fue insuficiente; el segundo, y debido a que el programa autodimensiona las variables que así lo requieren, nos indicará que hemos rebasado el límite de capacidad de la computadora, por lo que ese problema resuelto con esas condiciones no es factible por este sistema. Si ninguno de los casos anteriores se presenta obtendremos un listado de la computadora con todos los datos, valores calculados importantes y los resultados, todos ellos titulados según la interpretación programada.

Algunas recomendaciones importantes en el siguiente capítulo.

## CAPITULO V

## EJEMPLOS DE APLICACION

En este capítulo se darán algunos ejemplos en los que se -  
llego a la solución mediante el uso del método numérico --  
presentado. El primero de ellos corresponde al propuesto -  
durante la exposición del método mencionado. Los enunciados  
de los problemas de indican a continuación.

## EJEMPLO No. 1

Consideremos un pilote de punta, de sección circular, hinca  
do en un suelo compresible y sus características se mues--  
tran en la figura (3.1). Este pilote forma parte de la cimen  
tación de un edificio en la Ciudad de México. Nos inte--  
resa conocer el diagrama de reacción del suelo.

## EJEMPLO No. 2

Un edificio de planta baja y nueve niveles, con una longi--  
tud de 50 m y ancho de 15 m en planta, esta ubicado, desde  
el punto de vista estatigráfico, en la zona del lago de la  
Ciudad de México, cuyo subsuelo está formado por materiales  
de alta compresibilidad y baja resistencia al corte.

El edificio está apoyado sobre 217 pilotes de punta, de concr  
eto reforzado y sección cuadrada de 0.4 m de lado. La re-  
sistencia del concreto es de  $f'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ .

Debido al efecto sísmico, se presenta una fuerza cortante -  
total en la cimentación de 2450 Ton.; a cada pilote le co--  
rresponde una fuerza cortante  $V$  de 11.29 Ton (fig. 5.1). -  
Queremos determinar la fuerza cortante y el momento flexio-  
nante a lo largo de toda la pieza.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL  
PRESENTA: MANUEL FLORES OJEDA

PROGRAMA DE COMPUTADORA PARA LA INTERACCION BUELO-ESTRUCTURA EN UN  
PILOTE DE SECCION VARIABLE

BOLUCION AL EJEMPLO No. 1

DATOS PROPORCIONADOS:

NUMERO DE EJES 3 NUMERO DE TRAMOS 2

ANCHO DEL PILOTE POR TRAMO DE CARGA

B( 1 ) = .35

B( 2 ) = .35

B( 3 ) = .35

B( 4 ) = .35

B( 5 ) = .35

LONGITUD DE LOS TRAMOS

TL( 1 ) = 5

TL( 2 ) = 5

MODULO DE ELASTICIDAD DE LOS TRAMOS

ET( 1 ) = 158114

ET( 2 ) = 158114

MOMENTO DE INERCIA DE LOS TRAMOS

THI( 1 ) = 73662

THI( 2 ) = 73662

NUMERO DE ESTRATOS 2

ESPESOR DE LOS ESTRATOS .4

CORTANTE APLICADO AL PILOTE 5.83

MV EN CADA ESTRATO

MV( 1 , 1 ) = 1.4E-03

MV( 2 , 1 ) = 1.2E-03

HV( 3 , 1 ) = 1E-03  
 HV( 4 , 1 ) = 1.2E-03  
 HV( 3 , 1 ) = 1.4E-03  
 HV( 1 , 2 ) = 1.4E-03  
 HV( 2 , 2 ) = 1.2E-03  
 HV( 3 , 1 ) = 1E-03  
 HV( 4 , 2 ) = 1.2E-03  
 HV( 3 , 2 ) = 1.4E-03

NUMERO DE CARGAS 5

LONGITUDES POR CARGA:

VL 1 ) = 1.25  
 VL 2 ) = 2.5  
 VL 3 ) = 2.5  
 VL 4 ) = 2.5  
 VL 5 ) = 1.25

LOS VALORES DE INFLUENCIA SON:

