



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-204

Al Pasante señor JUAN JOSE ARRIAGA OCARA,
P r e s e n t e .

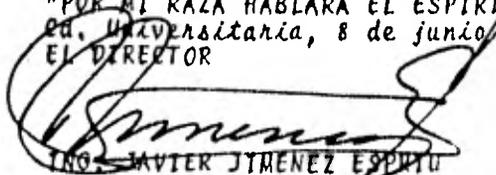
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Agustín Deméneghi Colina, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA EN UNA VIGA FLOTANTE.
PROGRAMA EN LENGUAJE BASIC"

1. Introducción,
2. Interacción suelo-estructura en una viga flotante.
3. Elaboración del programa de computadora.
4. Instructivo de uso del programa.
5. Ejemplos de aplicación.
6. Conclusiones.

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"
Ed. Universitaria, 8 de junio de 1981
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPINOZA


JJE/OBZA/ser



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

"INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA EN UNA VIGA FLOTANTE,
PROGRAMA EN LENGUAJE BASIC"

1. Introducción.
2. Interacción suelo-estructura en una viga floo
tante.
 - 2.1 Generalidades.
 - 2.2 Descripción del método.
3. Elaboración del programa de computadora.
 - 3.1 Consideraciones generales.
 - 3.2 Manual de lenguaje BASIC.
 - 3.3 Programa de Computadora.
4. Instructivo de uso del programa.
5. Ejemplos de aplicación.
6. Conclusiones.

CAPITULO 1

INTRODUCCION.

Al analizar estructuras que se encuentran sobre suelos - compresibles, tenemos un problema relativamente complejo, ya que por un lado se debe de tomar en cuenta la rigidez de la estructura y por otro la rigidez del propio suelo. Generalmente cuando vamos a diseñar una estructura nos encontramos con el problema mencionado y en general el análisis no se hace de manera conjunta, es decir, se considera por separado al suelo y a la estructura y no se toma en cuenta la interacción real que existe entre ellas.

Durante mucho tiempo se han realizado numerosas investigaciones que tratan de resolver este problema, estas investigaciones han recurrido a hipótesis simplificadoras que en la práctica real de la ingeniería no cumplen con su cometido. -- Actualmente y a raíz de lo anterior se han desarrollado métodos que reducen dichas hipótesis y que toman de manera conjunta la estructura y el suelo; uno de los investigadores que se han adentrado en este problema ha sido el Dr. Leonardo Zeevaert (1973). El método del Dr. Zeevaert tiene el inconveniente del uso de iteraciones ya que no se conoce a priori el módulo de reacción del suelo, que es el parámetro que maneja dicho investigador.

El Ing. Agustín Deméneghi Colina, es otra de los investi-

gadores que han desarrollado un procedimiento para la solución de este problema; el procedimiento propuesto por el Ing. Agustín Deméneghi no requiere del manejo del módulo de reacción, con lo cual, se tiene un avance en la solución de este tipo de problemas y el objeto de esta tesis es presentar el procedimiento mencionado aplicado a estructuras cuya cimentación sea una losa.

Este procedimiento consiste básicamente, en la incorporación del cálculo de asentamientos del suelo al análisis estructural, ya que la interacción entre el suelo y la estructura consiste en encontrar un sistema de reacciones que produzcan la misma configuración de desplazamientos diferenciales entre ambos elementos (el suelo y la estructura).

El procedimiento tratado en esta tesis pretende ser lo más sencillo y práctico posible; es un procedimiento aplicable a estructuras que se encuentren apoyadas en suelos de mediana a alta compresibilidad, el problema en sí radica en la determinación de los hundimientos totales y diferenciales, así como los elementos mecánicos que son producto de los hundimientos de la cimentación.

En general este procedimiento es una solución al problema de interacción suelo-estructura en el análisis y diseño de las cimentaciones; en la estructura se considera su rigidez, la magnitud y distribución de las cargas; en el suelo se consideran las reacciones del suelo que actúan sobre la estructura, estas últimas dependen de manera directa de las propiedades del suelo como son: la estratigrafía del lugar y en particu-

lar de la zona en cuestión y el módulo de deformabilidad del -- suelo.

En el capítulo dos se presenta la descripción del procedimiento propuesto por el Ing. Deméneghi; en el primer inciso -- tenemos las generalidades del mismo. En los siguientes incisos se hace una descripción de lo que es el procedimiento y de como se obtuvieron las ecuaciones generales, así como de cuales_son las consideraciones hechas para la obtención de dichas --- ecuaciones y la secuencia seguida. El último inciso se refiere a la secuencia de operaciones en el análisis conjunto.

El capítulo tres se refiere a la elaboración del programa de computadora para la aplicación del procedimiento tratado en el capítulo dos; este capítulo se divide en tres incisos, el - primero corresponde a las generalidades, el segundo se refiere a un pequeño manual del lenguaje BASIC, ya que se uso dicho -- lenguaje en la estructuración del programa y el tercero corresponde precisamente a la estructuración del programa, para ello se da una breve explicación del porqué y como se estructuro el programa.

El capítulo cuatro corresponde al instructivo de uso del_ programa, en donde se dan de manera específica los pasos a seguir para el uso correcto del programa y para el uso de la computadora en que se hizo dicho programa; también se explica el_ uso de las principales instrucciones y comandos que se pueden_ emplear en este programa, también la manera y secuencia de introducir los datos requeridos para la solución de un problema_ específico de interacción suelo-estructura.

En el capítulo cinco se tiene la aplicación del procedimiento y la aplicación del programa para dos ejemplos; el primero de ellos corresponde a una estructura de tres niveles y el segundo a un cajón de cimentación; en el primero solo consideramos dos estratos del suelo y en el segundo tenemos cinco estratos.

El capítulo seis es el último y corresponde a las conclusiones que se obtuvieron de la aplicación de este procedimiento y del uso del mismo, que como ya se dijo es una solución a los problemas de interacción suelo-estructura.

CAPITULO 2

INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA EN UNA VIGA FLOTANTE.

2.1 GENERALIDADES

Para comprender el problema referente a la interacción - suelo-estructura, debemos tener en cuenta la distribución de asentamientos y de esfuerzos bien para suelos cohesivos o -- para suelos friccionantes, para ello analizaremos el caso de una cimentación totalmente rígida y una cimentación totalmente flexible.

Si tenemos una área con carga uniforme sobre ella y ésta es totalmente flexible, las presiones que tenemos en el área serán idénticas a las transmitidas al suelo. Por otro lado - el asentamiento no será uniforme, el máximo asentamiento lo tendremos al centro del área cargada y el menor en la periferia de la misma, como se muestra en la figura 2.1.1, para lo anterior el medio se considera idealmente elástico y para -- suelos compresibles.

Consideremos la misma área flexible pero apoyada ahora - sobre un suelo friccionante, para este caso el asentamiento- máximo lo tendremos en los extremos y el mínimo al centro -- como se muestra en la figura 2.1.2, ya que los materiales -- gruesos tienen la propiedad de aumentar su rigidez al ser -- confinados.

Ahora consideremos que la carga se transmite al suelo a través de una placa infinitamente rígida, para este caso y - debido a la rigidez de la placa, ésta se asentará de manera- uniforme, por lo que la presión de contacto entre placa y --

suelo no podrá ser uniforme. Como se puede ver en la figura-2.1.3 el asentamiento de una placa que se apoya en un suelo-cohesivo es uniforme y el asentamiento al centro es mínimo - mientras que en los extremos es máximo, puesto que para llegar al asentamiento uniforme éste deberá disminuir al centro (disminuye la presión) y aumentar en los extremos (aumenta la presión). Para cuando se tiene el caso anterior pero se trate de un suelo friccionante, el aumento de presión lo tendremos al centro mientras que en los extremos tendremos una disminución como se ve en la figura 2.1.4.

Durante mucho tiempo al ingeniero le ha preocupado evaluar cuantitativamente la distribución de los esfuerzos y asentamientos; el profesor Terzaghi (1943), fue uno de los primeros investigadores que pretende resolver el problema -- desde un punto de vista práctico en ingeniería, su procedimiento no es muy satisfactorio ya que utiliza un módulo de reacción del suelo un tanto arbitrario, ya que este módulo depende de factores que no se pueden determinar directamente por pruebas de campo.

Algo importante es que el procedimiento de Terzaghi sirve únicamente para una viga semi-rígida cargada al centro y apoyada en un medio elástico; pero todo ello dista mucho de la realidad, es decir, el procedimiento es muy particular.

Actualmente el Dr. Zeevaert (1973) ha creado un método con mayor alcance comparado con el propuesto por Terzaghi, Zeevaert considera condiciones dinámicas pero su desventaja se presenta al hacer interacciones, tanto para el cálculo -

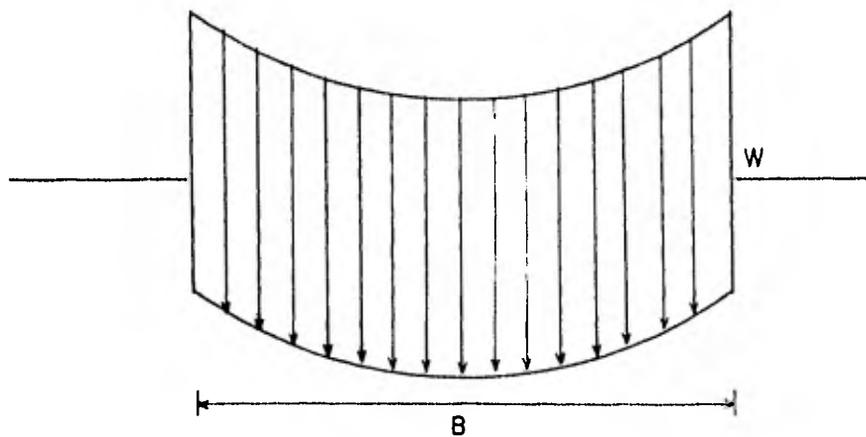


FIG. 2.1.1. ASENTAMIENTOS SOBRE SUELOS COMPRESIBLES.

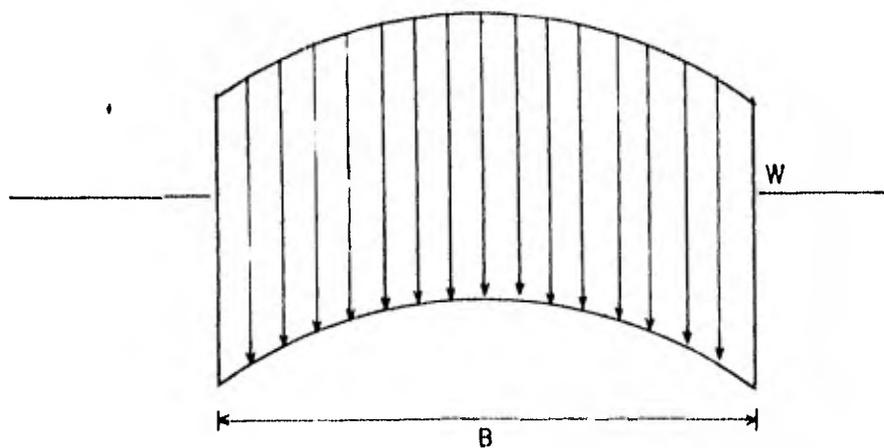


FIG. 2.1.2. ASENTAMIENTO SOBRE SUELO FRICCIONANTE.

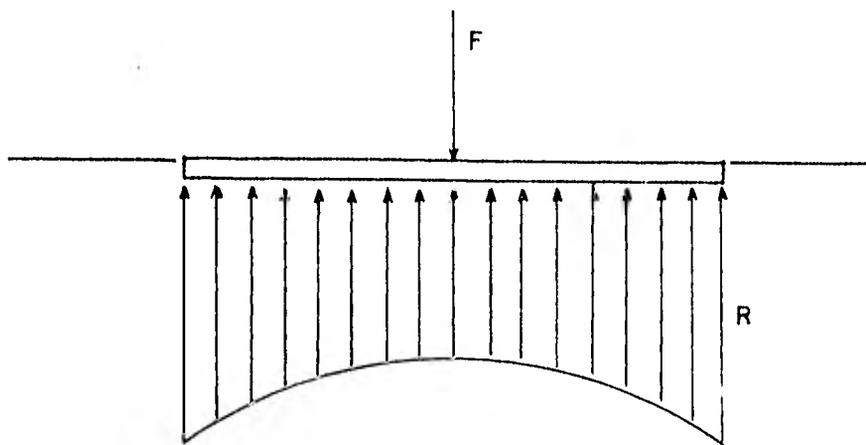


FIG. 2.1.3 DISTRIBUCION DE PRESIONES
BAJO UN SUELO COMPRESIBLE.

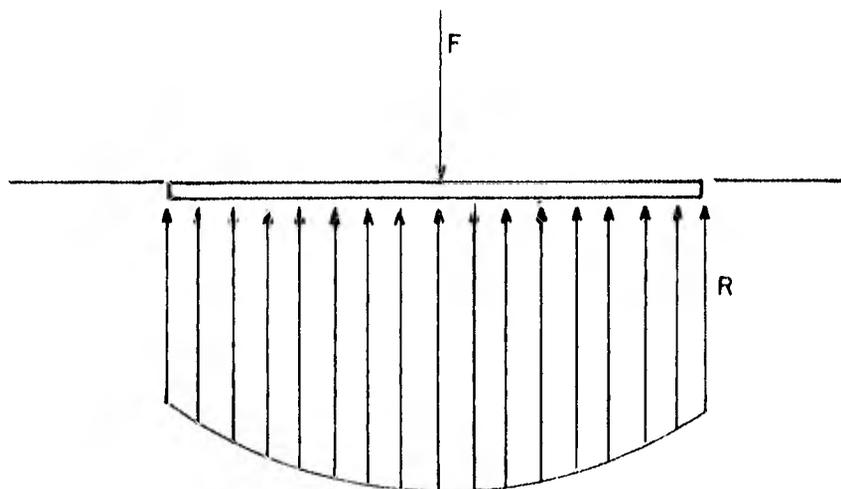


FIG. 2.1.4 DISTRIBUCION DE PRESIONES
BAJO UN SUELO FRICCIONANTE.

estructural, como para el cálculo de los hundimientos, por lo cual resulta demasiado laborioso.

Otro de los investigadores que se han preocupado por dar solución al problema de la interacción suelo-estructura, es el Ing. Agustín Deméneghi Colina; su método se describe a continuación.

2.2 DESCRIPCION DEL METODO

El método de interacción suelo-estructura, consiste básicamente en encontrar una distribución de las reacciones que produzcan la misma configuración de desplazamientos diferenciales y totales en los dos elementos (la estructura y el suelo).

El método propuesto por el Ing. Agustín Deméneghi es una solución al problema de la interacción suelo-estructura en el análisis y diseño de las cimentaciones; en este método se consideran por un lado las características de la estructura, como son su rigidez y la distribución de las cargas, por otro lado se tienen las reacciones del suelo que actúan sobre la estructura; estas últimas dependen de manera directa de las propiedades del suelo, como son el módulo de deformación del suelo, la estatigrafía del suelo y las condiciones hidráulicas que rigen en el lugar.

El suelo lo consideraremos como un medio continuo, en donde la acción de un punto ejerce cierta influencia en otro punto dentro de la masa de suelo considerada, para el cálculo de los esfuerzos en el suelo haremos uso de la teoría de elasticidad.

El método del Ing. Agustín Deméneghi considera a la estructura como una viga flotante que se apoya sobre suelos - compresibles, para este caso la viga flotante es el equivalente a toda la estructura que incluye todas sus características; para el análisis estructural se usa el método de la viga conjugada y para la obtención de los esfuerzos en el - suelo usamos la fórmula de Boussinesq para cargas uniformes.

Consideremos que tenemos una estructura, que está apoyada sobre suelos de mediana a alta compresibilidad y que su cimentación esta hecha a base de una losa; queremos como se dijo antes, obtener los hundimientos totales y diferenciales, y con ello los elementos mecánicos que actúan sobre la cimentación.

Lo primero que haremos como ya se dijo antes, es considerar a la estructura como una viga que se apoya en el suelo, pero desde luego respetaremos sus características; luego -- dividiremos esa viga en tramos y cada frontera de tramo -- será un eje. Para el caso del suelo y debido a que desconocemos el diagrama de las reacciones del terreno suponemos - una distribución de las reacciones del suelo sobre la estructura, como se muestra en la figura 2.2.1.

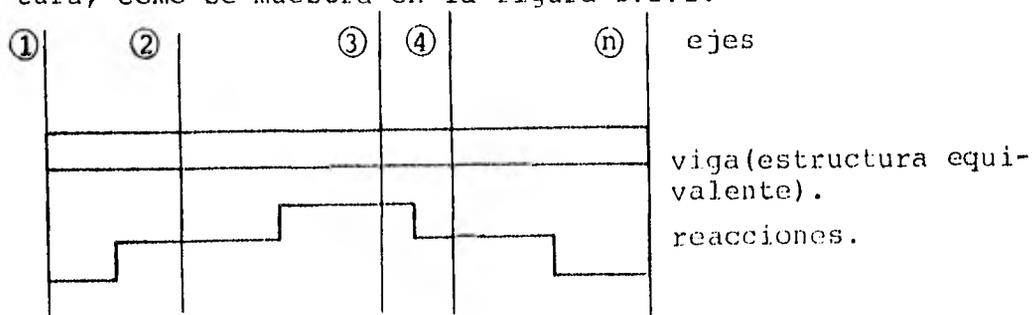


Fig. 2.2.1 DISTRIBUCION DE REACCIONES.

Como se había mencionado antes, para el análisis de la estructura emplearemos el método de la viga conjugada, mientras que para el análisis del suelo usaremos la fórmula de Boussinesq.

Cuando aplicamos el método de la viga conjugada en el análisis de nuestra viga flotante obtenemos las ecuaciones correspondientes al punto que estamos tratando, dichas ecuaciones están en función de giros, desplazamientos y reacciones (θ_i , δ_i y r_i), donde todas estas variables son incógnitas. Después hacemos el análisis del suelo, es decir, obtenemos los desplazamientos del suelo que quedan en función de las reacciones del mismo y dichas reacciones son incógnitas, finalmente estas últimas ecuaciones las sustituimos en las primeras, quedando solo como incógnitas los giros y las reacciones, dando así origen a un sistema de ecuaciones de $n \times n$ con "n" incógnitas que podemos resolver fácilmente.

2.2.1 EMPLEO DE LA VIGA CONJUGADA PARA EL ANALISIS ESTRUCTURAL

Supongamos nuestra viga flotante sometida a las reacciones del terreno, como se muestra en la figura 2.2.1'.

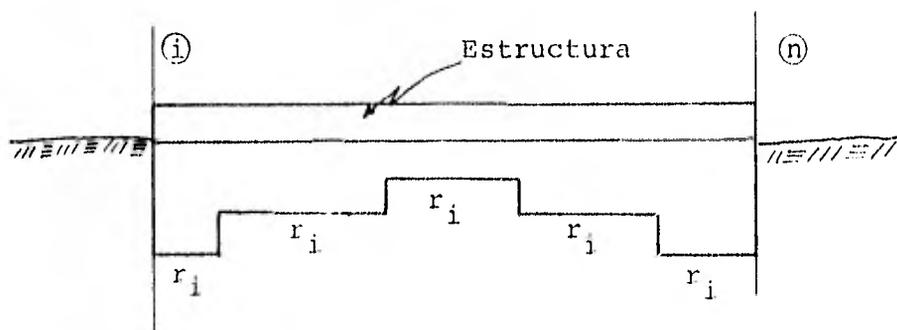


Fig. 2.2.1' DIAGRAMA DE REACCIONES r_i

Obtenemos el diagrama de momentos cuando sobre nuestra viga actúa una reacción r_i , supongamos que dicha reacción está en el extremo izquierdo de la viga, como se muestra a continuación (fig. 2.2.1.1).

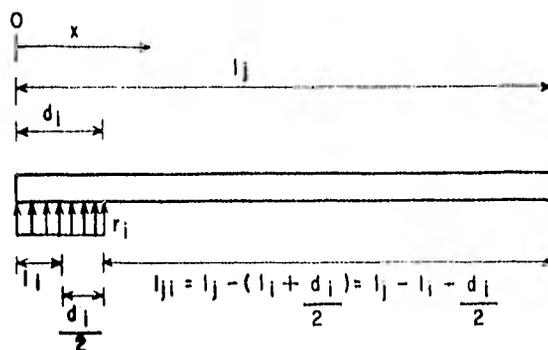


Fig. 2.2.1.1 ACCION DE UNA REACCION r_i

Primero obtenemos las ecuaciones de momentos para los intervalos correspondientes:

$$\text{si } 0 \leq x \leq l_i + \frac{d_i}{2} \quad M_x = r_i \times \frac{x}{2} = r_i \frac{x^2}{2}$$

$$\text{para cuando } x = 0 \quad M_x = 0$$

$$\text{para cuando } x = l_i + \frac{d_i}{2} \quad M_x = \frac{r_i}{2} \left(l_i + \frac{d_i}{2} \right)^2 = r_i \frac{d_i^2}{2}$$

$$\text{si } l_i + \frac{d_i}{2} \leq x \leq l_j \quad \text{tenemos que:}$$

$$M_x = r_i d_i (x - l_i)$$

$$\text{para cuando } x = l_i + \frac{d_i}{2} \quad M_x = r_i d_i \left(l_i + \frac{d_i}{2} - l_i \right) = r_i \frac{d_i^2}{2}$$

$$\text{para cuando } x = l_j \quad M_x = r_i d_i (l_j - l_i) = r_i d_i l_i - r_i d_i l_j$$

De acuerdo a los valores obtenidos para los momentos, -
se obtiene el siguiente diagrama. (Fig. 2.2.1.2).