FI 1 , 1 , 1 ) = 0.386425  
 FI 1 , 2 , 1 ) = 0.173386  
 FI 1 , 1 , 2 ) = 0.000128  
 FI 1 , 2 , 2 ) = 0.002546  
 FI 1 , 1 , 3 ) = 0.000001  
 FI 1 , 2 , 3 ) = 0.000038  
 FI 1 , 1 , 4 ) = 0.000009  
 FI 1 , 2 , 4 ) = 0.000004  
 FI 1 , 1 , 5 ) = 0.000000  
 FI 1 , 2 , 5 ) = 0.000001  
 FI 2 , 1 , 1 ) = 0.000128  
 FI 2 , 2 , 1 ) = 0.002379  
 FI 2 , 1 , 2 ) = 0.772858  
 FI 2 , 2 , 2 ) = 0.346612  
 FI 2 , 1 , 3 ) = 0.000128  
 FI 2 , 2 , 3 ) = 0.002546  
 FI 2 , 1 , 4 ) = 0.000001  
 FI 2 , 2 , 4 ) = 0.000038  
 FI 2 , 1 , 5 ) = 0.000000  
 FI 2 , 2 , 5 ) = 0.000003  
 FI 3 , 1 , 1 ) = 0.000001  
 FI 3 , 2 , 1 ) = 0.000038  
 FI 3 , 1 , 2 ) = 0.000128  
 FI 3 , 2 , 2 ) = 0.002546  
 FI 3 , 1 , 3 ) = 0.772858  
 FI 3 , 2 , 3 ) = 0.346612  
 FI 3 , 1 , 4 ) = 0.000128  
 FI 3 , 2 , 4 ) = 0.002546  
 FI 3 , 1 , 5 ) = 0.000001  
 FI 3 , 2 , 5 ) = 0.000038  
 FI 4 , 1 , 1 ) = 0.000000  
 FI 4 , 2 , 1 ) = 0.000003  
 FI 4 , 1 , 2 ) = 0.000001  
 FI 4 , 2 , 2 ) = 0.000038  
 FI 4 , 1 , 3 ) = 0.000128  
 FI 4 , 2 , 3 ) = 0.002546  
 FI 4 , 1 , 4 ) = 0.772858  
 FI 4 , 2 , 4 ) = 0.346612  
 FI 4 , 1 , 5 ) = 0.000128



F( 4 : 2 : 5 ) = 0.002379  
 F( 3 : 1 : 1 ) = 0.000000  
 F( 3 : 2 : 1 ) = 0.000001  
 F( 3 : 1 : 2 ) = 0.000000  
 F( 3 : 2 : 2 ) = 0.000004  
 F( 3 : 1 : 3 ) = 0.000001  
 F( 3 : 2 : 3 ) = 0.000038  
 F( 3 : 1 : 4 ) = 0.000128  
 F( 3 : 2 : 4 ) = 0.002546  
 F( 3 : 1 : 5 ) = 0.386423  
 F( 3 : 2 : 5 ) = 0.173386

**MATRIZ DE COEFICIENTES:**

COLUMNA	1	2	3	4	5	6	7
RENGLON 1	-1.00000E+00	2.32940E+02	0.00000E+00	-6.50385E-01	-3.06970E-02	3.98348E-06	-1.43236E+00
2	0.00000E+00	9.31759E+02	2.32940E+02	6.53024E-04	0.00000E+00	-6.53021E-04	1.43204E+00
3	1.00000E+00	4.65800E+02	0.00000E+00	-5.46809E+00	-1.60905E-01	3.98548E-06	-4.01770E+00
4	0.00000E+00	6.98820E+02	6.98820E+02	-6.25001E+00	-1.23084E+01	-1.31522E-01	-1.25804E+01
5	0.00000E+00	-2.32940E+02	8.80000E+00	2.37839E-01	-2.47347E-03	-5.31398E-06	1.08610E+00
6	0.00000E+00	0.00000E+00	-4.65800E+02	5.31398E-06	1.00130E-01	3.48098E-01	3.64333E-06
7	0.00000E+00	2.32940E+02	-2.32940E+02	0.00000E+00	1.30200E-01	4.01771E+00	0.00000E+00
8	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.32940E+02	1.32849E-06	3.31705E-02	1.38911E+00	5.96407E-05

COLUMNA	B
RENGLON 1	1.78946E-04
2	-1.43204E+00
3	1.78946E-04
4	-6.24986E+00
5	-2.31308E-04
6	1.52379E-01
7	3.38342E+00
8	6.51018E-01