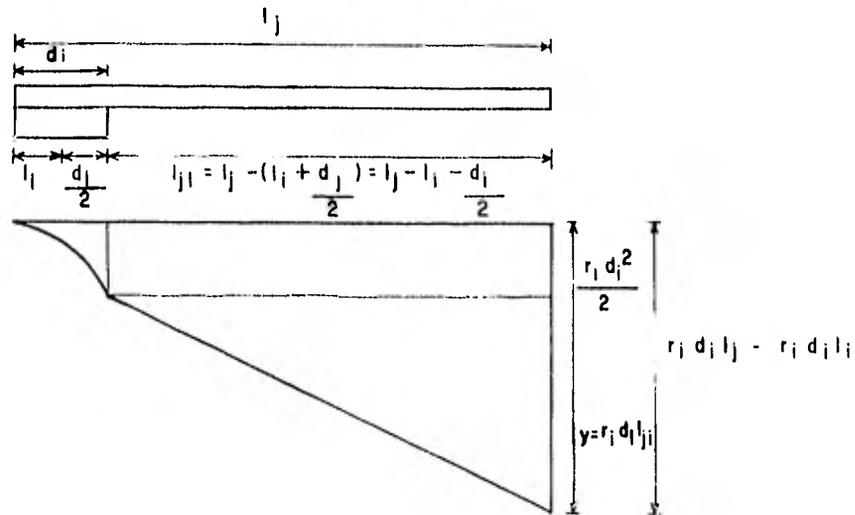


Fig. 2.2.1.2 DIAGRAMA DE MOMENTOS

El valor de "y" se obtuvo como se muestra a continuación.

$$y = r_i d_i l_j - r_i d_i l_i - r_i \frac{d_i^2}{2} = r_i d_i (l_j - l_i - \frac{d_i}{2}) = r_i d_i l_{ji}$$

Ahora cargaremos la viga conjugada con el diagrama M/EI de la viga real, como se muestra en la figura 2.2.1.3.

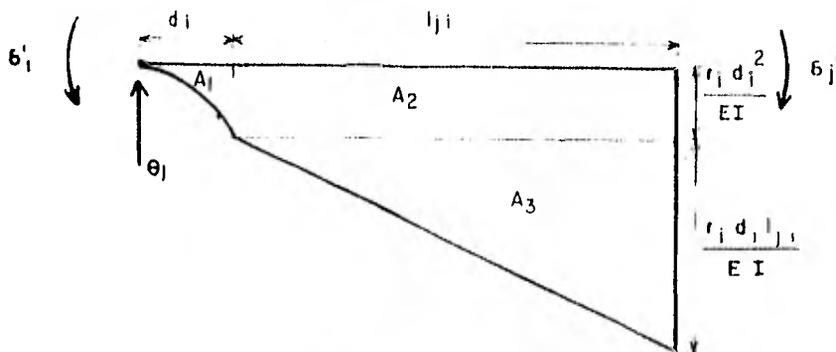


Fig. 2.2.1.3 VIGA CONJUGADA

Para facilitar la deducción de las ecuaciones generales dividiremos el diagrama de la viga conjugada en áreas, el valor de dichas áreas se muestra a continuación:

$$A_1 = \frac{1}{3} \frac{r_i d_i^2}{2EI} \quad d_i = \frac{r_i d_i^3}{6EI} \quad \text{si tenemos que } A_i = \frac{d_i^3}{6} \quad \text{---(1)}$$

$$\text{entonces } A_1 = A_i \frac{r_i}{EI} \quad \text{----- (2)}$$

$$A_2 = \frac{r_i d_i^2}{2EI} \quad l_{ji} = \frac{r_i d_i^2 l_{ji}}{2EI} \quad \text{si tenemos que } B_{ji} = \frac{d_i^2 l_{ji}}{2} \quad \text{---(3)}$$

$$\text{entonces } A_2 = \frac{r_i}{EI} B_{ji} \quad \text{----- (4)}$$

$$A_3 = \frac{l_{ji}}{2} \frac{r_i d_i l_{ji}}{EI} = \frac{r_i d_i l_{ji}^2}{2EI} \quad \text{si tenemos que } C_{ji} = \frac{d_i l_{ji}^2}{2} \quad \text{---(5)}$$

$$\text{entonces } A_3 = \frac{r_i}{EI} C_{ji} \quad \text{----- (6)}$$

Para la deducción de las ecuaciones generales primero tomaremos la acción de las reacciones del suelo y luego las cargas que actúan sobre la estructura, donde por equilibrio la acción de las reacciones sobre la estructura deben ser iguales a la acción de las cargas que actúan sobre la misma, como se muestra en la fig. 2.2.1.4.

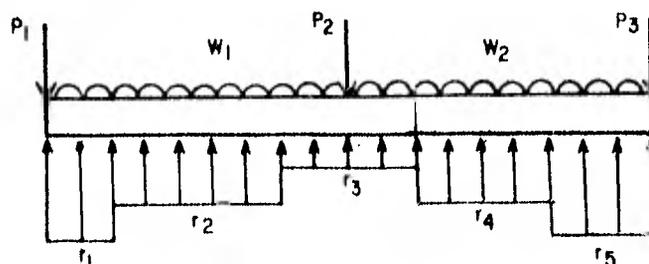


Fig. 2.2.1.4 CARGAS Y REACCIONES ACTUANTES

2.2.2 OBTENCION DE LA ECUACION VALIDA PARA CUANDO TENEMOS $2 \leq j \leq n - 1$

Primero deduciremos la ecuación válida para el intervalo $2 \leq j \leq n-1$, para lo cual, primero consideraremos la acción de las reacciones interiores y la acción de la reacción en el punto "j", luego la acción de las cargas uniformes y de las cargas concentradas, y considerando el equilibrio entre dichas acciones obtenemos la ecuación general para el intervalo mencionado como se muestra a continuación.

Consideremos la acción de la reacción r_i en los puntos interiores, como se muestra en la fig. 2.2.2.1

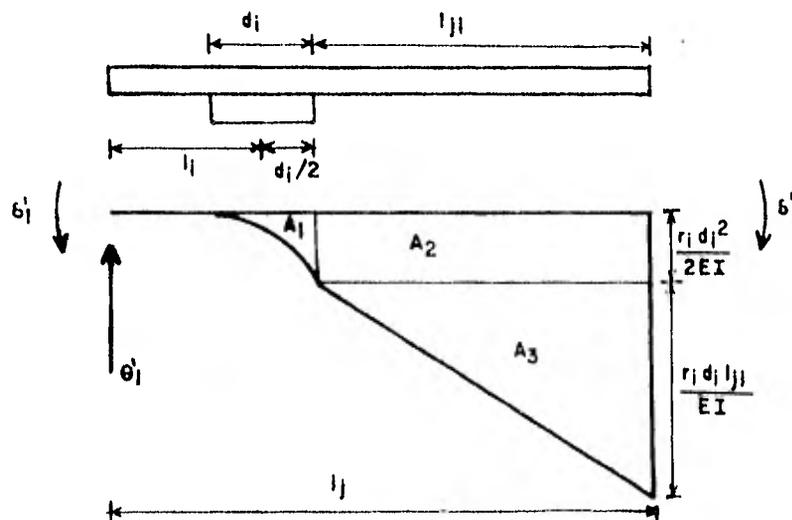


Fig. 2.2.2.1 ACCION DE r_i EN PUNTOS INTERIORES

Si ahora tomamos momentos en la viga conjugada con respecto al punto "j" tenemos:

$$\theta'_i l_j - \delta'_i + \delta'_j + A_1 (l_{ji} + \frac{1}{4} d_i) + A_2 \frac{l_{ji}}{2} + A_3 \frac{l_{ji}}{3} = 0 \quad (7)$$

Ahora sustituycamos en la ecuación (7) las ecuaciones (2), (4) y (6), y tenemos lo siguiente:

$$\theta'_i l_j - \delta'_i + \delta'_j + \frac{r_i}{EI} A_i (l_{ji} + \frac{1}{4} d_i) + \frac{r_i}{EI} B_{ji} \frac{l_{ji}}{2} + \frac{r_i}{EI} C_{ji} \frac{l_{ji}}{3} = 0$$

si tomamos como factor común $\frac{r_i}{EI}$ tendremos que:

$$\theta'_i l_j - \delta'_i + \delta'_j + \frac{r_i}{EI} [A_i (l_{ji} + \frac{d_i}{4}) + B_{ji} \frac{l_{ji}}{2} + C_{ji} \frac{l_{ji}}{3}] = 0 \text{ ---- (8)}$$

de donde podemos decir que:

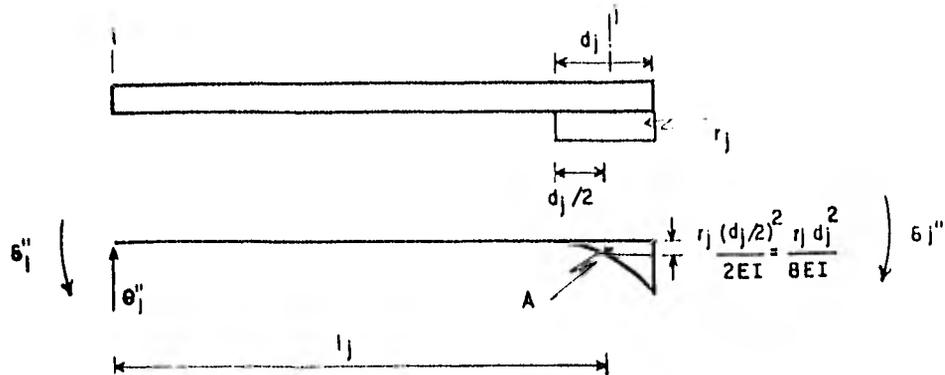
$$D_{ji} = A_i (l_{ji} + \frac{d_i}{4}) + B_{ji} \frac{l_{ji}}{2} + C_{ji} \frac{l_{ji}}{3} \text{ ---- (9)}$$

sustituyendo la ecuación (9) en la (8) tenemos:

$$\theta'_i l_j - \delta'_i + \delta'_j + \frac{r_i}{EI} D_{ji} = 0 \text{ ---- (10)}$$

La ecuación anterior es el resultado de la acción de la reacción r_i en cualquier punto intermedio (i) de la viga.

Ahora consideremos a la reacción actuando en el punto "j" y obtengamos la ecuación.



de la ecuación (1) y por analogía tenemos que $A_j = \frac{d_j^3}{6}$ (11)

de la figura tenemos que el valor del área es:

$$A = \frac{1}{3} \frac{r_j d_j^2}{8EI} \frac{d_j}{2} = \frac{r_j d_j^3}{48 EI} = \frac{r_j d_j^3}{48 EI} \text{ ----- (12)}$$

Si tomamos momentos con respecto a "j" obtenemos la siguiente ecuación.

$$\theta_1'' l_j - \delta_1'' + \delta_j'' + A \frac{1}{4} \frac{d_j}{2} = 0 \text{ ----- (13)}$$

sustituimos ahora la ecuación (12) en la ecuación (13)

$$\theta_1'' l_j - \delta_1'' + \delta_j'' + \frac{r_j d_j^3}{48EI} \frac{1}{4} \frac{d_j}{2} = 0 \text{ ----- (14)}$$

efectuando operaciones y considerando la ecuación (11) tenemos:

$$\theta_1'' l_j - \delta_1'' + \delta_j'' + \frac{r_j}{64EI} \frac{d_j^3}{6} d_j = 0$$

$$\theta_1'' l_j - \delta_1'' + \delta_j'' + \frac{r_j}{64EI} \Lambda_j d_j = 0$$

$$\theta_1 l_j - \delta_1 + \delta_j + \frac{1}{64EI} A_j d_j r_j = 0 \text{ ----- (15)}$$

Si sumamos ahora los efectos producidos por las reacciones interiores y la reacción en el punto "j", es decir, sumamos las ecuaciones (10) y (15), obtenemos la ecuación válida para el intervalo $2 \leq j \leq n-1$ como se muestra a continuación.

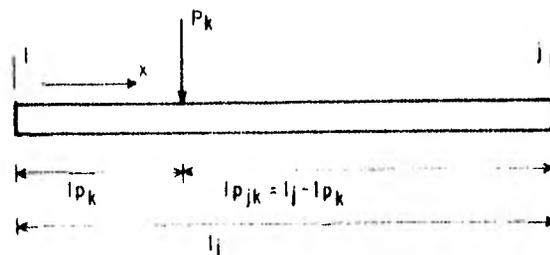
$$\theta_1 l_j - \delta_1 + \delta_j + \frac{1}{EI} \sum_{i=1}^{j-1} D_{ji} r_i + \frac{1}{64EI} A_j d_j r_j = 0 \text{ --- (16)}$$

si multiplicamos la ecuación (16) por EI obtenemos.

$$EI \theta_1 l_j - EI \delta_1 + EI \delta_j + \sum_{i=1}^{j-1} D_{ji} r_i + \frac{1}{64} A_j d_j r_j = 0 \text{ ---- (17)}$$

ecuación válida para cuando $2 \leq j \leq n-1$

Por analogía, se obtiene la acción de la carga uniforme que actúa sobre nuestra viga. Para completar la ecuación final consideraremos la acción de las cargas concentradas que actúan en nuestra viga y que se obtienen como se muestra a continuación.



donde:

lp_k : longitud del extremo de referencia a la carga concentrada

$m_j = N^a$ de cargas concentradas

Ahora determinaremos el momento que produce una carga -- concentrada, dicha carga se encuentra actuando en cualquier punto a lo largo de la viga.

Primero obtenemos las ecuaciones de momentos para los -- intervalos necesarios.

si $0 \leq x \leq lp_k$

$$M_x = 0$$

si $lp_k \leq x \leq l_j$

$$M_x = -P_k (x - lp_k)$$

Valuamos el momento

para cuando $x = lp_k$ $M_x = -P_k (lp_k - lp_k) = -P_k (0) = 0$

para cuando $x = l_j$ $M_x = -P_k (l_j - lp_k) = P_k lp_{jk}$

el diagrama queda como sigue:

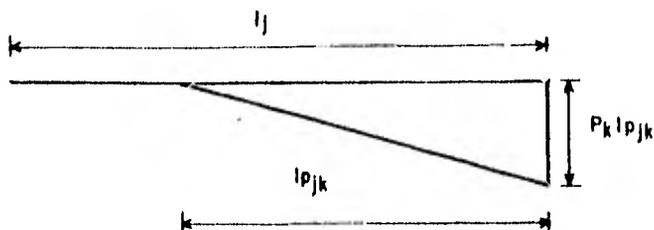
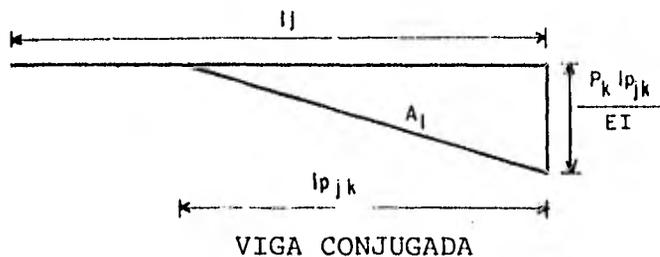


DIAGRAMA DE MOMENTOS



El área es:

$$A_1 = l_{pjk} \frac{P_k l_{pjk}}{2 EI} = \frac{P_k}{2} \frac{l_{pjk}^2}{EI} \quad (18)$$

Ahora de la viga conjugada, tomemos momentos con respecto al punto "j" y tenemos que $\Sigma M_j = 0$

$$M_j = A_1 \frac{1}{3} l_{pjk} = 0 \quad (19)$$

sustituyendo el valor de A_1 (ecuación 18) en la ecuación (19) tenemos:

$$\frac{1}{6EI} P_k l_{pjk}^3 = 0 \quad (20)$$

Esta ecuación(20) como la 16 se multiplica por EI.

Si ahora sumamos los efectos producidos por las reacciones, las cargas uniformes y las concentradas, y además consideramos el equilibrio existente entre ellas, formamos nuestra primer ecuación general que es:

$$EI \theta_1 l_j - EI \delta_1 + EI \delta_j + \sum_{i=1}^{j-1} D_{ji} r_i + \frac{1}{64} A_j d_j r_j = \sum_{i=1}^{j-1} D_{ji} w_i + \frac{1}{64} A_j w_j d_j +$$

$$+ \sum_{k=1}^{m_j} \frac{1}{6} P_k l_{p_{jk}}^3 \quad (21)$$

Esta ecuación solo es válida para el intervalo $2 \leq j \leq n-1$

Las restricciones son:

para la reacción r_1 tenemos que $l_1 = 0$ y que $l_{j_i} = l_j - d_1$ (22)

para todas las reacciones siguientes (r_i) $l_{j_i} = l_j - (l_i + \frac{d_i}{2})$ (23)

de la ecuación (21) tenemos que:

i : posición de los ejes de referencia.

$j = n-1$ donde "n" es el número de ejes (penúltimo punto)

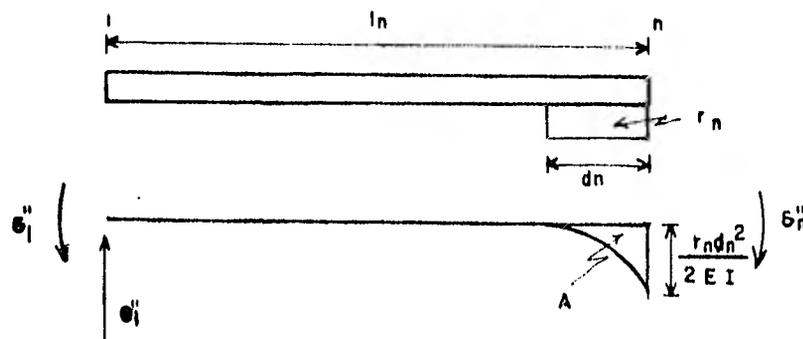
m_j = número de cargas concentradas cuando estamos en el punto j .

2.2.3 OBTENCION DE LA ECUACION VALIDA PARA $J = N$

Para la deducción de esta ecuación haremos consideraciones semejantes a las hechas para la primer ecuación, primero se deben considerar las acciones de las cargas interiores, que para este caso es lo mismo que para la primer ecuación- y que lo tenemos en la ecuación 10, luego consideraremos la acción de la reacción en el punto "n" que deduciremos aquí, la acción de la carga uniforme es lo mismo que la acción de la reacción actuando en "n" y por último debemos considerar la acción de las cargas concentradas que es lo mismo que en la primer ecuación y lo tenemos en la ecuación 20, al sumar todas las acciones antes mencionadas obtenemos la ecuación-

final.

A continuación mostraremos la deducción de la ecuación que resulta de la acción de la reacción r_n que actúa en el punto "n".



De acuerdo a la figura anterior el valor del área para este caso es:

$$A = \frac{1}{3} \cdot \frac{r_n d_n^2}{2EI} \quad d_n = \frac{r_n d_n^3}{6EI} = \frac{r_n}{EI} \frac{d_n^3}{6} \quad (24)$$

de la ecuación (1) y por analogía tenemos que $A_n = \frac{d_n^3}{6}$ (25)

Sustituyendo la ecuación (25) en la (24) tenemos finalmente que el área es:

$$A = \frac{r_n}{EI} A_n \quad \text{-----} \quad (26)$$

Ahora tomemos momentos con respecto a "n" y obtenemos - la siguiente ecuación.

$$\theta_1'' l_n - \delta_1'' + \delta_n'' + \frac{1}{4} A d_n = 0 \quad (27)$$

sustituyendo ahora la ecuación (26) en la (27) quedando que:

$$\theta_1'' l_n - \delta_1'' + \delta_n'' + \frac{r_n}{EI} A_n \frac{1}{4} d_n = 0$$

Efectuando operaciones y multiplicando por EI, la ecuación queda como sigue:

$$EI \theta_1'' l_n - EI \delta_1'' + EI \delta_n'' + \frac{1}{4} r_n A_n d_n = 0 \quad (28)$$

Si ahora sumamos los efectos producidos por las reacciones interiores (ecuación (10)) y los producidos por la -- reacción colocada en el punto "n" (ecuación (28)), tenemos que:

$$EI \theta_1'' l_n - EI \delta_1'' + EI \delta_n'' + \sum_{i=1}^n D_{ni} r_i + \frac{1}{4} A_n r_n d_n = 0 \quad (29)$$

para cuando $j = n$

La obtención de la acción de las cargas uniformes, se efectúa de manera semejante a la acción de las reacciones y se hacen las mismas consideraciones.

Por último consideraremos la acción de las cargas concentradas, la deducción hecha anteriormente para la ecuación -

(21), es válida para la ecuación que estamos trabajando, el resultado de dicha ecuación lo tenemos en la ecuación (20).

Si ahora al igual que en la ecuación (21) sumamos los efectos producidos por las reacciones, las cargas uniformes y las concentradas, y si además, consideramos el equilibrio existente entre ellas, podremos formar la segunda ecuación general que es:

$$EI \theta_{1j} - EI\delta_1 + EI\delta_j + \sum_{i=1}^{j-1} D_{ji} r_i + \frac{1}{4} A_n r_n d_n = \sum_{i=1}^{j-1} D_{ji} w_i + \frac{1}{4} A_n w_n d_n + \sum_{k=1}^{m_j} \frac{1}{6} P_k l^3 p_{jk} \quad (30)$$

Donde:

i : posición de los ejes de referencia

$j = n-1$ donde "n" es el número de ejes

m_j : número de cargas concentradas cuando estamos en el punto j

La ecuación (30) es válida para cuando $j = n$.