**TERMINOS INDEPENDIENTES**

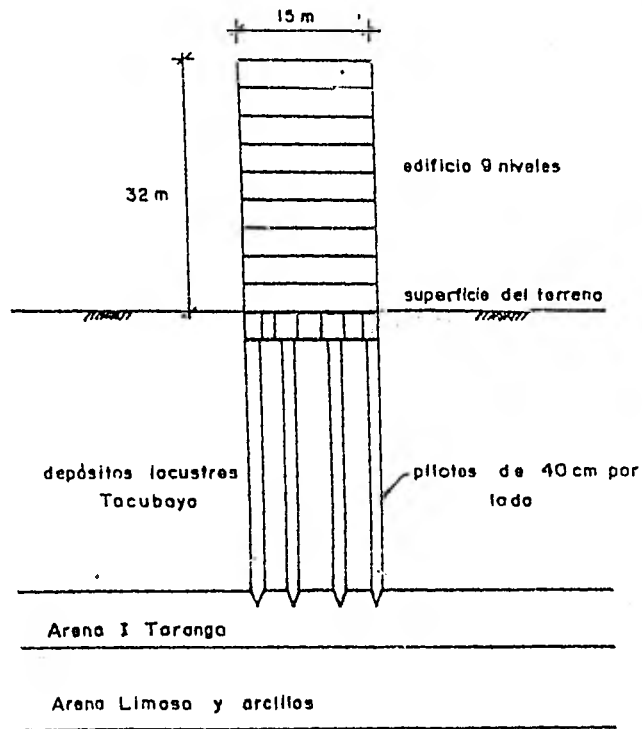
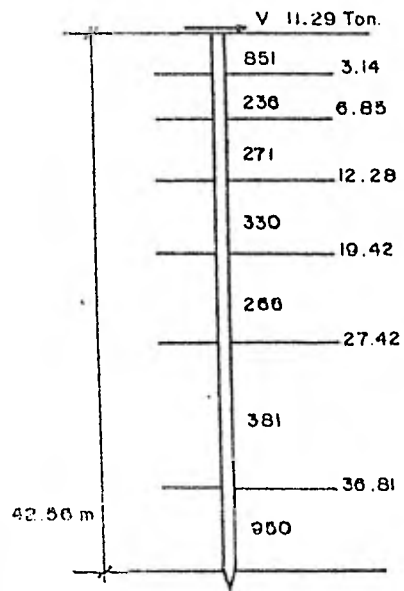
ECUACION VALOR

1	0.0000
2	0.0000
3	-29.1500
4	-29.1500
5	0.0000
6	0.0000
7	0.0000
8	0.0000

**SOLUCION AL PROBLEMA PROPUESTO:**

MOMENTO DE VOLTEO	-2.111	(TON - M)
DOBLEGIRO EN EL NUDO 2	0.001	(RADIANES)
DOBLEGIRO EN EL NUDO 3	0.000	(RADIANES)
REACCION R 1	5.959	(TON/M)
REACCION R 2	0.456	(TON/M)
REACCION R 3	0.159	(TON/M)
REACCION T 1	-1.066	(TON/M)
REACCION T 2	-0.317	(TON/M)

**FIN DEL CALCULO**



EJEMPLO No. 2 FIG. 5.1

SOLUCION AL EJEMPLO No. 2

DATOS PROPORCIONADOS:

NUMERO DE EJES 4 NUMERO DE TRAMOS 3

ANCHO DEL PILOTE POR TRAMO DE CARGA

BI ( 1 ) = .4  
 BI ( 2 ) = .4  
 BI ( 3 ) = .4  
 BI ( 4 ) = .4  
 BI ( 5 ) = .4  
 BI ( 6 ) = .4  
 BI ( 7 ) = .4

LONGITUD DE LOS TRAMOS

TL ( 1 ) = 12.28  
 TL ( 2 ) = 7.28  
 TL ( 3 ) = 23

MODULO DE ELASTICIDAD DE LOS TRAMOS

ET ( 1 ) = 158114  
 ET ( 2 ) = 158114  
 ET ( 3 ) = 158114

MOMENTO DE INERCIA DE LOS TRAMOS

TI ( 1 ) = 213333  
 TI ( 2 ) = 213333  
 TI ( 3 ) = 213333

NUMERO DE ESTRATOS 2

ESPESOR DE LOS ESTRATOS .3

CORTANTE APLICADO AL PILOTE 11.29

NY EN CADA ESTRATO

NY ( 1 , 1 ) = 4E-84  
 NY ( 2 , 1 ) = 1.4E-83  
 NY ( 3 , 1 ) = 1.2E-83  
 NY ( 4 , 1 ) = 1E-83  
 NY ( 5 , 1 ) = 1.3E-83  
 NY ( 6 , 1 ) = 9E-84  
 NY ( 7 , 1 ) = 4E-84  
 NY ( 1 , 2 ) = 4E-84