2.2.4 ECUACION DE EQUILIBRIO DE FUERZAS VERTICALES

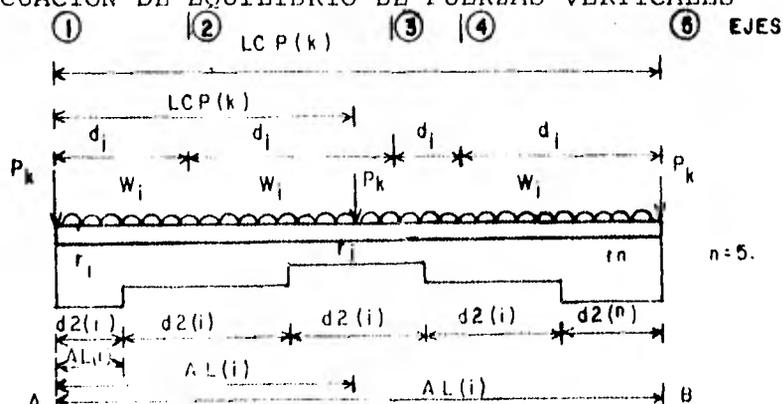


Fig. 2.2.4.1 CONDICIONES DE CARGA

Por equilibrio tenemos que:

$$\sum_{i=1}^n r_i d_2(i) - \sum_{k=1}^{m_j} P_k - \sum_{i=1}^n W_i d_2(i) = 0 \text{ ----- (31)}$$

donde:

n = número de ejes

m_j : número de cargas concentradas

2.2.5 ECUACION DE MOMENTOS

Por último obtendremos la ecuación de momentos, dicha ecuación es el resultado de la acción de las reacciones y cargas sobre nuestra viga, para la deducción de esta ecuación nos basaremos en la figura 2.2.4.1; si tomamos momentos con respecto al punto A (origen) tenemos que:

$$\sum_{k=1}^{m_j} P_k l_{cpk} - r_1 d_2(1) \frac{AL(1)}{2} - \sum_{i=2}^{n-1} r_i d_2(i) AL(i) - r_n d_2(n) (AL(n) - \frac{d_2(n)}{2}) +$$

$$W_1 d_2(1) \frac{AL(1)}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} W_i d_2(i) AL(i) - W_n d_2(n) (AL(n) - \frac{d_2(n)}{2}) = 0 \text{ ---- (32)}$$

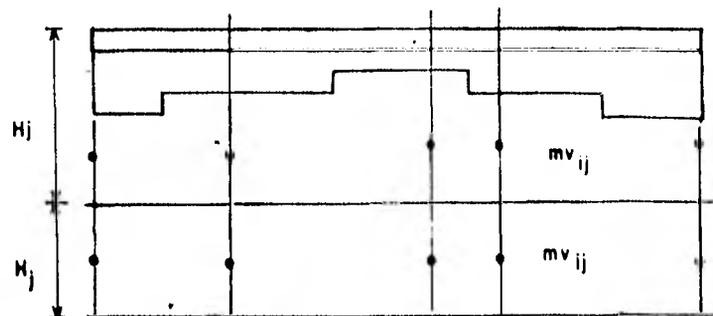
donde:

n : número de ejes

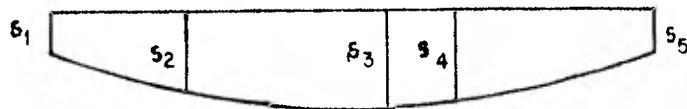
m_j : número de cargas concentradas

2.2.6 CALCULO DE LOS HUNDIMIENTOS DEL SUELO

Ahora calcularemos dos desplazamientos verticales en función de las reacciones, para la estatigrafía y propiedades del subsuelo mostradas en la fig. 2.2.6.1.



a) Cargas, estatigrafía y propiedades.



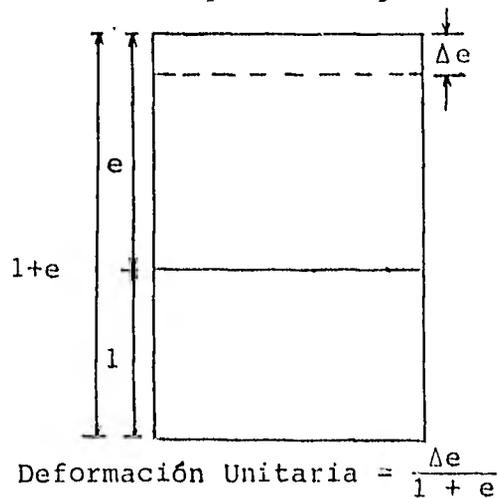
b) Desplazamientos verticales.

n : número total de cargas.

P : número total de estratos.

Fig. 2.2.6.1 DETERMINACION DE LOS DESPLAZAMIENTOS VERTICALES (HUNDIMIENTOS) DEL TERRENO.

Para calcular los desplazamientos debemos recordar que el asentamiento total primario de un estrato de arcilla de espesor H_j , debido este a un proceso de consolidación unidimensional, con flujo vertical, inducido por una sobre carga $\Delta\sigma$ que actúa sobre la superficie del mismo; puede determinarse a partir de los datos de la prueba de consolidación y con la ayuda de la siguiente figura:



ESQUEMA QUE ILUSTRA LA OBTENCION DEL ASENTAMIENTO TOTAL DE UN ESTRATO DE SUELO

Si se representa la disminución del espesor de una muestra de suelo, de espesor total $1 + e$, para un estrato H_j , se podrá escribir como:

$$\alpha = \frac{\Delta e}{1 + e} H_j \quad (33)$$

donde:

α : es la disminución de espesor total del estrato H_j .

Cuando los incrementos de presión $\Delta\sigma$ que se transmiten al suelo varían con la profundidad o en el que la relación $\frac{\Delta e}{1+e}$ varía apreciablemente a lo largo del espesor del estrato, como ejemplo tenemos la preconsolidación en parte de él, por lo anterior se hace necesario expresar la ecuación (33) en forma diferencial y obtener el asentamiento total por medio de un procedimiento de integración a lo largo del espesor del estrato, por lo tanto dicha ecuación podrá escribirse como sigue:

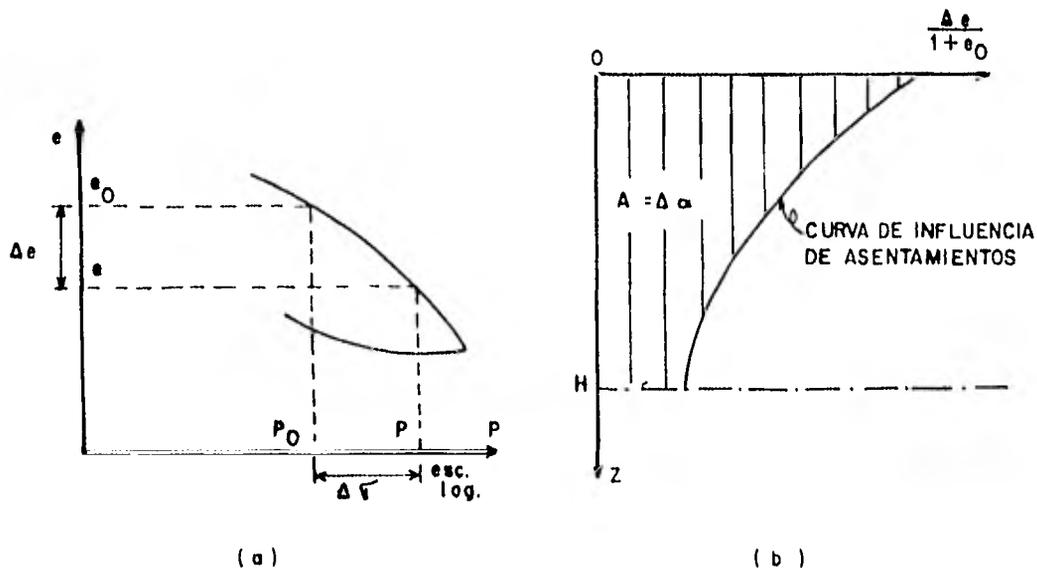
$$d\alpha = \frac{\Delta e}{1+e} dz \quad \text{-----} \quad (34)$$

La cual al integrar queda como:

$$\alpha = \int_0^H \frac{\Delta e}{1+e} dz \quad \text{-----} \quad (35)$$

Si consideramos a la frontera superior del estrato compresible como origen de las z , la ecuación (35) pasa a ser la ecuación general para el cálculo del asentamiento total debido a la consolidación primaria, supuesto un proceso unidimensional de consolidación.

Debido a la naturaleza que resultaría de resolver la ecuación (35), se puede usar un método práctico para el cálculo de los asentamientos, como se muestra a continuación.



MÉTODOS PARA LA OBTENCIÓN DE LA CURVA DE INFLUENCIA DE LOS ASENTAMIENTOS

Cuando se tienen pruebas de consolidación efectuadas sobre muestras inalteradas representativas de un estrato a diferentes profundidades, se tendrá una curva de compresibilidad para cada prueba, dicha curva es representativa del comportamiento del suelo a esa profundidad como se muestra en la figura (a). Sobre esas gráficas podrá llevarse el valor de P_0 , presión actual efectiva del suelo a esa profundidad; con tal valor podrá obtenerse el valor correspondiente e_0 ; a continuación, podrá llevarse, a partir de P_0 , el valor $\Delta\sigma$, determinado según los métodos de distribución del esfuerzo en la masa del suelo, (Teorías de Boussinesq, Carta de Newmark, etc.) y que representa el nuevo esfuerzo efectio

vo que deberá aceptar la fase sólida del suelo cuando éste se haya consolidado totalmente bajo la nueva condición de cargas exteriores, representada por la estructura cuyo asentamiento se calcula. La ordenada del valor $\bar{P} = \bar{P}_0 + \Delta\sigma$, proporciona la "e" final, que teóricamente alcanzaría el suelo a la profundidad de que se trate. Puede determinarse así $\Delta e = e - e_0$ y por lo tanto $\Delta e / (1 + e_0)$.

En la parte (b) se muestra la gráfica $(\Delta e / (1 + e_0)) - Z$, que se traza una vez que se han determinado los puntos por el procedimiento anterior y aplicado para las diferentes profundidades.

De la fórmula (35) notamos que el área entre 0 y H es la representada en la gráfica anterior y se le llama curva de influencia de los asentamientos, y proporciona directamente el valor de α .

En casos especiales los asentamientos pueden calcularse con métodos más simplificados que el anterior. Por ejemplo, para el caso de un estrato compresible, homogéneo, de pequeño espesor, en el que el coeficiente "mv" pueda considerarse constante para el intervalo de presiones que se trabaja, puede escribirse:

$$\alpha = \int_0^H \frac{\Delta e}{1 + e_0} dz = \int_0^H mv \Delta\sigma \cdot dz$$

sabemos que:

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta\sigma} \rightarrow \Delta e = a_v \Delta\sigma \quad y \quad mv = \frac{a_v}{1 + e_0}$$

Por consiguiente:

$$\alpha = \int_0^{H_j} \frac{a_v \Delta \sigma}{1 + e_0} dz; \quad \alpha = \int_0^H \frac{a_v}{1 + e_0} \Delta \sigma dz$$

$$\alpha = \int_0^{H_j} mv \Delta \sigma \cdot dz \quad \text{pero como } mv = \text{cte}$$

$$\alpha = mv \int_0^{H_j} \Delta \sigma dz$$

La integral representa el área de incremento de presiones entre las profundidades 0 y H_j y se puede calcular gráficamente.

Si además puede considerarse constante el espesor H_j - tratado, la fórmula se reduce a:

$$\alpha_{(i,j)k} = mv_{ij} H_j (\Delta \sigma)_{i,j,k} \quad (36)$$

Con la ecuación anterior (36) podemos obtener las deformaciones del suelo en función de las reacciones, es decir, la deformación del cuadro i,j debida a una reacción aplicada en k , de dicha ecuación tenemos que:

$\alpha_{(i,j)k}$: deformación del cuadro i,j debida a una reacción colocada en k .

mv_{ij} : módulo longitudinal de deformación del cuadro i,j .

H_j : espesor del estrato j .

$(\Delta \sigma)_{i,j,k}$: incremento del esfuerzo normal horizontal en el cuadro i,j , debido a la presión r_k/b_k en el contacto cimentación-suelo.

b_k : ancho de la cimentación en el punto k .

El esfuerzo vertical (incremento) lo podemos obtener con la ecuación (36'), como lo podemos ver en la fig. 2.2.6.2.

Pero:

$$(\Delta\sigma)_{i j k} = I_{i j k} \frac{r_k}{b_k} \text{ ----- (36')}$$

siendo $I_{i j k}$: Valor de influencia en el cuadro i, j debido a una presión unitaria colocada en k .

El valor de I_{ijk} se puede determinar calculando el esfuerzo que ocasiona una presión unitaria colocada en el tramo k sobre el cuadro i, j (Zeevaert 1973).

Con lo anterior, la deformación del cuadro i, j debida a todas las reacciones r_k será:

$$\delta_{ij} = m v_{ij} H_j \sum_{k=1}^n I_{ijk} \frac{r_k}{b_k}$$

donde: n : número de cargas aplicadas en la superficie.

El hundimiento bajo el punto i valdrá:

$$\delta_i = \sum_{j=1}^P \delta_{ij}$$

donde P : número de estratos del subsuelo.

Por lo tanto:

$$\delta_i = \sum_{j=1}^P m v_{ij} H_j \sum_{k=1}^n I_{ijk} \frac{r_k}{b_k} \text{ ----- (37)}$$

donde:

P : número de estratos del subsuelo.

La ecuación (37) representa los hundimientos del terreno y como podemos observar estos quedan en función de las reacciones (r_k).

Debemos aclarar que los valores del módulo de deformación del suelo m_{vij} dependen del esfuerzo de confinamiento, el cual no se conoce a priori. Por esta razón, los valores de m_{vij} deben determinarse para un nivel de esfuerzos lo más cercano posible a la realidad, (Zeevaert, 1973), dependiendo este nivel de la experiencia del ingeniero que realiza el análisis. Si posteriormente, se ve que el nivel de presiones considerado en el primer análisis esta muy alejado de la magnitud de los esfuerzos obtenidos después de resolver todo el problema, es probable que hubiera necesidad de volver a calcular los hundimientos del suelo con los valores corregidos del módulo al tomar un nuevo nivel de esfuerzos.

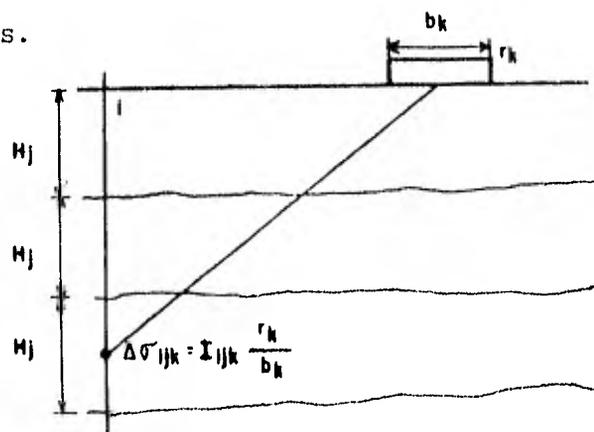


Fig. 2.2.6.2 ESFUERZO VERTICAL EN UN PUNTO

Toda la secuencia descrita es la que tendríamos que --
llevar a cabo para la solución del problema y como podemos-
observar resulta laboriosa la aplicación del método, pero -
con la ayuda de las computadoras todo eso se reduce y en el
capítulo siguiente mostraremos la elaboración del programa-
de computadora para este método.

CAPITULO 3

ELABORACION DEL PROGRAMA DE COMPUTADORA.

3.1 CONSIDERACIONES GENERALES.

En el capítulo anterior se vio la deducción de las ecuaciones generales del método, así como los procedimientos empleados para ello, también se dio una secuencia a seguir para la aplicación del método cuando no se cuenta con una computadora y se dijo que en este capítulo se vería la elaboración de un programa de computadora, ya que usar la secuencia antes mencionada resultaría bastante laborioso, y el uso de una computadora representa numerosas ventajas en la solución de cualquier problema de ingeniería, como lo es el tratado en esta tesis.

En la actualidad y debido al gran avance tecnológico, se han creado microcomputadoras cuyo uso se ha incrementado considerablemente, además de que el acceso a ellas es cada vez mayor, en general el lenguaje usado en estas máquinas es el BASIC y debido a ello veremos un pequeño manual de este lenguaje.

3.2 MANUAL DE LENGUAJE BASIC.

El lenguaje BASIC es un lenguaje de estructura y lógica sencillas; tiene la ventaja de poderse aplicar a problemas administrativos y científicos.

El lenguaje BASIC es un lenguaje de programación que -- tiene gran semejanza con la notación matemática ordinaria; -- este lenguaje tiene un vocabulario sencillo que es fácil de -- entender y de utilizar, lo anterior permite la especificación de programas de forma precisa y completa.

Su nombre proviene de Beginner's All-purpose Symbolic -- Instruction Code, es decir, código de instrucción simbólica -- de fines generales para principiantes.

El BASIC es un lenguaje orientado al procedimiento y no -- orientado a la máquina, comparado con otros lenguajes es más -- sencillo en cuanto a su aprendizaje y uso.

En la actualidad el lenguaje BASIC se ha propagado ya -- que en general se usa en las microcomputadoras, estas máqui-- nas tienen varias ventajas sobre otro tipo de computadoras, -- una de ellas es que tienen pantalla en la cual se pueden ver -- ver y corregir los errores cometidos en ese momento.

Este lenguaje está constituido por elementos básicos --- como son: constantes, variables, arreglos, expresiones y pro-- posiciones. Un programa para la solución de un problema deter-- minado consiste en un grupo de proposiciones formadas por -- expresiones y operadores que siguen reglas previamente esta-- blecidas, a continuación se presentarán los elementos básicos del lenguaje BASIC.

3.2.1 NUMERACION DE RENGLONES.

En un programa codificado en lenguaje BASIC cada renglón se debe numerar; el número se encontrará a principio de cada --

renglón o proposición, este número sirve como una identificación para los diferentes renglones de que este constituido el programa y este número puede estar formado de uno a cinco dígitos.

Es conveniente que los números de proposición en un programa no se repitan ya que la computadora ejecuta en orden -- progresivo cada instrucción, los números de la instrucción no tienen signo.

Antes de proceder a la ejecución del programa la computadora reacomoda en orden progresivo las proposiciones y les da un lugar según el número de proposición correspondiente, por lo anterior podemos decir que las proposiciones se pueden introducir en cualquier orden, no importando en que lugar del programa se encuentren. Por lo tanto se recomienda usar una numeración no consecutiva en los renglones ya que así resulta más fácil intercalar renglones (proposiciones) que se nos --- hayan olvidado.

Cuando se quiere un listado se le pide a la máquina y en dicho listado apareceran ordenadas las instrucciones, según se había mencionado antes.

3.2.2 CONSTANTES.

Una constante es un número cualquiera ya sea entero o -- real, no cambia su valor durante la ejecución del programa, - las constantes enteras no tienen punto decimal, no así las -- constantes reales, que pueden llevar punto decimal en cual--- quier posición.

Las constantes pueden ser positivas o negativas y por lo general en cualquier sistema se tiene como máximo nueve dígitos. El signo "+" es opcional para los números positivos, es decir, una constante sin signo es positiva. La magnitud de una constante puede tomar el valor de cero o bien estar comprendida entre 10^{-75} a 10^{75} , esto depende del tipo de computadora, una cosa que debemos tener en cuenta es que no se admiten comas en los números.

Para números grandes o muy pequeños, se puede usar la notación exponencial, que consiste en poner un número seguido de la letra "E" y de una constante entera, positiva o negativa de uno o dos dígitos, los dígitos nos indican la potencia de 10 por la que se multiplica el número que precede a la letra "E".

3.2.3 VARIABLES.

Las variables pueden tener diferentes valores y estas pueden ser enteras o reales, durante la ejecución del programa se puede hacer referencia al valor de la variable, las variables pueden tener diferentes valores durante el proceso.

Una variable se puede indicar con cualquier letra del alfabeto o por una letra seguida de un solo número comprendido entre cero y nueve, lo que permite un total de 286 posibilidades para la identificación de las variables.

Los valores y rangos de variación de las variables son los mismos que los de las constantes, por lo general todas las variables se inicializan con un valor igual a cero, es

decir, que no es necesario asignarle algún valor cuando su --
valor inicial es cero.

Las proposiciones LET, READ e INPUT, sirven para asignar
valores numéricos a las variables, dichos valores se almace--
nan en la posición o localidad de la memoria de la máquina, -
que se reserva para cada una de las variables.

Se pueden manejar variables alfanuméricas que nos ayudan
en el manejo de los datos alfanuméricos, como pueden ser ----
nombres, direcciones u otra información de identificación. --
Las variables alfanuméricas se indican por medio de una sola -
letra del alfabeto precedida de un signo de pesos (\$), ello -
quiere decir que existen 26 variables alfanuméricas.

3.2.4 ARREGLOS Y SUBINDICES.

En BASIC una variable con subíndice se forma con el nom-
bre del arreglo seguido de paréntesis, en los que se compren-
de uno o dos subíndices separados por una coma.

El nombre del arreglo esta formado por variables, que --
según la computadora de que se trate, el arreglo puede consis-
tir de una o más letras del alfabeto. Con el nombre de la va-
riable con subíndices se hace referencia a un arreglo formado
por un conjunto ordenado de cantidades. El número de subíndi-
ce representa la dimensión del arreglo, por ejemplo: RY(1), --
DE(1,1) son arreglos de una y dos dimensiones respectivamente.

En general a los arreglos de una dimensión se les llama -
arreglos liniales o vectores y a los de dos dimensiones se --
les llama matrices, en donde el primer subíndice identifica -

el renglón y el segundo la columna del elemento considerado. Los subíndices pueden ser constantes, variables o expresiones.

En BASIC se permite que el nombre de un arreglo se use también como una variable en el mismo programa, por lo tanto resulta que C y C(I) son elementos diferentes. Sin embargo una misma letra no puede utilizarse para designar dos arreglos que tengan datos diferentes, es decir, que no por el hecho que los datos varíen, el arreglo es diferente, ya que la máquina identifica el arreglo y luego le asigna el valor.