MV( 2 : 2 ) = 1.4E-03  
MV( 3 : 2 ) = 1.2E-03  
MV( 4 : 2 ) = 1E-03  
MV( 5 : 2 ) = 1.3E-03  
MV( 6 : 2 ) = 9E-04  
MV( 7 : 2 ) = 4E-04

NUMERO DE CARGAS 7

LONGITUDES POR CARGA:

Y( 1 ) = 3.07  
Y( 2 ) = 6.14  
Y( 3 ) = 4.89  
Y( 4 ) = 3.64  
Y( 5 ) = 7.57  
Y( 6 ) = 11.5  
Y( 7 ) = 5.75

LOS VALORES DE INFLUENCIA SON:

F( 1 : 1 : 1 ) = 0.447932  
F( 1 : 2 : 1 ) = 0.251212  
F( 1 : 1 : 2 ) = 0.000002  
F( 1 : 2 : 2 ) = 0.000047  
F( 1 : 1 : 3 ) = 0.000000  
F( 1 : 2 : 3 ) = 0.000000  
F( 1 : 1 : 4 ) = 0.000000  
F( 1 : 2 : 4 ) = 0.000000  
F( 1 : 1 : 5 ) = 0.000000  
F( 1 : 2 : 5 ) = 0.000000  
F( 1 : 1 : 6 ) = 0.000000  
F( 1 : 2 : 6 ) = 0.000000  
F( 1 : 1 : 7 ) = 0.000000  
F( 1 : 2 : 7 ) = 0.000000  
F( 2 : 1 : 1 ) = 0.000002  
F( 2 : 2 : 1 ) = 0.000044  
F( 2 : 1 : 2 ) = 0.095903  
F( 2 : 2 : 2 ) = 0.502424  
F( 2 : 1 : 3 ) = 0.000002  
F( 2 : 2 : 3 ) = 0.000046  
F( 2 : 1 : 4 ) = 0.000000  
F( 2 : 2 : 4 ) = 0.000001  
F( 2 : 1 : 5 ) = 0.000000  
F( 2 : 2 : 5 ) = 0.000000  
F( 2 : 1 : 6 ) = 0.000000  
F( 2 : 2 : 6 ) = 0.000000  
F( 2 : 1 : 7 ) = 0.000000  
F( 2 : 2 : 7 ) = 0.000009  
F( 3 : 1 : 1 ) = 0.000000  
F( 3 : 2 : 1 ) = 0.000000  
F( 3 : 1 : 2 ) = 0.000002  
F( 3 : 2 : 2 ) = 0.000047  
F( 3 : 1 : 3 ) = 0.095891  
F( 3 : 2 : 3 ) = 0.502114  
F( 3 : 1 : 4 ) = 0.000014  
F( 3 : 2 : 4 ) = 0.000052  
F( 3 : 1 : 5 ) = 0.000000  
F( 3 : 2 : 5 ) = 0.000005  
F( 3 : 1 : 6 ) = 0.000000

F(3.2.6)	=0.000000
F(3.1.7)	=0.000000
F(3.1.1)	=0.000000
F(4.2.1)	=0.000000
F(4.1.2)	=0.000000
F(4.1.2)	=0.000002
F(4.1.3)	=0.000014
F(4.2.3)	=0.000355
F(4.1.4)	=0.075878
F(4.1.2)	=0.001894
F(4.1.3)	=0.000014
F(4.2.3)	=0.000356
F(4.1.6)	=0.000000
F(4.2.6)	=0.000000
F(4.1.7)	=0.000000
F(4.2.7)	=0.000000
F(3.1.1)	=0.000000
F(3.2.1)	=0.000000
F(3.1.2)	=0.000000
F(3.1.3)	=0.000000
F(3.2.3)	=0.000004
F(3.1.4)	=0.000014
F(3.2.4)	=0.000352
F(3.1.5)	=0.075892
F(3.2.5)	=0.502157
F(3.1.6)	=0.000000
F(3.2.6)	=0.000004
F(3.1.7)	=0.000000
F(3.2.7)	=0.000000
F(6.1.1)	=0.000000
F(6.2.1)	=0.000000
F(6.1.2)	=0.000000
F(6.2.2)	=0.000000
F(6.1.3)	=0.000000
F(6.2.3)	=0.000000
F(6.1.4)	=0.000000
F(6.2.4)	=0.000000
F(6.1.5)	=0.000000
F(6.2.5)	=0.000004
F(6.1.6)	=0.075907
F(6.2.6)	=0.502110
F(6.1.7)	=0.000000
F(6.2.7)	=0.000004
F(7.1.1)	=0.000000
F(7.2.1)	=0.000000
F(7.1.2)	=0.000000
F(7.2.2)	=0.000000
F(7.1.3)	=0.000000
F(7.2.3)	=0.000000
F(7.1.4)	=0.000000
F(7.2.4)	=0.000000
F(7.1.5)	=0.000000
F(7.2.5)	=0.000000
F(7.1.6)	=0.000000
F(7.2.6)	=0.000004
F(7.1.7)	=0.447953
F(7.2.7)	=0.251255