3.2.5 EXPRESIONES.

Una expresión está definida como una constante, una variable con o sin subíndices, también puede ser una función o bien cualquier combinación de estos elementos, separados por operadores y paréntesis y que cumplen las reglas para formar expresiones, los símbolos de los operadores aritméticos se presentan a continuación:

SIMBOLO	OPERACION
+	Suma o adición.
-	Resta o sustracción.
*	Multiplicación.
/	División.
↑ ó **	Exponenciación.

Los operadores no se pueden encontrar uno junto al otro, considerándose como una excepción el caso de la exponenciación(**) que es solo un símbolo. Cabe observar que para la exponenciación también se puede usar el símbolo ↑ que es gene-

ralmente el que se usa.

El uso de paréntesis al igual que en la notación matemática ordinaria sirven para establecer agrupamientos. Cuando no se indica por completo el orden de las operaciones, el orden de ejecución es el siguiente: en primer lugar se efectúan las exponenciaciones, después las multiplicaciones y divisiones y finalmente las sumas y restas. Sin embargo cuando el nivel de operaciones sea el mismo, por ejemplo multiplicaciones y divisiones, o bien sumas y restas, la ejecución se hace de izquierda a derecha, cuando se tenga duda sobre la ejecución de las operaciones, se recomienda el uso adicional de paréntesis.

Cuando se tiene una exponenciación hay una regla que nos dice que una expresión cualquiera se puede elevar a un exponente real positivo o negativo, pero no se permite que una cantidad (o expresión) negativa se eleve a un exponente real, ya que en general tendremos un resultado complejo, por lo tanto una cantidad negativa no se puede elevar a un exponente entero.

A continuación se presentará una tabla de funciones de uso frecuente, en la cual podemos observar que después del nombre de cada función aparece el argumento dentro de paréntesis. En las funciones SIN, COS, TAN y ATN, el argumento debe estar dado en radianes, en general el nombre de la función consiste en tres letras que preceden al paréntesis en el cual se tiene el argumento.

FUNCION MATEMATICA	NOMBRE
Seno de un ángulo(radianes).	SIN(ARG.)
Coseno de un ángulo(radianes).	COS()
Tangente de un ángulo(radianes).	TAN()
Angulo tangente(radianes).	ATN()
Tangente hiperbólica(radianes).	HTN()
Exponencial.	EXP()
Raíz cuadrada.	SCR()
Valor absoluto.	ABS()
Logaritmo natural.	LOG()
Logaritmo decimal.	LGT()

3.2.6 PROPOSICIONES.

Las proposiciones o instrucciones usadas en lenguaje --- BASIC, pueden ser de los siguientes tipos: aritmética, de --- control, entrada y/o salida, de especificación y de subprogra ma.

Proposición aritmética LET.- se utiliza para especificar las operaciones de cálculo que hay que efectuar, su forma es: LET r=e, donde "r" es una variable con o sin subíndice y "e"__ indica una expresión aritmética. En estas proposiciones el -- signo de igualdad (=) significa remplazo o sustitución, es -- decir, en este caso solo sustituye el valor de "e" o bien, el valor final de todas las operaciones efectuadas en la expre-- sión "e" y dicho resultado se sustituye o almacena en la lo-- calidad identificada por la variable "r", por lo tanto el sig no no debe iterpretarse como el signo igual usado en la nota-

ción matemática ordinaria.

El primer miembro de una expresión siempre debe estar -- compuesto por una sola variable y dicho miembro siempre debe de ir a la izquierda del signo igual.

En la mayoría de los sistemas la proposición LET se puede omitir, ya que va implícita en la proposición aritmética.

-Proposiciones de Control.

Esas proposiciones sirven para especificar el orden de ejecución de un programa. La ejecución de las proposiciones se hace en orden progresivo y dicho orden está indicado por el número del renglón, este orden se modifica al hacer uso de las proposiciones de control, se tienen las siguientes proposiciones de control:

Proposición GOTO.- su forma general es GOTO n; donde "n" es el número de renglón al cual se hace la transferencia, es decir, primero se ejecutan las instrucciones anteriores a la proposición GOTO y de ahí se pasa a ejecutar la instrucción "n" no importando que este antes o después de la proposición GOTO.

Proposición IF-THEN.- esta proposición nos ayuda a alterar el orden de ejecución del programa, dependiendo si la relación entre las expresiones es falsa o verdadera, su forma general es: IF "a" operador de relación "b" THEN n, donde --- "a" y "b" son expresiones que se relacionan por un operador, si la relación entre estas expresiones es verdadera, el control se transfiere a la instrucción "n" y si dicha relación resulta falsa la transferencia se hace al siguiente renglón.

Los operadores de relación son:

SIMBOLO	SIGNIFICADO
=	igual a
<	menor que
>	mayor que
<=	menor o igual a
>=	mayor o igual a
<>	no igual a

Proposición FOR y NEXT.- esta proposición nos ayuda a -- ejecutar repetidamente una serie de instrucciones, que se denomina rango o ciclo de iteración, en cada iteración las variables toman diferentes valores. La proposición FOR es la -- primera del ciclo y la proposición NEXT es la última, la forma general de esta proposición es:

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

```
  .
```

```
  .
```

```
NEXT R
```

donde R es una variable, generalmente se le llama índice, que debe ser la misma para las proposiciones FOR y NEXT y a, b y c indican cualquier expresión válida en BASIC.

En la primera ejecución de las instrucciones, la variable "R" toma el valor de "a", y para cada repetición del índice "R" se recalcula incrementándole al valor de "a" acumulativamente el valor de "c", hasta obtener el valor de la expresión "b". El incremento de "c" puede ser positivo o negativo; si es positivo las iteraciones se ejecutan hasta el valor máximo

del índice que no exceda (menor o igual) al valor de la --
expresión "b" y si el incremento del valor de "c" es negativo,
las iteraciones se ejecutan hasta el valor último del índice_
sea mayor o igual al de la expresión "b", cuando se ejecuta -
el ciclo iterativo por última vez, el control se transfiere -
a la proposición que se encuentre inmediatamente después de -
la proposición NEXT.

Cuando el incremento es igual +1, se puede omitir la par_
te STEP c, quedando la proposición FOR como sigue:

```
FOR R=a TO b
```

Cuando el valor inicial de la expresión "a" sea mayor --
que el valor final de la expresión "b" (o menor si el incre--
mento "c" es negativo) el ciclo no se ejecuta y la transferen_
cia se hace a la proposición que va después de la proposición
NEXT.

Proposición STOP.- nos permite hacer la terminación de -
un programa en una proposición dada, es decir, interrumpe la_
ejecución de un programa dando resultados hasta donde se hizo
la interrupción.

Proposición END.- es físicamente la última proposición -
de cualquier programa, por lo tanto la proposición END debe -
tener el número de renglón mayor en todo el programa.

Proposición REM.- permite la inserción de comentarios en
el programa, no tiene ningún efecto en la ejecución del progra_
ma, esta proposición nos puede servir para la identificación_
de algunas partes del programa. Los comentarios pueden ir en_
cualquier parte del programa.

-Proposiciones de Entrada/Salida.

Estas proposiciones controlan la transferencia de información entre la computadora y las unidades terminales de entrada y salida, la información se transmite en grupos de datos compuestos por uno o varios registros, cada uno de los cuales esta, formado por elementos. Algunos ejemplos de estos registros son los renglones impresos, tarjetas o cintas de papel perforadas o las imágenes de esta información en disco o cinta magnética y tenemos las siguientes proposiciones:

Proposición READ y DATA.- estas proposiciones asignan los valores numéricos de las variables que se usen en el programa y siempre van una con otra, su forma general es la siguiente:

READ lista de variables

DATA lista de constantes

En la proposición READ se indican los nombres de las variables de los datos de entrada, las variables van separadas por comas y se debe especificar el orden para que cuando se introduzca la proposición DATA, las constantes también se coloquen en ese orden.

La proposición DATA se puede encontrar en cualquier parte del programa, pero en general se agrupa antes de la proposición END.

Proposición INPUT.- esta proposición permite la entrada de datos, en tanto se esta corriendo el programa, la utilidad que se presenta, es que el programa puede ser usado por otra persona y solo se cambian los datos de entrada, su forma gene

ral es:

INPUT lista de variables

aquí la lista de variables indica los nombres de estas, cuyos valores se introducen por medio del teclado.

Proposición PRINT.- es una proposición que permite la -- impresión de la información, su forma general es:

PRINT lista de elementos

donde la lista de elementos pueden ser variables, expresiones, resultados de cálculos numéricos, impresión de mensajes o -- títulos, saltar renglones en blanco para espaciamiento vertical de la información y mayor facilidad en la lectura, o bien, la combinación de los elementos anteriores.

Si la lista de elementos al usar la proposición PRINT la separamos por medio de comas, la impresión divide al renglón_ en cinco campos o zonas, procediendo de izquierda a derecha, - cada zona tiene asignadas quince columnas o caracteres, es -- decir, un total de setenta y cinco caracteres por renglón. La coma es una señal que indica que la impresión se debe desplazar al campo o zona que sigue. En el caso que se utilice la - quinta y última zona del renglón, la impresión continúa en la primera zona del renglón siguiente.

Cuando las variables o elementos en esta misma proposi-- ción se separan por punto y coma, las zonas de impresión se - reducen, las nuevas zonas son de tres columnas para números_ de un dígito, de seis columnas para números de dos dígitos a_ cuatro dígitos, de nueve columnas para números de cinco a --- siete dígitos y de doce columnas para números de ocho a diez_

dígitos. Esta distribución varía según el sistema. Sin embargo, la primera columna de cualquier zona de impresión, se reserva para el signo, dicho signo solo se imprime cuando es menos.

Los números enteros se imprimen sin punto decimal, para los números reales solo se consideran seis dígitos significativos, no imprimiéndose los ceros después del último dígito significativo que se encuentra a la derecha del punto decimal. Los números enteros iguales o mayores que 2^{30} ó 10^9 , según sea el sistema, se imprimen usando la notación "E" (notación científica), esta notación también se usa para números decimales menores de 0.1 y que exceden de seis dígitos significativos, esta notación consiste de un dígito seguido de un punto decimal y cinco dígitos seguidos de la letra "E" y de una constante entera, positiva o negativa, de uno o dos dígitos, que indican la potencia de diez por la que se multiplica el número que precede a la letra "E".

Función TAB.- es una función de impresión y especifica la posición de la impresión, su forma es:

TAB (impresión)

en donde la expresión se calcula y se utiliza solo la parte entera para definir la posición de inicio de la impresión. La función TAB se usa con la proposición PRINT, por ejemplo:

```
44 PRINT X1; TAB (15); X2; TAB (25)
```

produce que una vez impreso el valor de X1, la impresión se reinicie en la columna 15 para la variable X2.

Proposición PRINT USING.- sirve para obtener una impre--

sión de la información con un formato específico, su forma es:

```
PRINT USING n, lista
```

donde "n" es el número de renglón de la proposición asociada de máscara o imagen, la palabra "lista" se refiere a las constantes, números, variables (numéricas y alfanuméricas) y funciones, separadas por comas y cuya impresión se desea.

La máscara o imagen; define el formato de la impresión mediante el uso de caracteres de control y constantes de impresión, por ejemplo:

```
PRINT USING "###.##"; X2
```

donde los "###.##" nos indican el formato de impresión para la variable "X2" donde se requiere para dicha variable tres enteros y dos decimales, es necesario un USING para cada elemento con formato.

-Proposiciones de Especificación.

Proposición DIM.- es una proposición de especificación que proporciona información al compilador con respecto a la naturaleza y características de determinados arreglos.

Esta proposición se considera no ejecutable ya que no genera instrucciones en el programa objeto, en la mayoría de los sistemas debe preceder a la primera proposición ejecutable del programa fuente. Por regla general, una proposición que describe datos debe anteceder a cualquier otra proposición que se refiera a esos datos, aunque en algunos sistemas no se cumple con dicha regla.

Cuando un arreglo no está dimensionado la máquina reserva automáticamente diez localidades por subíndice, si los

los arreglos de un programa no exceden de diez en sus subíndices, se puede omitir la proposición DIM, o especificar la dimensión de dichos subíndices, ya que así se ahorra espacio de memoria y este ahorro se puede utilizar para aumentar la capacidad de un programa (ampliar el programa si es necesario).

En los arreglos bidimensionales o matriciales, el primer subíndice define el número de renglones y el segundo el número de columnas de dicho arreglo.

-Proposiciones de Subprogramas.

Proposición GOSUB.- esta proposición nos ayuda a hacer una transferencia del programa principal a la subrutina, su forma es:

GOSUB n

donde "n" es el número de renglón al cual se hace transferencia de control.

En cuanto se ejecutan las proposiciones de la subrutina el control regresa a la proposición inmediata que está después de la proposición GOSUB. Si es necesario se puede hacer la transferencia a la misma subrutina las veces que sea necesario.

Proposición RETURN.- con esta proposición se especifica que las operaciones de cálculo de una subrutina han terminado y que el control debe regresar a la proposición inmediata que se encuentre después de la proposición GOSUB que hizo referencia a la subrutina.

La proposición RETURN siempre va colocada al final de la subrutina, se permite la existencia de varias proposiciones -

RETURN en una misma subrutina, también en un programa se pueden tener varias subrutinas y dentro de las mismas subrutinas hacer referencia a otra de ellas.

Los datos del programa se pueden poner antes de la subrutina o subrutinas pero siempre antes de la proposición END de fin del programa.

Proposición CALL.- con esta proposición se puede usar un programa externo como una subrutina, su forma es:

CALL nombre del programa

donde nombre del programa, especifica cual es el programa al cual se hace referencia, se puede aplicar a programas de biblioteca, los nombres de los programas se forman con un máximo de seis caracteres alfanuméricos, se requiere que el primer caracter del nombre sea una letra, esto sucede en la mayoría de los sistemas.

Con el uso de esta proposición se tiene la ventaja de -- que la numeración de los programas es totalmente independiente, es decir, que no importa que tengamos números iguales en los programas ya que serán diferentes pues cada programa es independiente.

-Características Especiales.

En esta parte veremos algunas características especiales del lenguaje BASIC, tales como proposiciones aplicables al manejo de las variables alfanuméricas, la notación en el manejo de matrices y algunas proposiciones implantadas en algunos -- sistemas y que no son de uso generalizado.

Variables alfanuméricas.- permiten el procesamiento de -

datos alfanuméricos, como pueden ser nombres, direcciones,--- etc., la manera de indicarlas es usando una letra del alfabeto seguida del símbolo de pesos(\$), por tanto existen veintiseis nombres de variables alfanuméricas. Cada variable alfanumérica permite tener un máximo de quince caracteres o espacios disponibles para su identificación.

Para definir variables alfanuméricas en un programa, se pueden utilizar las proposiciones LET, READ e INPUT.

Cuando usamos la proposición LET, la máquina asigna un nombre o título a la variable alfanumérica, con la proposición READ, la máquina lee la variable o variables que se indican en dicha proposición y si usamos la proposición INPUT, debemos introducir la variable o variables alfanuméricas cuando se imprima el signo ? .

No se pueden efectuar operaciones aritméticas con variables alfanuméricas y solo se permite una variable alfanumérica a la derecha de un signo igual, se pueden usar subíndices en variables alfanuméricas siempre y cuando estas sean de una dimensión.

Matrices.- en el manejo de matrices el lenguaje BASIC -- tiene una característica distintiva y poderosa, las matrices, siendo arreglos bidimensionales, su nombre puede ser cualquier letra del alfabeto, su tamaño se debe especificar con una proposición DIM.

Las dimensiones de las matrices pueden redefinirse posteriormente en el programa, pero se debe tener cuidado en no -- exceder el espacio reservado para cada matriz en la proposi--

ción DIM.

Para el manejo de arreglos matriciales, debemos considerar que la lectura de los datos se hace por renglones, es importante verificar que las matrices involucradas en una operación sean confortables, es decir, que tengan las dimensiones adecuadas para efectuar la operación que se requiera, por ejemplo, si se trata de una suma de dos matrices es necesario que dichas matrices tengan el mismo número de renglones y de columnas dando como resultado una matriz del mismo orden, es decir, el mismo número de renglones y de columnas.

3.2.7 COMANDOS

En las secciones anteriores se trataron de manera general los aspectos del lenguaje BASIC, aquí hablaremos de manera particular de algunas teclas y comandos que se usan en la computadora RADIO SHACK TRS 80 que es la computadora en la cual se realizó el programa para el método de interacción suelo-estructura, primero hablaremos de algunas teclas importantes y son:

La tecla ENTER, sirve para que la computadora interprete lo que se le este tecleando.

La tecla SHIFT, al oprimirse esta de manera simultánea con una tecla que tenga dos símbolos impresos, se producirá o se imprimirá el símbolo que este en la parte superior de dicha tecla.

La tecla BREAK, sirve para interrumpir entre otras cosas la ejecución del programa.

La tecla CLEAR borra todo lo que este en la pantalla.

COMANDOS

Los comandos son instrucciones que, generalmente se --
efectúan fuera de un programa y hacen que la computadora --
realice una acción determinada, los comandos no llevan núme --
ro de instrucción, a continuación mencionaremos los coman --
dos usados en la computadora RADIO SHACK TRS-80.

AUTO ENTER.- después de escribir la palabra auto y luego
de presionar la tecla enter, aparece el --
número secuencial del programa empezando -
en 10 y aumentando de 10 en 10.

si cuando se teclea un programa nos equivocamos en una línea,
para corregirla basta con teclear nuevamente el número de -
la línea y el texto correcto, presionando finalmente la --
tecla ENTER.

BREAK.- es también un comando que interrumpe la secuen --
cia del programa.

LIST .- después de teclear la palabra list y luego de -
presionar la tecla enter, aparece el listado --
del programa.

RUN .- después de teclear la palabra run y luego de --
presionar la tecla enter corre el programa y --
aparecen los resultados.

NEW .- después de teclear la palabra new y luego de --
presionar la tecla enter, se borra completamen --
te el programa de la memoria de la computadora-
(y aparece en la pantalla la palabra READY).

SAVE "n".- este es un comando que nos permite grabar un programa en un disco, en donde "n" representa el nombre del programa que vayamos a grabar.

LOAD "n".- este comando sirve para cargar o sacar un programa del disco y tenerlo en la pantalla.

DELETE n-m.- este es un comando que nos borra una línea o varias de ellas, donde n es el número de instrucción a partir de la cual se quiere borrar y m es el número de la instrucción hasta la cual se quiere borrar.

3.3 PROGRAMA DE COMPUTADORA.

3.3.1 GENERALIDADES.

En el capítulo 2, se obtuvieron las ecuaciones generales del método interacción suelo-estructura propuesta por el Ing. Agustín Deméneghi Colina; en la práctica resulta laboriosa la aplicación de dichas ecuaciones y, de acuerdo a lo anterior y pensando en lo fácil que resulta el uso de una computadora para la realización de este tipo de cálculos se formuló un programa de computadora que nos ahorrará tiempo en la solución de problemas similares, el lenguaje de dicho programa es el BASIC.

En la actualidad se tiene mayor acceso al uso de una computadora, ya que estas se han desarrollado bastante debido a los avances tecnológicos actuales y presentan ventajas en cuanto a su uso y manejabilidad se refiere, estas computadoras (microcomputadoras) están diseñadas generalmente

para que manejen el lenguaje BASIC, dicho lenguaje presenta ventajas con respecto a otros lenguajes ya que es mucho más sencillo en cuanto a su aprendizaje y uso.

Para la aplicación del programa debemos hacer algunas-- consideraciones al introducir los datos a la computadora, -- para ello nos ayudaremos de una figura y explicaremos lo -- que significa cada una de las variables usadas.

La figura 3.3.1.1 representa a toda la estructura, es -- decir, es la viga equivalente y por supuesto lo son también sus características; primero dividiremos a la viga en tramos no importando el número de ellos, en la figura dichos tramos están denominados con la variable $D_1(I)$, las fronteras que se forman al hacer esta división serán nuestros ejes o puntos de referencia, es conveniente que estos ejes se numeren de izquierda a derecha empezando con el número 1, como se muestra en la figura 3.3.1.1. El número de ejes es igual -- al número de las reacciones, la configuración de las reacciones se muestra en la figura 3.3.1.1 la magnitud o longitud de las mismas la denominamos $D_2(I)$.

La carga uniformemente repartida es la equivalente a la que se tenga en toda la estructura, y tiene la misma longitud que la reacción correspondiente, esto se puede apreciar en la figura 3.3.1.1 y dicha carga la denominaremos $W(I)$.

Las cargas concentradas, están formadas por las columnas o muros de carga que se tengan en la estructura, dichas cargas concentradas las referiremos al punto inicial, es decir, al punto número 1 y la variable que le asignaremos será --

LCP (K), que es la distancia que hay entre una carga determinada y el punto número uno.

3.3.2 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA.

El lenguaje de codificación usado es el BASIC, este programa se estructuró por bloques para su mayor facilidad de manejo y de identificación de las variables cuando fuere -- necesario hacer algún cambio o corrección.

El primer bloque está formado por la lectura e impresión de los datos, en las ordenes de impresión se asocia el --- valor numérico con el título del concepto correspondiente, -- los datos que se le dan a la computadora son:

M: es el número de cargas concentradas, que como ya se -- dijo son las columnas o muros de carga y resulta de bajar -- las cargas hasta saber cual es la magnitud de carga en cada columna o muro, esta variable es adimensional.

N: es el número de ejes que resulta de la división que -- se haga de la viga, conviene que dicha división se haga -- según la forma de la estructura, es decir, que si la estruc -- tura tiene una variación de niveles en toda su longitud, -- conviene que el punto donde halla dicha variación sea uno -- de los ejes y no importa en cuantos tramos se haga dicha -- división, la variable "N" es adimensional.

EI: es el producto del módulo de elasticidad equivalen -- te por el momento de inercia, para determinar este producto equivalente se supone un eje neutro a la mitad de la altura de la estructura y, con respecto al cual se determina el --

producto "EI" para losas extremas e intermedias y para ---
muros, finalmente se suman dichos productos obteniéndose el
producto EI equivalente final, esto lo podremos apreciar en
el ejemplo número uno, las unidades de esta constante serán,
toneladas-metro cuadrado (TON-M²).

Bl(I): se refiere al ancho de la cimentación que estará
dada en, metros, se tendrán tanto valores como número de --
ejes.

W (I): es la magnitud resultante de la carga uniforme-
mente repartida sobre la viga, y tendremos N valores que --
estarán dados en toneladas por metro (TON/M).

P (K): es la magnitud de las cargas concentradas que --
están actuando sobre la viga y que como ya se dijo antes, --
es el resultado de bajar las cargas a las columnas y a los-
muros, conviene que las cargas concentradas se numeren de --
la misma manera que se hizo la numeración de los ejes, es --
decir, de izquierda a derecha, las unidades son, toneladas-
(TON) y tendremos "M" cargas concentradas.

MC(J): es un contador de las cargas concentradas y con-
siste en dar el número de cargas que se tengan a la izquier-
da del eje (punto) en el que nos encontremos, esto se hace-
para todos los ejes que hayan resultado de la división de --
tramos de la viga, para dicho contador empezamos desde el --
eje número 2 hasta N que resulta ser el número de datos que
se deben introducir a la máquina, esta variable es adimen-
sional.

LCP(K): se refiere a la longitud existente entre las cargas concentradas y el punto de origen (punto número uno) como se puede apreciar en la figura 3.3.1.1, el número de estos datos está dado por el número de cargas concentradas, es decir, su variación va desde que $k=1$ hasta M .

Dentro del bloque número uno tenemos también los datos referentes al suelo, primero tenemos la variable NP que se refiere al número de estratos considerados y es adimensional, luego tenemos el espesor de cada estrato que denominamos $H(J)$, tendremos tantos valores de $H(J)$ como número de estratos tengamos (NP), ésta variable está dada en metros; otra variable que tenemos es el módulo de deformabilidad y que denominamos $MV(I,J)$, donde el subíndice "I" nos indica bajo que punto estamos y --- varía desde 1 hasta N, el subíndice "J" se refiere al estrato que estamos considerando y varía desde 1 hasta NP, las unidades del módulo de deformabilidad son metros cuadrados por tonelada (M^2/TON), en la figura 3.3.1.2 podemos apreciar lo anterior y ver que los puntos considerados se toman bajo el punto correspondiente y a la mitad del espesor del estrato considerado.

En el bloque número dos tenemos el cálculo y la impresión de las longitudes de carga que denominamos como $D2(I)$ y que --- son las longitudes de las reacciones, tendremos tantas longitudes de carga como ejes; para determinar estas longitudes la ley a seguir es: cuando estemos en el punto número uno, la --- longitud de carga que corresponde a dicho punto resulta -----

ser la mitad de la longitud del tramo correspondiente ($D2(I) = D1(I) * 0.5$), para cuando estamos en el punto dos -- hasta el penúltimo punto ($N-1$), la longitud de carga correspondiente al punto en que estemos, es igual a la mitad de la longitud del tramo anterior más la mitad de la longitud del tramo correspondiente ($D2(I) = D1(I-1)*0.5+D1(I)*0.5$) y finalmente la longitud de carga para el último punto ($I = N$) resulta ser la mitad de la longitud del tramo anterior -- ($D2(I) = D1(I-1)* 0.5$).

En el bloque número tres se tiene el cálculo de la longitud a los puntos de referencia $L1(I)$, estas longitudes son las que hay entre el origen y los demás puntos (ejes) y las denominamos como $L1(I)$, esto lo podemos ver en la figura 3.3.1.1.

El cuarto bloque se refiere al cálculo de las longitudes relativas, a estas longitudes las denominamos como $LR(J,1)$ y son las distancias que existen entre un eje determinado y el extremo derecho de una carga o reacción determinada.

En este bloque también se calculan los elementos $A(I)$, $B(J,I)$ $C(J,I)$ y $D(J,I)$ que se obtuvieron como las ecuaciones 1, 3, 5 y 9 en el capítulo dos y que son parte de las ecuaciones generales del método tratado, las tres primeras variables nos representan el valor de las áreas que se forman al considerar la acción de una carga en un punto determinado de la viga, el subíndice "I" se refiere a la carga y el subíndice "J" se refiere al punto considerado, la variable $D(J,I)$ es el resultado que obtenemos al determinar los

momentos producidos por estas áreas en la viga conjugada y con respecto a un punto "j" determinado.

El quinto bloque se refiere al cálculo de las longitudes existentes entre cada uno de los ejes de referencia y todas las cargas concentradas que se encuentren a la izquierda del eje en cuestión, dicha distancia la denominamos como $LP(J,K)$, donde el subíndice "J" nos indica el eje donde nos encontramos y el subíndice "K" nos indica cual es la carga concentrada que se esta considerando.

El bloque número seis se refiere al cálculo de las ecuaciones generales del método, antes ya se habían calculado algunos parámetros que intervienen en las ecuaciones generales, ahora conviene que para formar las ecuaciones generales sustituycamos estos parámetros en dichas ecuaciones, primero tenemos la ecuación uno que es válida para $2 \leq J \leq N - 1$ y que es la siguiente:

$$EI \theta_1 l_j - EI \delta_1 + EI \delta_j + \sum_{i=1}^{j-1} D_{ji} r_i + \frac{1}{64} A_j d_j r_j =$$

$$= \sum_{i=1}^{j-1} D_{ji} W_i + \frac{1}{64} A_j w_j d_j + \sum_{k=1}^{m_j} \frac{1}{6} P_k l_{p_{jk}}^3$$

(ecuación # 21 capítulo 2)

En la ecuación anterior las incógnitas que tenemos son los giros, los desplazamientos y las reacciones; estas variables tienen asociado un coeficiente que ya antes ha sido calculado, así que la codificación del programa se hace de tal manera que la computadora asocie el coeficiente corres-

pendiente, dando como resultado la codificación total de la ecuación, quedando de la siguiente forma:

Primer Miembro

$$\begin{aligned} T(1, KE) &= EI * L1(J) \\ DE(1, KE) &= -EI \\ DE(J, KE) &= EI \\ R(I, KE) &= D(J, I) \\ R(J, KE) &= A(J) * D2(J)/64 \end{aligned}$$

Segundo Miembro

$$\begin{aligned} RE(KE) &= RE(KE) + D(J, I) * W(I) \\ RI(KE) &= A(J) * W(J) * D2(J)/64 \\ RY(KE) &= RY(KE) + P(K) * LP(J, K) + 3 \\ B2(KE) &= RE(KE) + RI(KE) + RY(KE)/6 \end{aligned}$$

En las variables que corresponden al primer miembro de la ecuación, podemos apreciar que cada una de ellas tiene dos subíndices, el primero corresponde a la variable misma - mientras que el segundo corresponde al número de ecuación - de que se trate, por ejemplo:

$T(1, KE)$: es el giro en 1 (θ_1) de la ecuación KE.

EI: es el producto del módulo de elasticidad y el momento de inercia.

$L1(J)$: es la longitud al punto "J".

En el segundo miembro de la ecuación tenemos las variables que solo tienen un subíndice y que corresponde al número

ro de ecuación, dichas variables son de hecho constantes que solo estan dentro de una sumatoria hasta obtener un valor - total, por ejemplo.

$$RE(KE) = RE(KE) + D(J,I) * W(I)$$

RE(KE) : variable que nos acumula el producto de D(J,I) y W(I) que ya han sido calculados.

El tener en los dos miembros de esta igualdad la variable RE(KE), significa que a cada nuevo valor de RE(KE) se - le debe sumar el valor anterior para RE(KE), hasta obtener un valor final y lo mismo se hace para las demás variables - del segundo miembro de la ecuación.

Finalmente y después de efectuar las operaciones indica - das en el segundo miembro de la ecuación obtenemos una cons - tante que la computadora guarda en la variable B2(KE); donde KE se refiere al número de ecuación correspondiente. En este mismo bloque y como ya se mencionó antes también se calcula la ecuación válida para cuando J = N y que corresponde a la ecuación # 30 del capítulo 2, para esta ecuación se hicie - ron las mismas consideraciones hechas para la ecuación 21.

El bloque número siete se refiere al cálculo de las lon - gitudes acumuladas y que denominamos como AL(I), para la -- primera y la última carga esta longitud es la que existe -- entre el punto inicial y el punto final de la carga corres - pondiente, para las cargas intermedias la longitud es la -- que hay entre el origen y el punto en cuestión como se --- muestra en la figura 3.3.1.1.

El bloque número ocho se refiere al cálculo de las profundidades acumuladas, dichas profundidades las denominamos como AH(J); donde el subíndice "j" se refiere al número de estrato hasta el cual se esta midiendo la profundidad, estas profundidades son consideradas hasta la mitad del estrato-- en cuestión como se muestra en la figura 3.3.1.2.

En el bloque número nueve se calculan todas las longitudes que hay entre el punto inicial y todos los ejes que se tengan, dichas longitudes estan en función de las longitudes acumuladas (AL(I)) que se obtuvieron en el bloque número 7, en este mismo bloque se calculan las longitudes que hay entre un eje (punto) determinado y todos los puntos a la derecha del mismo, a estas distancias las denominamos -- como L (J,I), donde los subíndices "J" e "I" se refieren a los ejes que se estan considerando, estas longitudes servirán para el cálculo de los valores de influencia, ya que -- con dichas longitudes se calcula la longitud real y virtual que se considera al calcular los valores de influencia.

En el bloque número diez se tiene el cálculo de los -- valores de influencia para los diferentes casos, este cálculo se hace con la ayuda de la fórmula de Boussinesq. Los valores de influencia se determinan al calcular el esfuerzo -- ocasionado por una presión unitaria en una área determinada, la fórmula de Boussinesq es aplicable para cargas uniformes-- y dicha fórmula es la siguiente:

$$\sigma_z = \frac{w}{4\pi} \left(\frac{2xyz(x^2+y^2+z^2)^{1/2}}{z^2(x^2+y^2+z^2)+x^2y^2} \right) * \frac{x^2+y^2+2z^2}{x^2+y^2+z^2} + \tan^{-1} \frac{2xyz(x^2+y^2+z^2)^{1/2}}{z^2(x^2+y^2+z^2)-x^2y^2}$$

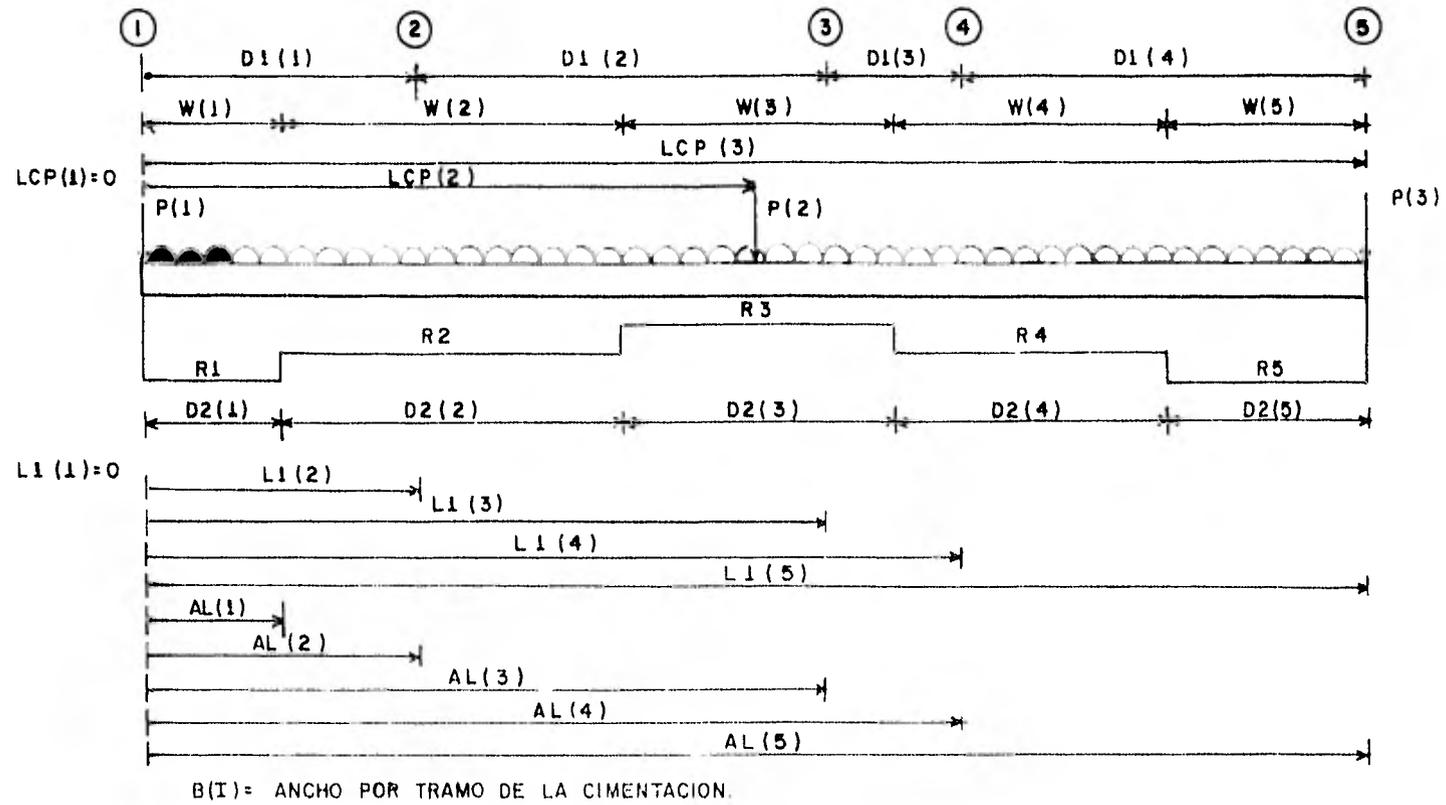
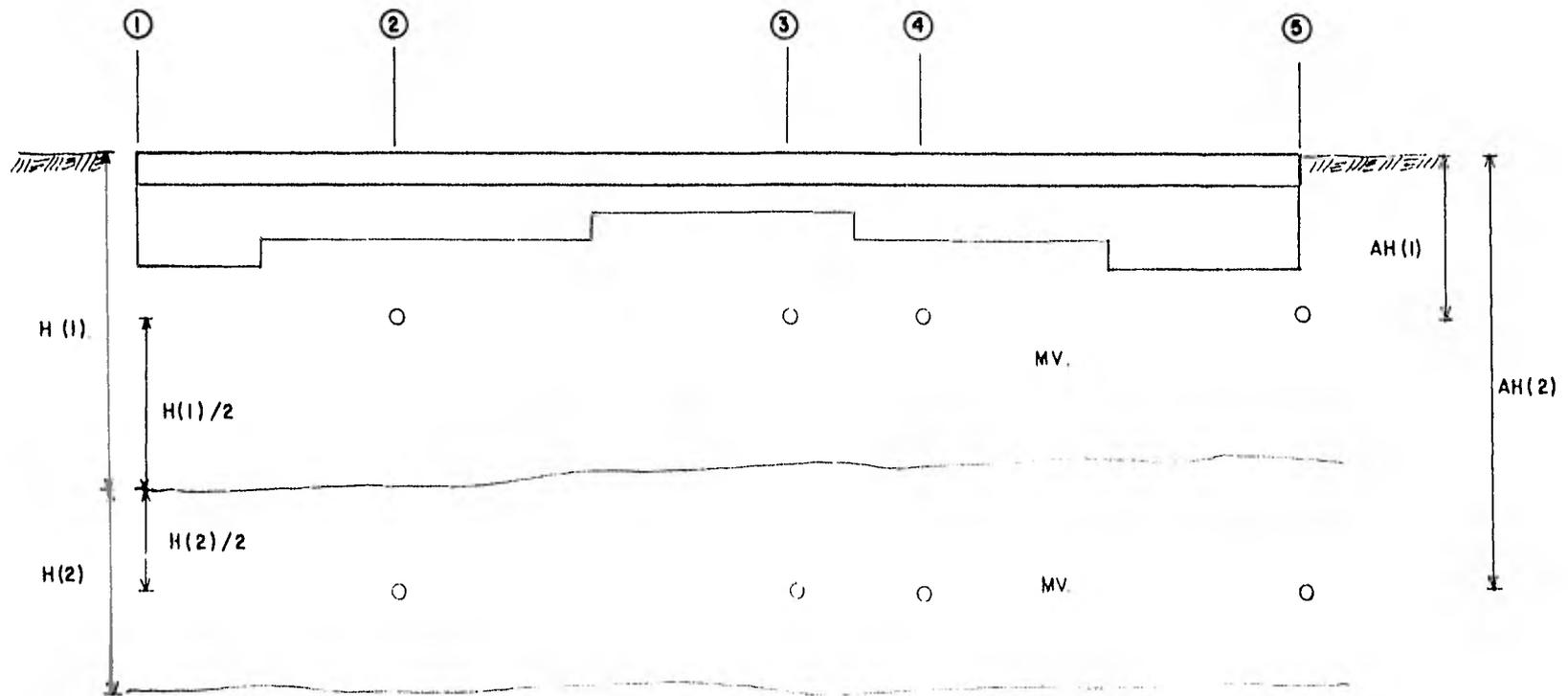


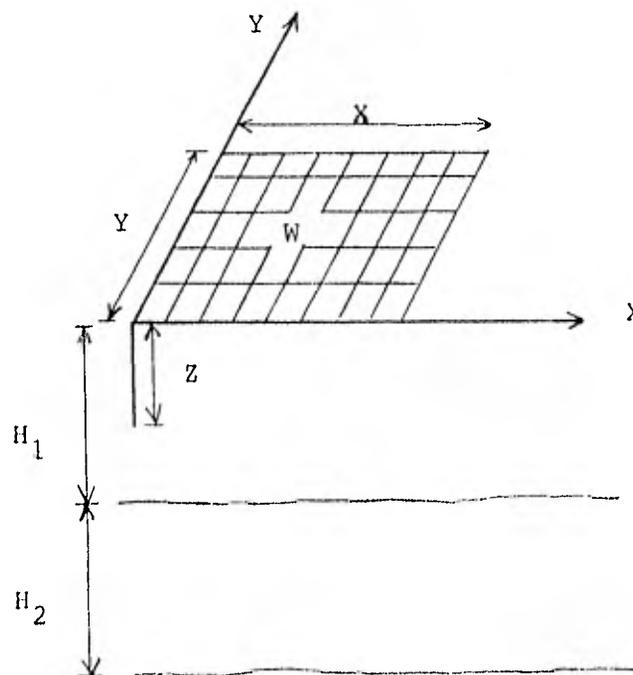
Fig. 3.3.1.1. NOTACION



ESTATIGRAFIA
 FIG. 3.3.1.2.

Existen otros métodos para el cálculo de los valores de influencia como lo son la carta de Newmark, las gráficas de Fadum y el mismo Boussinesq, pero la aplicación manual de cualquiera de ellas resulta demasiado laboriosa, por lo cual haremos uso de la computadora, de los métodos mencionados el más adecuado para aplicarlo en computadora resulta ser el de Boussinesq.

Con la fórmula de Boussinesq mencionada anteriormente, obtendremos los valores de los esfuerzos correspondientes a un punto bajo una de las esquinas de la carga y a la mitad del espesor del estrato correspondiente como se puede ver en la siguiente figura.



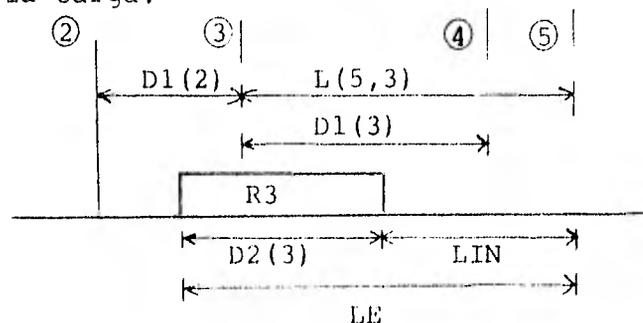
Para la aplicación del procedimiento descrito aquí y para cumplir la condición de Boussinesq de tener el punto bajo la esquina de la carga, consideraremos para los cálculos la mitad del área, esto es la mitad del ancho total, así calculamos el esfuerzo debido solo a la mitad del área y al duplicarlo obtendremos el esfuerzo correspondiente al área total.

Cuando se requiere calcular el esfuerzo bajo la carga pero, el punto no coincide con el centro de la misma, es decir, tenemos tramos asimétricos que resultaron de la división de la viga; se calculan los esfuerzos por separado, de acuerdo al procedimiento descrito antes, el valor final será la suma de los dos esfuerzos calculados de manera independiente.

Cuando se requiere calcular el valor del esfuerzo en un punto que esta fuera del área se hace de la siguiente forma: primero se determina el esfuerzo que produce la mitad del área y se considera una longitud exterior, dicha longitud es la que hay entre el extremo exterior del área y el punto en cuestión, obteniéndose así un primer valor, el segundo valor se determina considerando ahora una longitud interior que es la que hay entre el borde interior del área y el punto, finalmente si al valor obtenido con la longitud exterior le restamos el valor obtenido con la longitud interior obtendremos el valor correspondiente al área cargada y si lo multiplicamos por dos obtenemos el esfuerzo total en el punto.

Para la obtención de las longitudes externas e internas, que se requieren en el cálculo de los valores de influencia se hace de la siguiente manera: en el bloque número siete se-

obtienen las longitudes acumuladas ($AL(I)$), con las longitudes acumuladas se obtienen las longitudes con respecto al punto inicial $L(J,I)$ que se calculan en el bloque número nueve, cuando tenemos una carga con una longitud $D2(I)$ y un punto -- cuya distancia a ésta es $L(J,I)$, la longitud exterior la obtenemos al sumar la distancia $L(J,I)$ más la mitad de la longitud de tramo que hay entre el punto en que estamos y el punto anterior, la longitud interior la obtenemos haciendo la diferencia que hay entre la longitud $L(J,I)$ y la mitad de la longitud de tramo $D1(K)$ que corresponde a la existente entre el punto en cuestión y el punto siguiente, a la longitud externa la denominamos LE mientras que la interna la llamamos LIN , lo anterior es para la consideración de los puntos que están a la derecha de la carga pero se hacen las mismas consideraciones para los puntos a la izquierda de la carga, en la siguiente figura se muestra el caso de los puntos que están a la -- derecha de la carga.