**MATRIZ DE COEFICIENTES:**

COLUMNA RENGLON	1	2	3	4	5	6	7
1	-1.00000E+00	2.74682E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.29440E+00	-6.17425E-01	4.70777E-08
2	0.00000E+00	1.47684E+03	4.63337E+02	0.00000E+00	6.32643E-01	2.09477E+00	-1.83020E-08
3	1.00000E+00	5.49364E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	-3.23345E+01	-1.48203E+00	4.70777E-08
4	0.00000E+00	1.39001E+03	1.39001E+03	0.00000E+00	-2.23495E+01	-3.49925E+01	-6.42074E-01
5	0.00000E+00	-2.74682E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	5.96392E-01	5.61431E-01	-6.27782E-08
6	0.00000E+00	4.63337E+02	-4.63337E+02	0.00000E+00	3.44756E-08	2.05630E-01	1.52016E-01
7	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-2.93312E+02	1.11418E-10	2.78960E-08	5.51119E-03
8	0.00000E+00	0.00000E+00	1.46656E+02	-1.46656E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	2.75521E+00
9	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	-1.46656E+02	2.78546E-11	6.97399E-09	1.73578E-01
10	0.00000E+00	4.63337E+02	9.26674E+02	0.00000E+00	-2.58567E-08	1.65324E-01	-1.53341E+01
11	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00	3.07000E+00	4.09000E+00	7.57000E+00

COLUMNA RENGLON	8	9	10	11
1	5.00838E-10	-8.63949E+00	7.29291E-06	1.37731E-09
2	2.99468E-09	8.63949E+00	-3.03636E+00	7.81522E-08
3	5.00838E-10	-2.90601E+01	7.29291E-06	1.37731E-09
4	4.98769E-09	-4.46992E+01	-1.32496E+01	1.53550E-07
5	-6.67784E-10	5.15650E+00	-9.67456E-06	-2.17830E-09
6	-3.32513E-09	-2.02349E-06	1.97012E+00	-9.47661E-08
7	1.03309E+01	3.56539E-10	6.95386E-10	6.91314E-01
8	1.01943E+02	0.00000E+00	0.00000E+00	7.16354E+01
9	3.01348E+01	3.07179E-10	7.50711E-07	1.37760E+01
10	-1.15719E+02	-1.61054E-06	3.03637E+00	-1.32250E+02
11	5.75000E+00	6.14000E+00	3.64000E+00	1.15000E+01

**TERMINOS INDEPENDIENTES**

ECUACION VALOR

1	0.0000
2	0.0000
3	-130.6410
4	-82.1912
5	0.0000
6	0.0000
7	0.0000
8	0.0000
9	0.0000
10	0.0000
11	11.2900

**SOLUCION AL PROBLEMA PROPUESTO:**

MOMENTO DE VOLTEO	-10.175 (TON - M)
DOBLEGIRO EN EL NUDO 2	0.000 (RADIANES)
DOBLEGIRO EN EL NUDO 3	0.000 (RADIANES)
DOBLEGIRO EN EL NUDO 4	0.000 (RADIANES)
REACCION R 1	4.429 (TON/M)
REACCION R 2	0.244 (TON/M)
REACCION R 3	0.013 (TON/M)
REACCION R 4	0.001 (TON/M)
REACCION T 1	-0.513 (TON/M)
REACCION T 2	-0.118 (TON/M)
REACCION T 3	-0.002 (TON/M)

**FIN DEL CALCULO**



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Hemos llegado al final de este trabajo; durante los capítulos anteriores se han descrito, en forma breve, dos de las partes importantes en la solución de un problema de ingeniería. En el capítulo II se hizo referencia a la primera de ellas, la solución analítica, tratando un nuevo procedimiento para el análisis conjunto suelo-estructura. En los capítulos III y IV se presentó la solución numérica del problema. Como se observó, la parte numérica corresponde a un programa de computadora con el cual, y mediante la correcta aportación de datos, obtendremos el diagrama de reacción del suelo. En el capítulo V se dieron algunos ejemplos de aplicación de los métodos antes descritos; en este capítulo se presentarán las conclusiones obtenidas durante la elaboración de este trabajo y finalmente se darán algunas recomendaciones importantes al respecto.