$F(5,1,3)$: Valor de influencia en el punto(5) para el estrato(1) debido a la carga(3).

Los valores de influencia los denominamos como $F(I,J,K)$; - donde el subíndice I , nos indica el punto considerado, el subíndice J , indica el estrato para el cual se esta obteniendo - el valor y el subíndice k , se refiere a la carga que esta provocando el esfuerzo, como se muestra en la figura anterior. El cálculo de los valores de influencia se hace de la instrucción 1350 a la instrucción 2450 y la impresión de los mismos - de la instrucción 2460 a la instrucción 2550.

En el bloque número once se calculan los desplazamientos - del suelo, para ello se codificó la fórmula número 37 del -- capítulo dos, en esta fórmula se obtienen los desplazamientos bajo un punto para todos los estratos, dichos desplazamientos quedan en función de las reacciones y los llamamos $Q(K,I)$, -- donde el subíndice k , nos indica a que carga se debe dicho -- desplazamiento y el subíndice I , nos indica en que punto se - produce el desplazamiento, después estos desplazamientos se - sustituirán para obtener los desplazamientos totales en un -- punto.

En el bloque número doce tenemos la sustitución de los -- desplazamientos y se obtiene el coeficiente del desplazamiento asociado a su reacción correspondiente, con ello las ecuaciones generales del método quedarán solo en función de las - reacciones y de los giros, para formar finalmente un sistema - de ecuaciones que involucre las variables mencionadas.

El bloque número trece se refiere a la formación de la -- ecuación de equilibrio de las fuerzas verticales, que en el - capítulo dos obtuvimos como la ecuación número 31, dicha ecuaci

ción es complementaria para la solución del sistema formado.

En el bloque número catorce tenemos la formación de la ecuación de momentos, que en el capítulo dos obtuvimos como la ecuación número 32, dicha ecuación al igual que la anterior es complementaria para la solución del sistema.

En el bloque número quince tenemos la formación de la ecuación de los coeficientes que la llamamos X2, para ello consideramos los arreglos matriciales $T(1,I)$ y $R(J,I)$ que son los desplazamientos y las reacciones respectivamente, después debemos introducir el vector $B2(I)$ que resulta ser el término independiente de cada ecuación y quedando finalmente un sistema cuadrado de orden $NT = N+1$, que a su vez nos representa el número total de incógnitas y de ecuaciones del sistema, pues cabe recordar que para la solución de este tipo de sistemas, es necesario tener el mismo número de ecuaciones que de incógnitas. En este mismo bloque se tiene la impresión de la matriz X2 y de los términos independientes $B2(I)$.

En el bloque número dieciseis tenemos la solución del sistema, para ello se empleó el método de Gauss Jordan basados en un programa de biblioteca hecho por el centro de cálculo de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M.

Dentro de este mismo bloque tenemos la impresión de los resultados, que es la solución del problema, también se tiene el cálculo e impresión de los desplazamientos totales en cada punto.

La impresión de los resultados se hizo con títulos que se asocian a los conceptos respectivos.

Al final del programa tenemos los datos y la subrutina de -
aplicación de la fórmula de Boussinesq que usamos para la ob--
tención de los valores de influencia, ésta parte del programa_
se basó en lo hecho por Manuel Flores Ojeda y la sustitución -
de los desplazamientos está basada en lo hecho al respecto por
el Ing. Agustín Deméneghi C. y César Hernández.

A continuación se presenta el listado del programa de ---
computadora para la interacción suelo-estructura en una viga -
flotante.

```

10 'INTERACCION SUELO ESTRUCTURA "VIGA FLOTANTE"/BASIC
20 DIM MV(20,20),B(20,20),D1(20),D2(20),D(20,20),L1(20)
30 'LECTURA DE LOS DATOS
40 'DATOS DEL MODELO DE LA VIGA (RIGIDEZ)
50 READ M, N, E1
60 FOR I=1 TO N:READ B(I):NEXT I
70 FOR I=1 TO N-1:READ D1(I):NEXT I
80 FOR I=1 TO N:READ W(I):NEXT I
90 FOR K=1 TO M:READ P(K):NEXT K
100 FOR J=2 TO N:READ MC(J):NEXT J
110 FOR K=1 TO M:READ LCP(K):NEXT K
120 'LOS DATOS DEL SUELO
130 READ NP
140 FOR J=1 TO NP:READ H(J):NEXT J
150 FOR J=1 TO NP
160 FOR I=1 TO N:READ MV(I,J)
170 NEXT I
180 NEXT J
190 'IMPRESION DE LOS DATOS PROPORCIONADOS
200 LPRINTCHR$(30):LPRINTSPC(24)CHR$(31)* UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO *:LPRINT:LPRINTSPC(19)* FACULTAD DE INGENIERIA *:
FORI=0T04:LPRINT:NEXTI:LPRINTSPC(2)*TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL:LPRINT
210 LPRINTSPC(17)*PRESENTA: JUAN JOSE ARRIAGA OCAÑA*:FORI=0T02:LPRINT:NEXTI:LPRINTSPC(10)*INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA EN UNA VIGA
FLOTANTE*:LPRINT:LPRINTSPC(20)*PROGRAMA EN LENGUAJE BASIC*:FORI=0T04:LPRINT:NEXTI
220 LPRINTSPC(5)*DATOS PROPORCIONADOS*CHR$(30):LPRINT:LPRINT
230 LPRINTSPC(10)*PUNTOS DE REFERENCIA: " N :LPRINT
240 LPRINTSPC(10)*MODULO DE ELASTICIDAD DE LA VIGA, (TON/M2):" E1 :LPRINT
250 LPRINTSPC(10)*ANCHO DEL TRAMO, (M):" N :LPRINT
260 FOR I=1 TO N:LPRINTSPC(10)*B1("I")="B(I):NEXT I :LPRINT
270 LPRINTSPC(10)*LONGITUD DE CADA TRAMO, (M):" :LPRINT
280 FOR I=1 TO N-1 :LPRINTSPC(10)*D1("I")="D1(I):NEXT I :LPRINT
290 LPRINTSPC(10)*LA CARGA UNIFORME EN LOS TRAMOS, (TON/M):" :LPRINT
300 FOR I=1 TO N :LPRINTSPC(10)*W("I")="W(I):NEXT I :LPRINT
310 LPRINTSPC(10)*LA CARGA CONCENTRADA, (TON):" :LPRINT
320 FOR K=1 TO M:LPRINTSPC(10)*P("K")="P(K):NEXT K :LPRINT
330 LPRINTSPC(10)*CONTADOR DE LAS CARGAS CONCENTRADAS:" :LPRINT
340 FOR J=2 TO N:LPRINTSPC(10)*MC("J")="MC(J):NEXT J :LPRINT
350 LPRINTSPC(10)*LA LONGITUD DE LAS CARGAS CONCENTRADAS, (M):" :LPRINT
360 FOR K=1 TO M:LPRINTSPC(10)*LCP("K")="LCP(K):NEXT K :LPRINT
370 LPRINTSPC(10)*EL NUMERO DE ESTRATOS:" NP :LPRINT
380 LPRINTSPC(10)*EL ESPESOR DE CADA ESTRATO, (M):" :LPRINT
390 FOR J=1 TO NP:LPRINTSPC(10)*H("J")="H(J):NEXT J :LPRINT
400 LPRINTSPC(10)*EL MV DE CADA ESTRATO, (M2/TON):" :LPRINT
410 FOR I=1 TO N
420 FOR J=1 TO NP:LPRINTSPC(10)*MV("I","J")="MV(I,J):NEXT J
430 NEXT I:LPRINT:LPRINT
440 'LONGITUDES DE CARGA (PLQUE 2)
450 I=1:D1(I)=D1(I)*0.5
460 FOR I=2 TO N-1
470 D2(I)=D1(I-1)*0.5+D1(I)*0.5
480 NEXT I
490 I=N
500 D2(I)=D1(I-1)*0.5
510 LPRINTSPC(10)*LONGITUD DE CARGA, (M):" :LPRINT
520 FOR I=1 TO N:LPRINTSPC(10)*D2("I")="D2(I):NEXT I :LPRINT
530 'LA LONGITUD A LOS PUNTOS DE REFERENCIA (PLQUE 3)
540 I=1
550 L1(I)=0
560 I=2
570 L1(I)=D1(I-1)

```

```

580 FOR I=3 TO N
590 L1(I)=L1(I-1)+D1(I-1)
600 NEXT I
610 *CALCULO DE LAS LONGITUDES RELATIVAS (BLOQUE 4)
620 FORJ=2TON
630 LR(J,1)=L1(J)-D1(J)
640 NEXTJ
650 FORJ=3TON
660 FOPI=2TOJ-1
670 LR(J,1)=1+(J)-(L1(I)+D1(J))*G.5)
680 NEXTI
690 NEXTJ
700 FORI=1TON
710 A(I)=(D2(I)+3/6)
720 NEXTI
730 FORJ=2TON
740 FORI=1TOJ-1
750 B(J,1)=(D2(I)+2)*LR(J,1))/2
760 C(J,1)=(D2(I)*LR(J,1)+2)/2
770 NEXTI
780 NEXTJ
790 FORJ=2TON
800 FORI=1TOJ-1
810 D(J,1)=A(I)*LR(J,1)+D2(I)/4+(B(J,1)*LR(J,1))/2+(C(J,1)*LR(J,1))/3
820 NEXTI
830 NEXTJ
840 *CALCULO DE LONGITUDES A LAS CARGAS CONCENTRADAS (BLOQUE 5)
850 LP(I,1)=0
860 FORJ=2TON
870 FORK=1TOMC(J)
880 LP(J,K)=L1(J)-LCP(K)
890 NEXTK
900 NEXTJ
910 *FORMACION DE LA ECUACION 1 VALIDA PARA J<=N-1 EC. # 21, CAP. 2 (BLOQUE 6)
920 KE=0
930 FORJ=2TON-1
940 KE=KE+1
950 T(1,KE)=E1*L1(J)
960 DE(1,KE)=-F1
970 DE(J,KE)=F1
980 FORI=1TOJ-1
990 R(1,KE)=D(J,1)
1000 NEXTI
1010 R(I,KE)=A(I)*D2(J)/64
1020 *ELEMENTOS DEL SEGUNDO MIEMBRO DE LA ECUACION 1 (2<=J<=N-1)
1030 RE(KE)=0
1040 FORI=1TOJ-1
1050 PE(KE)=RE(KE)+D(J,1)*W(I)
1060 NEXTI
1070 RI(KE)=A(I)*W(I)*D2(J)/64
1080 RY(KE)=0
1090 FORK=1TOMC(J)
1100 PY(KE)=RY(KE)+P(K)*LP(J,K)+3
1110 NEXTK
1120 R2(KE)=PE(KE)+RI(KE)+RY(KE)/6
1130 NEXTJ
1140 *FORMACION DE LA ECUACION 2 VALIDA PARA J=N EC. # 30, CAP. 2
1150 KE=KE+1
1160 J=J
1170 T(1,KE)=E1*L1(J)

```

```

1180 DE(1,KE)=-E1
1190 DE(J,KE)=E1
1200 FORI=1TOJ-1
1210 R(1,KE)=D(J,1)
1220 NEXTI
1230 R(J,KE)=A(J)*D2(J)/4
1240 'ELEMENTOS DEL SEGUNDO MIEMBRO DE LA ECUACION 2 (J=N)
1250 RE(KE)=0
1260 FORI=1TOJ-1
1270 RE(KE)=RE(KE)+D(J,1)*W(I)
1280 NEXTI
1290 RI(KE)=A(J)*W(J)+D2(J)/4
1300 RY(KE)=0
1310 FORK=1TOMC(J)
1320 RY(KE)=RY(KE)+P(K)*LP(J,K)+J
1330 NEXTK
1340 B2(KE)=RE(KE)+RI(KE)+RY(KE)/6
1350 ' CALCULO DE LOS VALORES DE INFLUENCIA: MANUEL FLORES O.
1360 'LONGITUDES ACUMULADAS (BLOQUE 7)
1370 I=1: AL(I)=D1(I)*0.5
1380 I=2
1390 AL(I)=AL(I-1)+D1(I-1)*0.5
1400 FORI=3 TO N
1410 AL(I)=AL(I-1)+D1(I-1)
1420 NEXT I
1430 'CALCULO DE LAS PROFUNDIDADES ACUMULADAS (BLOQUE 8)
1440 J=1
1450 AH(J)=H(J)*0.5
1460 FORJ=2TONP
1470 AH(J)=AH(J-1)+0.5*(H(J-1)+H(J))
1480 NEXTJ
1490 'LONGITUDES CON RESPECTO AL PUNTO INICIAL (BLOQUE 9)
1500 I=1
1510 FORJ=2TON
1520 L(J,I)=AL(J)
1530 NEXTJ
1540 FORI=2TON-1
1550 FORJ=I+1TON
1560 L(J,I)=AL(J)-AL(I):NEXTJ
1570 NEXTI
1580 'CARGAS INTERIORES PUNTOS A LA DERECHA (BLOQUE 10)
1590 FORK=2TON-1
1600 FORJ=1TONP
1610 FORI=K+1TON
1620 LE=L(I,K)+0.5*D1(K-1):LIN=L(I,K)-0.5*D1(K)
1630 B=B1(K)/2:HF=AH(J):L=LE
1640 GOSUB3900
1650 WU=PIL+LIN
1660 GOSUB3900
1670 F(I,J,K)=ABS(WU-P)*2)
1680 NEXTI
1690 NEXTJ
1700 NEXTK
1710 'CARGAS INTERIORES PUNTOS A LA IZQUIERDA
1720 FORK=2TON-1
1730 FORJ=1TONP
1740 FO I=1TOK-1
1750 LE=L(K,1)+0.5*D1(K):LIN=L(K,1)-0.5*D1(K-1)
1760 B=1(K)/2:HF=AH(J):L=LE
1770 GO SUB3900

```

```

1780 WU=P*L=LIN
1790 GOSUB3900
1800 F(I,J,K)=ABS((WU-P)*2)
1810 NEXTI
1820 NEXTJ
1830 NEXTK
1840 'PUNTOS BAJO LA CARGA
1850 FORK=2TON-1
1860 FORJ=1TONP
1870 I=K
1880 LI=D1(K-1)/2
1890 LD=D1(K)/2
1900 B=B1(K)*0.5
1910 HF=AH(J)
1920 L=LI
1930 GOSUB3900:W=P*2
1940 L=LD
1950 GOSUB3900:F(I,J,K)=ABS(W+IP*2)
1960 NEXTJ
1970 NEXTK
1980 'CARGAS INTERIORES HACIA EL PUNTO I
1990 FORK=2TON-1
2000 FORJ=1TONP
2010 I=J
2020 LE=AL(K)+0.5*D1(K)+LIN=AL(K)-0.5*D1(K-1)
2030 B=B1(K)/2+HF=AH(J)+L=LE
2040 GOSUB3900
2050 WU=P*L=LIN
2060 GOSUB3900
2070 F(I,J,K)=ABS((WU-P)*2)
2080 NEXTJ
2090 NEXTK
2100 'INFLUENCIA DE LA CARGA I A TODOS LOS PUNTOS
2110 FORI=2TON
2120 FORJ=1TONP
2130 K=I
2140 LF=AL(I)+LIN=AL(I)-AL(J)
2150 B=B1(K)/2+HF=AH(J)+L=LE
2160 GOSUB3900
2170 WU=P*L=LIN
2180 GOSUB3900
2190 F(I,J,K)=ABS((WU-P)*2)
2200 NEXTJ
2210 NEXTI
2220 'INFLUENCIA DE LA CARGA N EN TODOS LOS DEMAS PUNTOS
2230 FORI=1TON-1
2240 FORJ=1TONP
2250 K=N
2260 LE=L(K,J)+L(N)-L(K,1)-D2(K)
2270 B=P1(K)/2+HF=AH(J)+L=LE
2280 GOSUB3900
2290 WU=P*L=LIN
2300 GOSUB3900
2310 F(I,J,K)=ABS((WU-P)*2)
2320 NEXTJ
2330 NEXTI
2340 'INFLUENCIA DE LA CARGA I EN EL PUNTO I
2350 FORJ=1TONP
2360 I=J:HF=AH(J)+HF=B1(K)/2+L=LE
2370 GOSUB3900

```

```

2380 F(I,J,K)=ABS(P*2)
2390 NEXTJ
2400 'INFLUENCIA DE LA CARGA N
2410 FORJ=1TONP
2420 I=N+K-N;HF=AH(J);R=R1(K)/2;L=D2(I)
2430 GOSUB3900
2440 F(I,J,K)=ABS(P*2)
2450 NEXTJ
2460 'IMPRESION DE VALORES DE INFLUENCIA
2470 LPRINTSPC(40)CHR*(31)*VALORES DE INFLUENCIA*CHR*(30);LPRINT;LPRINT;WH=1;BH=1;IX=N;JX=NP;KX=N
2480 LPRINTSPC(7)*CARGA*;SPC(7);GOSUB4010;LPRINT;LPRINT*PUNTO/ESTRATO"
2490 FORK=1TOIX;FORJ=1TOJX;LPRINTSPC(1);USING*##";K;LPRINTSPC(5);USING*##";J;LPRINTSPC(4);
2500 FORI=BBT07*WW;1FI>IXTHENI=7*WW;GOTO2520
2510 LPRINTUSING*##.#####";F(K,J,I);LPRINTSPC(4);
2520 NEXTI;LPRINT;LPRINT;NEXTJ,K
2530 IFI>IXTHEN2550
2540 GOSUB4060;GOTO2480
2550 FORJL=1TO7;LPRINT;NEXTJL
2560 'CALCULO DE LOS DESPLAZAMIENTOS DEL SUELO (BLOQUE 11)
2570 FOR I=1 TO N
2580 FOR K=1 TO N
2590 SUM=0
2600 FOR J=1 TO NP
2610 SUM=SUM+MV(I,J)*H(J)*F(I,J,K)/B1(K)
2620 NEXT J
2630 Q(K,I)=SUM
2640 SUM=0
2650 NEXT K
2660 NEXT I
2670 'SUSTITUCION DE LOS DESPLAZAMIENTOS (BLOQUE 12) AGUSTIN DEMENEGHI C. Y CESAR HEPHANDEZ
2680 NT=N+1
2690 FOR K=1 TO NT
2700 FOR I=1 TO N
2710 FOR KC=1 TO N
2720 SM=Q(I,KC)*DE(KC,K)
2730 R(I,K)=R(I,K)+SM
2740 NEXT KC
2750 NEXT I
2760 NEXT K
2770 'FORMACION DE LA ECUACION DE EQUILIBRIO (FUERZAS VERTICALES) EC. # 31, CAP. 2 (BLOQUE 13)
2780 K=N+KE=N
2790 FOR I=1 TO N
2800 R(I,I)=D2(I)
2810 NEXT I
2820 FOR I=1 TO N
2830 SUM=P(I)+W(I)*D2(I)
2840 B3(I)=B3(I-1)+SUM
2850 B2(KF)=B3(I)
2860 NEXT I
2870 'FORMACION DE LA ECUACION DE MOMENTOS EC. # 32, CAP. 2 (BLOQUE 14)
2880 FOR K=1 TO M
2890 S1=P(K)*LCP(K)
2900 BZ(K)=BZ(K-1)+S1
2910 S3=BZ(K)
2920 NEXT K
2930 I=1
2940 CA(I)=W(I)*D2(I)+AL(I)*0.5
2950 FOR I=2 TO N-1
2960 S7=W(I)*D2(I)+AL(I)
2970 PZ(I)=PZ(I-1)+S7

```

```

2980 NEXT I
2990 I=N
3000 CM(I)=W(I)*D2(I)+(AL(I)-D2(I))*P(I)
3010 B2(I+1)=S3+BX(I-1)+CA(I)+CM(I)
3020 K=N+1
3030 I=1
3040 S2=D2(I)*D2(I)/C
3050 R(I,K)=S2
3060 K=N+1
3070 FOR I=2 TO N-1
3080 S4=D2(I)*AL(I)
3090 R(I,K)=S4
3100 NEXT I
3110 K=N+1
3120 I=N
3130 S6=D2(I)*(AL(I)-D2(I)*C)
3140 R(I,K)=S6
3150 *FORMACION DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES (PROGRAMA 15)
3160 FOR I=1 TO NT
3170 X2(I,1)=1(I-1)
3180 NEXT I
3190 FOR I=1 TO NT
3200 FOR J=1 TO N
3210 X2(I,J+1)=R(I,J)
3220 NEXT J
3230 NEXT I
3240 * IMPRESION DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES
3250 LPRINTSPC(40)CHR$(31)*MATRIZ DE COEFICIENTES*CHR$(30)H PRINT:LPRINT:AA=1:BB=1:IX=NT:JY=NT
3260 LPRINTSPC(5)*COLUMNAS*SPC(7)I
3270 FOR I=BBT07*AA
3280 IF I>IX THEN I=7*AA:GOTO3300
3290 LPRINTUSING"###"I:LPRINTSPC(14)I
3300 NEXT I:LPRINT
3310 LPRINTSPC(1)*"REGLON"
3320 FOR J=1TOJY:LPRINTSPC(4)USING"###"J:LPRINTSPC(5)I
3330 FOR I=BBT07*AA
3340 IF I>IX THEN I=AA*7: GOTO3340
3350 LPRINTUSING"###.#####"I:X2(I,J):LPRINTSPC(6)I
3360 NEXT I:LPRINT:LPRINT
3370 NEXT J
3380 IF I>IX THEN LPRINT: GOTO 3400
3390 AA=AA+1:BB=BB+7:LPRINT:LPRINT:GOTO3260
3400 LPRINTSPC(40)CHR$(31)*TERMINES DE LA DEFINICION DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES*CHR$(30)H PRINT:LPRINT:AA=5*EEQUACIONES*SPC(22)*VALOR*I:LPRINT:FOR I=1 TO N:H PRINTS
PC(I)USING"###"I:LPRINTSPC(2)USING"###.#####"I:END OF REPORT*AT=24:PRINT:GOTO3410
3410 *SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES (PROGRAMA 16)
3420 X=NT+1
3430 FOR I=1 TO NT:X2(I,0)=PC(I):NEXT I
3440 FOR Y=1 TO NT
3450 Z=Y
3460 FOR I=Y+1 TO NT
3470 IF ABS(X2(I,0)-X*ABS(X2(I,Y))) THEN Z=I
3480 NEXT I
3490 IF Z=Y GOTO 3500
3500 FOR J=1 TO Y
3510 AX=X2(Z,0)-X2(Y,J)
3520 X2(Z,0)=X2(Y,J)
3530 X2(Y,J)=AX
3540 NEXT J
3550 IF X2(Y,0)=0 GOTO 3570
3560 FOR J=Y+1 TO Y

```

```

3570 X2(Y,J)=X2(Y,J)/X2(Y,Y)
3580 NEXT J
3590 X2(Y,Y)=1
3600 FOR I=1 TO NT
3610 IF I=Y GOTO 3660
3620 FOR J=Y+1 TO X
3630 X2(I,J)=X2(I,J)-X2(I,Y)*X2(Y,J)
3640 NEXT J
3650 X2(I,Y)=0
3660 NEXT I
3670 NEXT Y
3680 LPRINTSPC(30)CHR$(31)"SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES"CHR$(30):LPRINT
3690 I=1:LPRINTSPC(40)" GIRO EN EL NUDO 1 "USING"##.#####"X2(I,X):LPRINT" RADIANTES"IFOR I=2TONT:LPRINTSPC(40)"REACCION
EN EL PUNTO "I-1:" USING"##.#####";X2(I,X):LPRINT" EN TON/M":NEXT I:LPRINT:LPRINT:LPRINT
3700 " CALCULO DE LOS DESPLAZAMIENTOS TOTALES
3710 FOR J=1 TO N
3720 FOR I=1 TO N
3730 AC=0(I,J)*X2(I+1,X)
3740 DT(J)=DT(J)+AC
3750 NEXT I:NEXT J
3760 LPRINTSPC(40)CHR$(31)"DESPLAZAMIENTOS TOTALES"CHR$(30):LPRINT
3770 FOR J=1 TO N
3780 LPRINTSPC(49)"DT("J)"="USING"##.#####"DT(J):LPRINT" METROS"(NEXT J) LPRINT
3790 DATA 3,3,1.519E+07
3800 DATA 8,8,8
3810 DATA 4,4
3820 DATA 10,10,10
3830 DATA 20,40,20
3840 DATA 1,2
3850 DATA 0,4,8
3860 DATA 2
3870 DATA 2,3
3880 DATA 1.8E-03,1.8E-03,1.8E-03,2.5E-03,2.5E-03,2.5E-03
3890 END
3900 "SUBROUTINA DE LA APLICACION DE LA FORMULA DE HUISSINESO
3910 A=B+2*L+2*HF+2
3920 B2=SQR(A)
3930 C=B+2*L+2
3940 D=2*B*L*HF
3950 E=B+2*L+2+2*HF+2
3960 G=ATN((D*B2)/(HF+2*A-C))
3970 IF G=0 THEN 3990
3980 G=G+3.1415927
3990 P=0.079577*(((D*B2)/(HF+2*A+C))+(E/A))+G
4000 RETURN
4010 " IMPRIME NUMERO DE COLUMNA
4020 FOR I=BBT/7*WW
4030 IF I=J THEN I=7*WW:GOTO 4050
4040 LPRINT:USING"##" I:LPRINTSPC(14)
4050 HFY:I:LPRINT:RETURN
4060 " INCREMENTA WW Y BB
4070 WW=WW+1:BB=BB+7:LPRINT:LPRINT:RETURN

```

CAPITULO 4

INSTRUCTIVO DE USO DEL PROGRAMA

En el capítulo dos se vio la deducción y la obtención de las ecuaciones generales del método, así como los procedimientos empleados para ello, donde se considera a la estructura como una viga flotante; para el análisis estructural se usó el método de la viga conjugada y para la obtención de los esfuerzos en el suelo se usó la fórmula de Boussinesq; de lo anterior podemos observar que se está considerando de manera integral la interacción existente entre la estructura y el suelo.

En el capítulo tres se vio la elaboración de un programa de computadora, ya que como se dijo antes, el resolver este tipo de problemas de manera manual resulta demasiado laborioso. En la actualidad y debido a los grandes avances tecnológicos podemos tener acceso al uso de una computadora, por ello se realizó el presente programa que resulta de gran ayuda, en la solución de este tipo de problemas.

Este capítulo está referido a la codificación de dicho programa de computadora, ya que como se dijo antes nos ayudará en la solución de problemas de interacción suelo-estructura, cabe recordar que este método es aplicable para cuando se tengan estructuras cuya cimentación sea una losa y estén cimentadas sobre suelos de mediana a alta compresibilidad, este

tipo de estructuras se presentan en general cuando se tienen casas o edificios de hasta tres niveles.

Al final de este capítulo se presenta un listado del programa, pues resulta conveniente grabarlo para que sea utilizado en forma expedita. A manera de ejemplo, en el caso de que el programa se grabe en una microcomputadora Radio Shack TRS-80, los pasos a seguir para el uso del programa son:

1) Encender la computadora (microcomputadora) para después insertar el disco que contenga el programa grabado.

2) Teclear el comando LOAD "NOMBRE DEL PROGRAMA", después de esto se oprime la tecla ENTER; esperar hasta que en la -- pantalla aparezca la palabra READY que indica que el programa ha sido cargado en la máquina y que está listo para ser usado.

3) Si se desea que en la pantalla aparezca el listado del programa, se debe de teclear el comando LIST y posteriormente oprimir la tecla ENTER y entonces empezará a correr el listado en la pantalla, para detenerlo se oprime la tecla HOLD y -- para que continúe corriendo dicho listado se vuelve a oprimir la tecla HOLD, cuando termina de correr todo el programa aparecerá la palabra READY.

Hecho lo anterior tenemos el programa en la memoria de la máquina y solo resta introducir los datos requeridos y correr el programa, para ello procederemos de la siguiente forma.

* Teclear la instrucción 3790 DATA y teclear los valores de M, que es el número de cargas concentradas y es adimensional; N, que es el número de ejes que resulta de la división -- en tramos de la viga, también es adimensional; finalmente --

debemos introducir el valor resultante del producto EI, es -- decir, el producto del módulo de elasticidad equivalente y el momento de inercia de la viga, sus unidades son toneladas-metros cuadrados (TON-M²); los datos se deben teclear en este - orden.

* Teclear la instrucción 3800 DATA y teclear los valores- de B1 (I), que se refieren al ancho de la cimentación para -- cada punto, estos datos deberán estar en metros (M), el número de ellos debe ser igual al valor de N.

* Teclear la instrucción 3810 DATA y teclear los valores- de D1 (I), que se refiere a la longitud de cada uno de los -- tramos, que resultan de la división en tramos de la viga, el- número de datos que debemos introducir a la computadora esta- dado por N-1, es decir, es la longitud que tenemos entre los- ejes y esta dada en metros (M).

* Teclear la instrucción 3820 DATA y teclear los valores- correspondientes de W (I), que es el valor de la carga unifor- me que actúa a lo largo de la viga, el número de datos que se deben teclear es igual a N y sus unidades serán toneladas por metro (TON/M).

* Teclear la instrucción 3830 DATA y teclear los valores- de P (K), que son los que corresponden a la magnitud de las - cargas concentradas que actúan en la viga, dichas cargas --- corresponderán a las columnas y muros que se tengan en la es- tructura, o bien, otras cargas que actuen como tales, el núme- ro de datos estará dado por el valor de M, que ya se había -- especificado antes, la magnitud de las cargas concentradas se

dará en toneladas (TON).

* Teclar la instrucción 3840 DATA y dar los valores de MC (J), que corresponden a un contador de cargas concentradas que se encuentren a la izquierda de un punto de referencia -- (eje) determinado, es decir, cuando estamos en el punto dos -- por ejemplo, contamos el número de cargas concentradas que se tienen a la izquierda de dicho punto (punto dos) y este dato se lo damos a la computadora, lo mismo hacemos para todos los ejes que se tengan y este es un dato adimensional.

* Teclar la instrucción 3850 DATA y teclar los valores de LCP (K), que es la longitud que hay entre las cargas concentradas y el punto número uno (punto inicial), como esto se -- hace para todas las cargas concentradas tendremos tantos datos de dichas longitudes como cargas concentradas tengamos y estas distancias están dadas en metros (M).

* Teclar la instrucción 3860 DATA y teclar el valor de NP, que se refiere al número de estratos que se estén considerando para el suelo donde se apoyará la estructura, este dato es adimensional.

* Teclar la instrucción 3870 DATA y teclar los valores de H (J), que se refiere al espesor de cada estrato de suelo considerado, el espesor de los estratos se da en metros (M), - el número de estos datos depende de cuantos espesores estemos considerando y de cuantos ejes tengamos en la estructura.

* Teclar la instrucción 3880 DATA y teclar los valores de MV (I,J) que es el módulo de deformabilidad de cada punto en todos los estratos considerados, se deben dar de izquierda

a derecha empezando por todos los puntos del primer estrato - (el más superficial) y así sucesivamente hasta el último --- estrato considerado, sus dimensiones son metros cuadrados por toneladas (M2/TON) .

Para realizar lo anterior de manera más rápida y si se - esta usando una microcomputadora RADIO SHACK TRS-80 se puede hacer lo siguiente, teclear el comando CLS que limpia la pantalla.

Para obtener una secuencia automática y crear las instrucc_iones de los datos, teclear el comando AUTO 3790, presionar- la tecla ENTER después de cada renglón de datos y se obtendrá automáticamente el número del renglón siguiente, esto se hará hasta introducir el último renglón de datos que corresponde - al número 3880, al llegar a esta instrucción la máquina ha -- registrado los valores en la memoria para evitar que la máqui- na prosiga con la secuencia automática se presiona la tecla - BREAK, con ello se terminará el bloque de datos.

Para verificar si todos los datos fueron introducidos -- correctamente podemos hacer lo siguiente; teclear el comando- LIST 3790-3880 y ejecutarlo, en la pantalla aparecerá el lis- tado de los datos que se han introducido. Si existe algún -- error bastará con teclear nuevamente dicho renglón; habiendo- verificado la lista de datos deberemos teclear el comando RUN y la máquina ejecutará el programa. Después de cada instruc- ción o comando se debe presionar la tecla ENTER.

Si durante la ejecución del programa la máquina indica -- algún error, este podrá ser referente a los datos o a que se-

ha rebasado la capacidad de la memoria, el primero se refiere a que hay algún error en la introducción de los datos y el --segundo a que tal vez alguna variable está fuera de la dimensión especificada para ello habrá que redimensionar dicha --variable.

CAPITULO 5

EJEMPLOS DE APLICACION

En este capítulo se presentan dos ejemplos, cuyo objetivo es mostrar la aplicación del procedimiento propuesto por el Ing. Agustín Deméneghi, en la solución de problemas de interacción suelo-estructura.

Para la aplicación de este procedimiento, se hizo -- como ya se dijo antes uso de la computadora y el alcance de dicho programa consiste en obtener el valor de las -- reacciones y de los desplazamientos y dicho alcance lo es también el del presente trabajo, con lo anterior podemos obtener los elementos mecánicos actuantes en la cimentación y con ello hacer el diseño de la misma.

Ejemplo N° 1

Consideremos un edificio de tres niveles, su planta es de ocho metros por ocho, esta apoyado en un suelo de mediana compresibilidad su cimentación será una losa, -- como se muestra en la figura 5.1.1.

Datos.

$B = 8$ m. ancho de la cimentación

$f'_c = 200$ kg/cm²

$E_c = 10\ 000 \sqrt{f'_c}$

Para las losas supongamos que:

$E_c = 3\ 000 \sqrt{f'_c}$

Para los muros supongamos que:

$$f'_c = 15 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 2000 \text{ kg/cm}^2$$

En función de los datos determinamos el producto EI - equivalente como se muestra a continuación.

Para las losas tenemos que $f'_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

$$E = 3000 \sqrt{f'_c} \text{ a largo plazo}$$

Tenemos dos losas extremas de 800 cm. de largo y 10 - de espesor como podemos ver en la figura 5.1.1

El área de las losas es:

$$A = 10(800) = 8000 \text{ cm}^2$$

El momento de inercia esta dado por:

$$I = Ad^2 \text{ pero son dos losas, entonces } I = 2Ad^2$$

$$\therefore I = 2 Ad^2 = 2 (8000) (445^2) = 3.168 \times 10^9 \text{ cm}^4$$

El módulo de elasticidad del concreto es:

$$E = E_c = 3000 \sqrt{200} = 42426.407 \text{ kg/cm}^2$$

Finalmente el producto EI es:

$$EI = 42426.407 (3.168 \times 10^9) = 1.34 \times 10^{14} \text{ kg - cm}^2$$

Para las losas intermedias se hacen las mismas consideraciones y solo cambia el momento de inercia, ya que la distancia con respecto al eje neutro (EN) es diferente.

$$I = 2 Ad^2 = 2(8000) (145^2) = 3.364 \times 10^8 \text{ kg - cm}^2$$

El producto EI quedará como:

$$EI = 42426.407(3.364 \times 10^8) = 1.427 \times 10^{13} \text{ kg - cm}^2$$

Para los muros suponemos que $f'_c = 15 \text{ kg/cm}^2$

$$E = 2000 \text{ kg/cm}^2$$

El momento de inercia de los muros es:

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{10(900^3)}{12} = 607.5 \times 10^6 \text{ cm}^4 \text{ (un solo muro)}$$

Considerando que se tienen tres muros, finalmente tendremos que $I = 3(607.5 \times 10^6) = 1.8225 \times 10^9 \text{ cm}^4$

El producto EI que corresponde a los muros quedará como:

$$EI = 2000(1.8225 \times 10^9) = 3.645 \times 10^{12} \text{ kg/cm}^2$$

Si ahora sumamos los productos EI de losas y muros, obtenemos el EI equivalente de toda nuestra estructura, quedando -- para nuestro ejemplo como sigue:

$$\begin{aligned} EI &= 1.34 \times 10^{14} + 1.42 \times 10^{13} + 3.645 \times 10^{12} = \\ &= 151.915 \times 10^{12} \text{ kg-cm}^2 \end{aligned}$$

Si el resultado anterior lo transformamos a ton-m^2 tenemos que $EI = 1.519 \times 10^7 \text{ ton-m}^2$

La configuración final de nuestra estructura se muestra - en la figura 5.1.2 .

En la figura 5.1.3 tenemos la configuración final con la notación usada en el programa de computadora.

En la figura 5.1.4 tenemos el resultado final de los desplazamientos que se obtuvieron.

Ejemplo N° 2

En este ejemplo se considero un cajón de cimentación, en la planta de este tenemos actuando cuatro cargas concentradas, la planta tiene una longitud de veinticuatro metros y un ancho de doce metros, dicha estructura la podemos apreciar en la figura 5.2.1 .

En la figura 5.2.2 se presenta la configuración de las -- reacciones actuantes en la planta.

En la figura 5.2.3 presentamos la configuración de los -- desplazamientos finales.

En los dos ejemplos los desplazamientos finales son los - calculados, en los ejemplos los puntos de referencia se refieren al número de ejes.

EJEMPLO No. 1

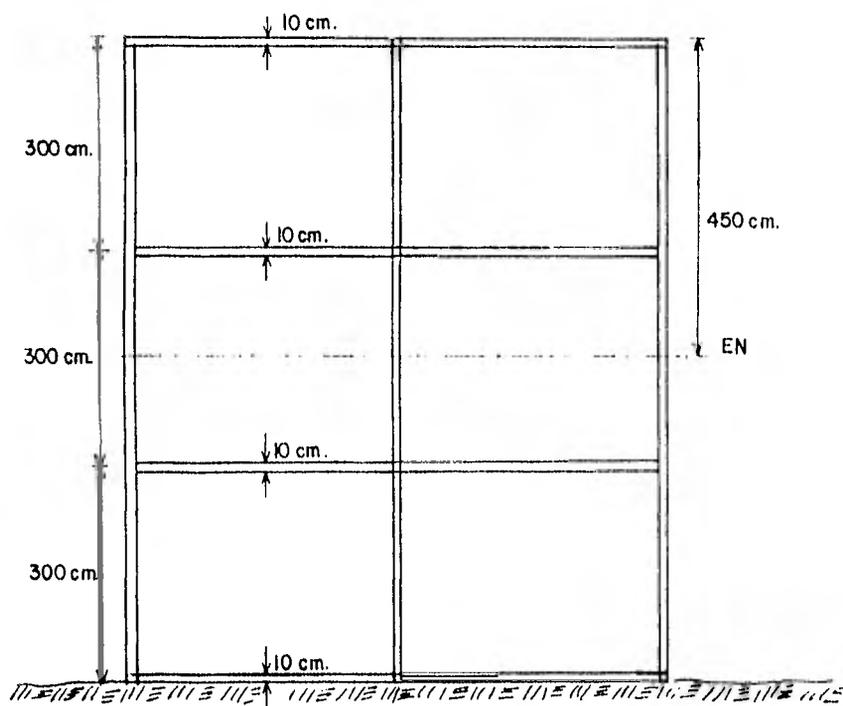


FIG. 5.1.1. ESTRUCTURA

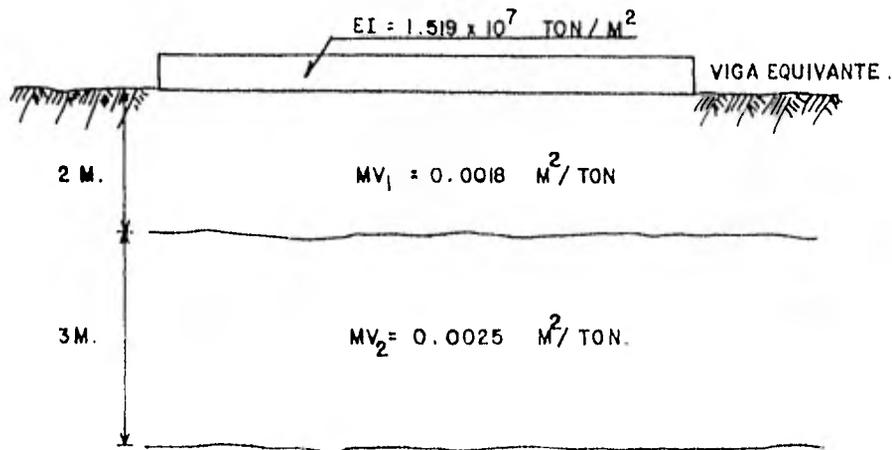


FIG. 5.1.2. CONFIGURACION.