## VI.1 CONCLUSIONES

Como primer punto, la presentación de un nuevo método de análisis conjunto en el que no se requiere del uso del módulo de reacción del suelo, y con esto, no es necesario recurrir a iteraciones.

El hacer uso de este procedimiento, para este tipo de análisis, permite llegar a diseños cuyas solicitaciones son más apegadas a la realidad; además, permite llegar a la solución de una manera simple, en comparación con otros métodos ya existentes, y si contamos con algún sistema de computación, es muy fácil de programar.

Para la deducción de las ecuaciones que intervienen, en el análisis conjunto, no es necesario definir el tipo de apoyo en el pie del pilote. De la misma forma, el apoyo en la cabeza del mismo se considera empotrado.

El empleo de este método permite resolver problemas en los que intervengan: sección variable a lo largo de la pieza, - pilotes constituidos por más de un material simultáneo y - suelos cuyas propiedades varían con la profundidad.

Se trata de un método de análisis estático; ésta podría ser una desventaja, al compararlo con otros métodos ya existentes, sin embargo las facilidades que presenta, durante su utilización, pueden hacerlo resaltar sobre los anteriores.

Es necesaria la evaluación previa de la fuerza lateral aplicada. Para ello es conveniente recurrir a métodos ampliamente detallados en la literatura de ingeniería estructural.

El análisis se efectúa a un pilote individual, no se toma en cuenta el efecto producido por todo el conjunto contenido en la cimentación en estudio.

## VI.2 RECOMENDACIONES

Se debe tener cierto criterio durante la evaluación de los parámetros que intervienen en el análisis como son: módulo de elasticidad del material (E) y módulo de variación volumétrica del suelo ( $M_v$ ), ya que una mala deducción de los mismos conduciría a resultados menos precisos al problema y en ocasiones fuera de la realidad.

El programa de computadora que se presenta, correspondiente

al método numérico propuesto, se creó y probó en un sistema de computación; el transcribirlo o incorporarlo a un sistema diferente, puede traer como consecuencia un mal funcionamiento del mismo. Por lo anterior se debe tener mucho cuidado con los comandos especiales de cada sistema.

Es oportuno insistir en la elaboración del bloque de datos. Un número de renglón mal otorgado puede destruir una instrucción del programa, si ésta tiene ese mismo número de renglón, y por consiguiente este no funcionará correctamente. Para evitar lo anterior se recomienda hacer uso del instructivo durante la aplicación del programa.

Finalmente, y como última recomendación, si algún renglón para datos es insuficiente para el número de ellos por aportar, se puede crear uno nuevo con la única precaución de asignarle un número de etiqueta comprendido entre el inconcluso y el siguiente indicado en el instructivo.

## R E F E R E N C I A S

- DEMENECHI A, " Un Método para el Análisis Conjunto de la Estructura y el suelo ", Rev. Ingeniería, Ed. Nueva Epoca, No. 3, 1979.
- DEMENECHI A, " Análisis de Pilotes Sujetos a Solicitaciones Dinámicas ", X Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, 1981.
- DEMENECHI A, " Pilotes Sujetos a Cargas Laterales por Sismo" VIII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Tomo III, 1976.
- POZAS M, " Un Ejemplo del Análisis de la Interacción Suelo Estructura ", Tesis Prof., 1980.
- LUTHE R, Análisis Estructural, Cap. V, Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A., 1971
- LUTHE R, Manual de Lenguaje BASIC, Limusa, 1977.
- JUAREZ RADILLO y RICO R, Mecánica de Suelos, Tomo II, Cap. VIII, Tomo I, Cap. X, Ed. Limusa, 1976.
- ZEEVAERT L, Engineering for Difficult Subsoil Conditions, Chap. IV, Ed. Van Nostrand Reilhold, 1973.
- Programa de Computadora para el Análisis Interacción, A. Deménechi y César Hernández, 1980.