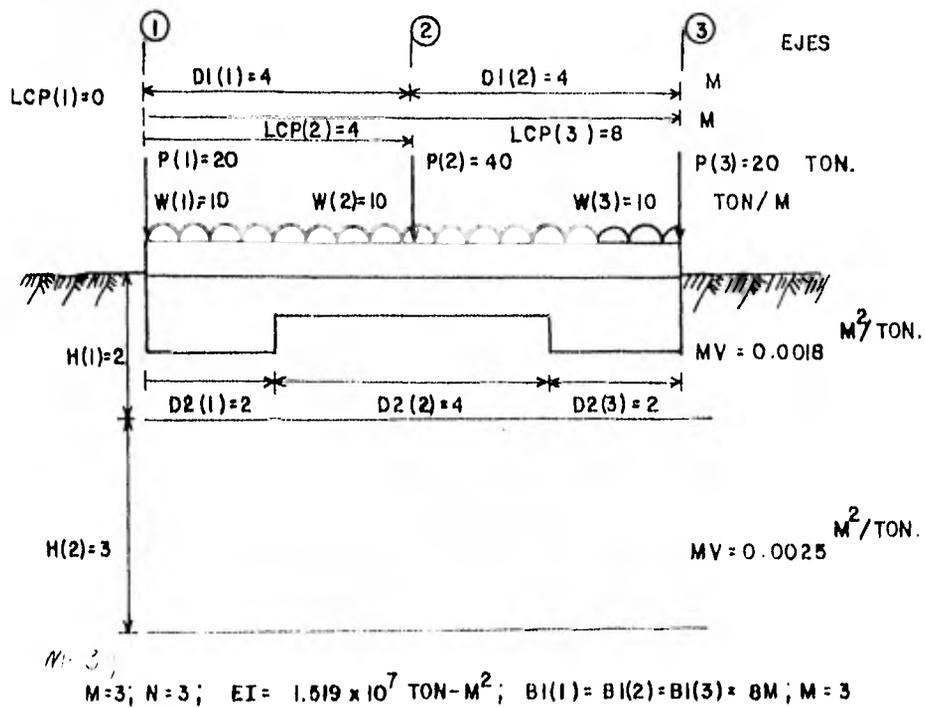


FIG. 5.1.3. NOTACION.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL
PRESENTA: JUAN JOSE ARRIAGA OCA&A

INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA EN UNA VIGA FLOTANTE
PROGRAMA EN LENGUAJE BASIC

DATOS PROPORCIONADOS

PUNTOS DE REFERENCIA: 3

MODULO DE ELASTICIDAD DE LA VIGA, (TON-M²): 1.519E+07

ANCHO DEL TRAMO, (M):

B(1)= 8
B(2)= 8
B(3)= 8

LONGITUD DE CADA TRAMO, (M):

D(1)= 4
D(2)= 4

LA CARGA UNIFORME EN LOS TRAMOS, (TON/M):

W(1)= 10
W(2)= 10
W(3)= 10

LA CARGA CONCENTRADA, (TON):

P(1)= 20
P(2)= 40
P(3)= 20

CONTADOR DE LAS CARGAS CONCENTRADAS:

MC(2)= 1
MC(3)= 2

LA LONGITUD DE LAS CARGAS CONCENTRADAS, (M):

LCP(1)= 0
 LCP(2)= 4
 LCP(3)= 8

EL NUMERO DE ESTRATOS: 2

EL ESPESOR DE CADA ESTRATO: (M):

H(1)= 2
 H(2)= 3

EL MV DE CADA ESTRATO: (M2/TON):

MV(1 , 1)= 1.0E-03
 MV(1 , 2)= 2.5E-03
 MV(2 , 1)= 1.0E-03
 MV(2 , 2)= 2.5E-03
 MV(3 , 1)= 1.0E-03
 MV(3 , 2)= 2.5E-03

LONGITUDES DE CARGA: (M):

D2(1)= 2
 D2(2)= 4
 D2(3)= 2

VALORES DE INFLUENCIA

CARGA		1	2	3
PUNTO/ESTRATO				
1	1	4.78239E-01	1.00989E-02	3.75777E-04
1	2	2.73936E-01	1.38532E-01	9.76071E-03
2	1	1.63390E-02	9.56477E-01	1.63390E-02
2	2	1.07426E-01	5.47873E-01	1.07426E-01
3	1	3.75777E-04	1.00989E-02	4.78239E-01
3	2	9.76071E-03	1.38532E-01	2.73936E-01

MATRIZ DE COEFICIENTES

COLUMNA	1	2	3	4
RENGLON				
1	6.07690E+07	-5.51853E+03	1.22442E+04	1.49993E+03
2	1.21520E+08	-6.91179E+03	5.33334E+01	7.02912E+03

3	0.00000E+00	2.00000E+00	4.00000E+00	2.00000E+00
4	0.00000E+00	2.00000E+00	1.60000E+01	1.40000E+01

TERMINOS INDEPENDIENTES

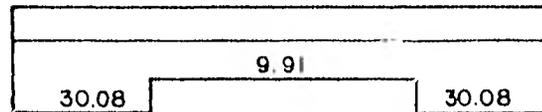
ECUACION	VALOR
1	320.0000
2	3040.0000
3	160.0000
4	640.0000

SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES

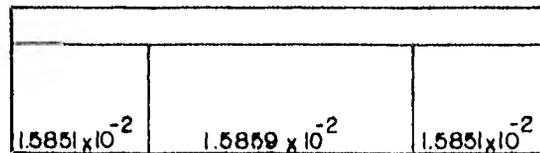
GIRO EN EL NUDO	1	-1.00304E-06	RADIANES
REACCION EN EL PUNTO	1	3.00895E+01	EN TON/M
REACCION EN EL PUNTO	2	9.91054E+00	EN TON/M
REACCION EN EL PUNTO	3	3.00895E+01	EN TON/M

DESPLAZAMIENTOS TOTALES

DT(1)=	1.58512E-02	METROS
DT(2)=	1.58592E-02	METROS
DT(3)=	1.58512E-02	METROS



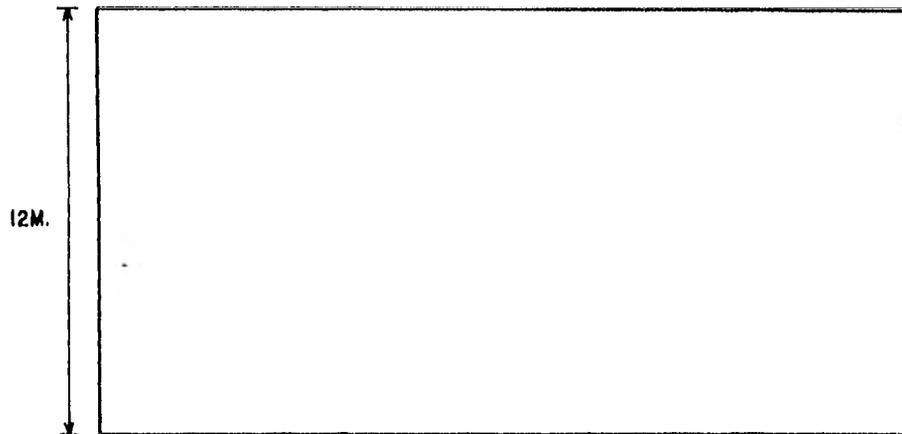
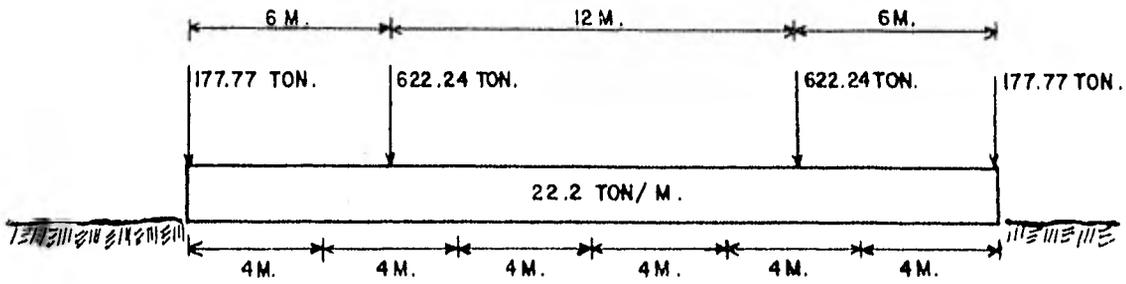
a).- REACCIONES, EN TON/M.



b).- DESPLAZAMIENTO, EN M.

FIG. 5.1.4 RESULTADOS GRAFICOS.

EJEMPLO No. 2



PLANTA DE CIMENTACION.

$N = 7$ $M = 4$ $EI = 600,000 \text{ TON} \cdot \text{M}^2$

MODULO DE DEFORMABILIDAD POR ESTRATO.

ESTRATO No.	MODULO (M ² /TON).	ESPESOR (M).
1	0.383×10^{-2}	3
2	0.213×10^{-2}	4
3	0.194×10^{-2}	8
4	0.150×10^{-2}	5
5	0.075×10^{-2}	6

FIG. 5.2.1.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO CIVIL
PRESENTA: JUAN JOSE ARRIAGA OCAÑA

INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA EN UNA VIGA FLOTANTE
PROGRAMA EN LENGUAJE BASIC

DATOS PROPORCIONADOS

PUNTOS DE REFERENCIA: 7

MODULO DE ELASTICIDAD DE LA VIGA, (TON-M²): 600000

ANCHO DEL TRAMO, (M):

B1(1)= 12
B1(2)= 12
B1(3)= 12
B1(4)= 12
B1(5)= 12
B1(6)= 12
B1(7)= 12

LONGITUD DE CADA TRAMO, (M):

D1(1)= 4
D1(2)= 4
D1(3)= 4
D1(4)= 4
D1(5)= 4
D1(6)= 4

LA CARGA UNIFORME EN LOS TRAMOS, (TON/M):

W(1)= 20.2
W(2)= 20.2
W(3)= 20.2
W(4)= 20.2
W(5)= 20.2
W(6)= 20.2
W(7)= 20.2

LA CARGA CONCENTRADA: (TON)

PC(1)= 177.77
PC(2)= 622.24
PC(3)= 622.24
PC(4)= 177.77

CONTADOR DE LAS CARGAS CONCENTRADAS:

MC(2)= 1
MC(3)= 1
MC(4)= 2
MC(5)= 2
MC(6)= 3
MC(7)= 3

LA LONGITUD DE LAS CARGAS CONCENTRADAS: (M)

LCP(1)= 0
LCP(2)= 6
LCP(3)= 16
LCP(4)= 24

EL NUMERO DE ESTRATOS: 5

EL ESPESOR DE CADA ESTRATO: (M)

HC(1)= 3
HC(2)= 4
HC(3)= 6
HC(4)= 5
HC(5)= 6

EL MV DE CADA ESTRATO: (M²/TON)

MV(1 + 1)= .0383
MV(1 + 2)= .0213
MV(1 + 3)= .0194
MV(1 + 4)= .015
MV(1 + 5)= 7.5E-03
MV(2 + 1)= .0383
MV(2 + 2)= .0213
MV(2 + 3)= .0194
MV(2 + 4)= .015
MV(2 + 5)= 7.5E-03
MV(3 + 1)= .0383
MV(3 + 2)= .0194
MV(3 + 3)= .0194
MV(3 + 4)= .015
MV(3 + 5)= 7.5E-03
MV(4 + 1)= .0383
MV(4 + 2)= .0213
MV(4 + 3)= .0194
MV(4 + 4)= .015
MV(4 + 5)= 7.5E-03
MV(5 + 1)= .0383
MV(5 + 2)= .0213
MV(5 + 3)= .0194
MV(5 + 4)= .015
MV(5 + 5)= 7.5E-03

MV(6 , 1) = .0383
 MV(6 , 2) = .0213
 MV(6 , 3) = .0194
 MV(6 , 4) = .015
 MV(6 , 5) = 7.5E-03
 MV(7 , 1) = .0383
 MV(7 , 2) = .0213
 MV(7 , 3) = .0194
 MV(7 , 4) = .015
 MV(7 , 5) = 7.5E-03

LONGITUDES DE CARGA (M):

D2(1) = 2
 D2(2) = 4
 D2(3) = 4
 D2(4) = 4
 D2(5) = 4
 D2(6) = 4
 D2(7) = 2

VALORES DE INFLUENCIA

CARGA		1	2	3	4	5	6	7
PUNTO/ESTRATO								
1	1	4.46890E-01	4.76876E-02	1.94260E-03	2.81572E-04	6.95884E-05	2.32458E-05	5.69224E-06
1	2	2.12615E-01	1.79057E-01	3.30321E-02	7.19065E-03	2.07949E-03	7.49976E-04	1.89811E-04
1	3	7.48822E-02	1.14344E-01	5.79316E-02	2.48154E-02	1.05764E-02	4.78485E-03	1.36206E-03
1	4	3.37995E-02	5.99981E-02	4.32025E-02	2.70252E-02	1.57586E-02	9.01264E-03	2.95110E-03
1	5	2.03896E-02	3.79617E-02	3.09696E-02	2.27813E-02	1.56427E-02	1.03434E-02	3.73165E-03
2	1	4.17052E-02	8.94780E-01	4.76876E-02	1.94260E-03	2.81572E-04	6.95884E-05	1.44243E-05
2	2	1.24241E-01	4.25231E-01	1.79057E-01	3.30321E-02	7.19065E-03	2.07949E-03	4.59939E-04
2	3	6.47709E-02	1.49764E-01	1.14344E-01	5.79316E-02	2.48154E-02	1.05764E-02	2.83742E-03
2	4	3.17801E-02	6.75989E-02	5.99981E-02	4.32025E-02	2.70252E-02	1.57586E-02	5.12989E-03
2	5	1.92587E-02	4.07791E-02	3.79617E-02	3.09696E-02	2.27813E-02	1.56427E-02	5.71883E-03
3	1	1.46052E-03	4.76876E-02	8.93780E-01	4.76876E-02	1.94260E-03	2.81572E-04	4.49171E-05
3	2	2.29537E-02	1.79057E-01	4.25231E-01	1.79057E-01	3.30321E-02	7.19065E-03	1.31947E-03
3	3	3.47731E-02	1.14344E-01	1.49764E-01	1.14344E-01	5.79316E-02	2.48154E-02	6.36417E-03
3	4	2.38438E-02	5.99981E-02	6.75989E-02	5.99981E-02	4.32025E-02	2.70252E-02	8.96938E-03
3	5	1.65031E-02	3.79617E-02	4.07791E-02	3.79617E-02	3.09696E-02	2.27813E-02	8.60756E-03
4	1	1.93030E-04	1.94260E-03	4.76876E-02	8.93780E-01	4.76876E-02	1.94260E-03	1.93030E-04

4	2	4.76497E-03	3.30321E-02	1.79057E-01	4.25231E-01	1.79057E-01	3.30321E-02	4.76497E-03
4	3	1.50619E-02	5.79316E-02	1.14344E-01	1.49764E-01	1.14344E-01	5.79316E-02	1.50619E-02
4	4	1.52532E-02	4.32025E-02	5.99981E-02	6.75989E-02	5.99981E-02	4.32025E-02	1.52532E-02
4	5	1.23832E-02	3.09696E-02	3.79617E-02	4.07791E-02	3.79617E-02	3.09696E-02	1.23832E-02
5	1	4.49121E-05	2.81572E-04	1.94260E-03	4.76876E-03	8.93780E-01	4.76876E-02	1.46052E-03
5	2	1.31947E-03	7.19065E-03	3.30321E-02	1.79057E-01	4.25231E-01	1.79057E-01	2.29537E-02
5	3	6.36417E-03	2.48154E-02	5.79316E-02	1.14344E-01	1.49764E-01	1.14344E-01	3.47731E-02
5	4	8.96938E-03	2.70252E-02	4.32025E-02	5.99981E-02	6.75989E-02	5.99981E-02	2.38438E-02
5	5	8.60256E-03	2.27813E-02	3.09696E-02	3.79617E-02	4.07791E-02	3.79617E-02	1.65031E-02
6	1	1.44243E-05	6.95884E-05	2.81572E-04	1.94260E-03	4.76876E-02	8.93780E-01	4.17052E-02
6	2	4.59939E-04	2.07949E-03	7.19065E-03	3.30321E-02	1.79057E-01	4.25231E-01	1.24241E-01
6	3	2.83742E-03	1.05764E-02	2.48154E-02	5.79316E-02	1.14344E-01	1.49764E-01	6.47709E-02
6	4	5.12989E-03	1.57586E-02	2.70252E-02	4.32025E-02	5.99981E-02	6.75989E-02	3.17801E-02
6	5	5.71883E-03	1.56427E-02	2.27813E-02	3.09696E-02	3.79617E-02	4.07791E-02	1.96587E-02
7	1	5.69224E-06	2.32458E-05	6.95884E-05	2.81572E-04	1.94260E-03	4.76876E-02	4.46890E-01
7	2	1.89811E-04	7.49976E-04	2.07949E-03	7.19065E-03	3.30321E-02	1.79057E-01	2.12615E-01
7	3	1.36206E-03	4.78485E-03	1.05764E-02	2.48154E-02	5.79316E-02	1.14344E-01	7.48822E-02
7	4	2.95110E-03	9.01264E-03	1.57586E-02	2.70252E-02	4.32025E-02	5.99981E-02	3.37995E-02
7	5	3.73165E-03	1.03434E-02	1.56427E-02	2.27813E-02	3.09696E-02	3.79617E-02	2.03896E-02

MATRIZ DE COEFICIENTES

COLUMNA PENGLON	1	2	3	4	5	6	7
1	2.40000E+06	-2.78194E+03	6.21987E+03	1.40135E+03	4.45697E+02	1.91797E+02	8.80934E+01
2	4.80000E+06	-3.68761E+03	5.33373E+01	7.62127E+03	1.85704E+03	6.47495E+02	2.79891E+02
3	7.20000E+06	-3.57615E+03	-1.03008E+03	1.45468E+03	8.07692E+03	2.04884E+03	7.35588E+02
4	9.60000E+06	-2.98858E+03	6.73045E+02	3.62667E+02	1.91030E+03	8.26872E+03	2.13694E+03
5	1.20000E+07	-1.87800E+03	7.24491E+02	7.11930E+02	8.18364E+02	2.10218E+03	8.35681E+03

6	1.44000E+07	-1.72629E+02	3.24973E+03	2.12584E+03	1.18400E+07	1.01016E+03	2.19027E+03
7	0.00000E+00	2.00000E+00	4.00000E+00	4.00000E+00	4.00000E+00	4.00000E+00	4.00000E+00
8	0.00000E+00	2.00000E+00	1.40000E+01	3.20000E+01	4.00000E+01	6.40000E+01	8.00000E+01

COLUMNA RENGLON	B
1	2.52913E+01
2	7.73021E+01
3	1.92476E+02
4	4.71685E+02
5	1.40402E+03
6	4.19663E+03
7	2.00000E+00
8	4.40000E+01

TERMINOS INDEPENDIENTES

ECUACION	VALOR
1	2133.0100
2	219788.2000
3	292779.2000
4	2285685.0000
5	2670427.0000
6	21343690.0000
7	2132.8200
8	225593.8000

SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES

GIRO EN EL NUDO	1	-5.71419E-03	RADIANES
REACCION EN EL PUNTO	1	1.93303E+02	EN TON/M
REACCION EN EL PUNTO	2	6.45093E+01	EN TON/M
REACCION EN EL PUNTO	3	7.05443E+01	EN TON/M
REACCION EN EL PUNTO	4	6.92290E+01	EN TON/M
REACCION EN EL PUNTO	5	7.05443E+01	EN TON/M
REACCION EN EL PUNTO	6	6.45093E+01	EN TON/M
REACCION EN EL PUNTO	7	1.93303E+02	EN TON/M

DESPLAZAMIENTOS TOTALES

DE 1 = 1.72629E+02 METROS
 DE 2 = 1.92476E+02 METROS
 DE 3 = 1.92476E+02 METROS

DEC 6 1941 - 1, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31
DEC 5 1941 - 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31
DEC 4 1941 - 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31
DEC 3 1941 - 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31

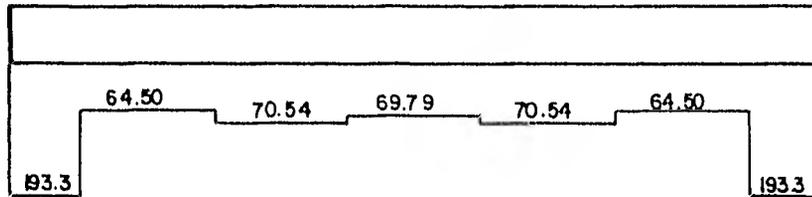


FIG. 5.2.2 REACCIONES, EN TON/M.

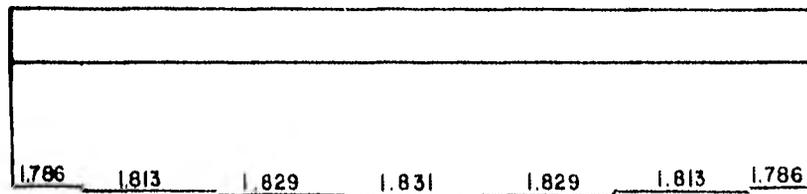


FIG. 5.2.3 DESPLAZAMIENTOS, EN M.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES

En capítulos anteriores hemos visto y analizado el desarrollo y las condiciones necesarias para la elaboración del presente trabajo, que trata del procedimiento propuesto por el Ing. Agustín Deméneghi para problemas de interacción suelo estructura en vigas flotantes.

Como ya se mencionó antes, este es un tema que se ha tratado relativamente poco y que por consiguiente los métodos o procedimientos propuestos resultan en general demasiado laboriosos; en cambio el procedimiento expuesto en este trabajo pretende ser lo más sencillo y práctico; cabe señalar que la sencillez no le resta importancia a este, ya que los resultados con respecto a otros métodos más elaborados son aproximadamente los mismos. A continuación mencionaremos algunas de las conclusiones a las que se llegaron.

La sencillez de este procedimiento, estriba principalmente en que es posible hacer un algoritmo del problema; como consecuencia de lo anterior, es posible hacer un programa de computadora; la utilización de este programa presenta una gran ayuda, ya que tenemos una disminución de tiempo y menos probabilidades de error.

En este procedimiento se trabaja solo en el plano y esta condición es importante de considerar ya que relativamente es

una restricción.

El procedimiento se analiza para un suelo con determinada estatigrafía y consecuentemente con diferentes características, que están consideradas en la solución final del problema que se plantee.

Para este procedimiento requerimos de los módulos de rigidez tanto del suelo como de la estructura y la precisión del procedimiento radica principalmente en la exactitud de estos datos.

Otra cosa también importante, es la gran ayuda que se tiene al usar una microcomputadora como herramienta en la solución de este tipo de problemas, además que estas máquinas han tenido gran desarrollo y debido a ello es posible tener una de ellas en cualquier despacho. Además en este trabajo se presenta el programa de computadora que nos ayuda en la solución del problema.

BIBLIOGRAFIA.

- DEMENECHI C. A. "Un Método Para el Análisis Conjunto de la Estructura y el Suelo", Rev. Ingeniería, Ed. Nueva Epoca, Vol. XLIX, N° 3, Feb. 1980.
- DEMENECHI C. A. "Interacción Suelo-Estructura: Reacción -- Repartida del Terreno".
- DEMENECHI C. A. "Análisis de Pilotes Sujetos a Cargas Laterales". X Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Morelia, Mich., 1980.
- FLORES O. M. "Programa de Computadora Para la Interacción Suelo-Estructura en un Pilote de Sección Variable", Tesis Profesional, 1981.
- JUAREZ BADILLO Y RICO R. "Mecánica de Suelos", Tomo I, -- Cap. X, Tomo II, Cap. II, III y VIII, Ed. Limusa, 1976.
- LUTHE R. "Análisis Estructural", Cap. 5, Representaciones y Servicios de Ingeniería, México, 1971.
- LUTHE R. "Manual de Lenguaje BASIC", Ed. Limusa, 1977.
- POZAS E. M. "Un Ejemplo del Análisis de la Interacción --- Suelo Estructura", Tesis Profesional, 1980.
- ZEEVAERT L. "Interacción Suelo-Estructura de Cimentación", Ed. Limusa, 1980.
- Programa de Computadora Para el Análisis de Interacción, - A. Deménechi y César Hernández, 1980.
- Programa de Computadora Para el Análisis de Interacción, - M. Flores, 1981.