

162
2 Glm.



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

“APLICACIONES DE INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA”

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO CIVIL

P r e s e n t a :

GRACIELA EUGENIA REYES GONZALEZ



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

**APLICACIONES DE
INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA**

**Graciela E. Reyes González.
UNAH/1985.**

INDICE

1. Introducción	1
2. Fundamentos del Método Interacción Suelo-Estructura	3
2.1. Introducción	3
2.2. Análisis conjunto de la Estructura y el Suelo	6
2.3. 1a. Etapa: Análisis Estructural	8
2.3.1. Matriz de Rigidez de la Estructura	8
2.3.2. Desplazamiento vertical en la cimentación a la mitad del entre eje	13
2.3.3. Vector de cargas	14
2.4. 2a. Etapa: Análisis de Asentamientos del Terreno	17
2.5. 3a. Etapa: Compatibilidad de Desplazamientos	20
2.6. Ejemplo de Cálculo Manual	21
2.6.1. Análisis Estructural	21
2.6.2. Análisis de Asentamientos	24
2.6.3. Compatibilidad de Desplazamientos	26
3. Programa de Microcomputadora	27
3.1. Descripción de la máquina	27
3.2. Descripción del Programa	27
3.3. Instructivo para el Usuario	28
3.3.1. Objetivos	28
3.3.2. Alcances y Restricciones	28
3.3.3. Corrida del Programa	29
4. Ejemplos de Aplicación	46
4.1. Ejemplo de Cálculo Manual	47
4.2. Edificio de Apartamentos	48
4.3. Casa Habitación	50
5. Conclusiones	52
Bibliografía	56
Apéndices	

CAPITULO I. INTRODUCCION.

===== == =====

!Cuánto mayor sentido tiene ahora la vida!
!hay una razón para vivir!
Podremos alzarnos sobre nuestra ignorancia,
podremos descubrirnos como criaturas de
perfección, inteligencia y habilidad
!Podremos ser libres!
!Podremos aprender a volar!

Juan Salvador Gaviota
un relato
(Fragmento)
Richard Bach

1. INTRODUCCION

== =====

En los Análisis Estructurales convencionales se considera que la estructura esta empotrada o articulada en su cimentación o se supone una presión de contacto uniforme, y además el cálculo de hundimientos del terreno se realiza considerando la cimentación totalmente flexible o rígida, lo cual en ambos casos dista mucho de la realidad, por ello la necesidad de desarrollar métodos de análisis que relacionen las características de la estructura y el suelo como un conjunto para que trabajen como una unidad, además, el diseño de piezas estructurales resultaría económico y el factor de seguridad a emplear no sería tan alto.

La Interacción entre la Estructura y el Suelo consistirá en encontrar un sistema de reacciones que aplicados simultáneamente a la estructura y a la masa del suelo produzcan la misma configuración de desplazamientos diferenciales entre los dos elementos, para lograr lo anterior, será necesario basarse por un lado en las leyes físicas que rigen el comportamiento de la masa del suelo y por otro en los procedimientos nominales de cálculo estructural en la determinación de fuerzas y deformaciones, tomando en cuenta las propiedades mecánicas del material con el cual será construida la estructura.

En este trabajo se hace referencia a la aplicación práctica que se puede obtener del estudio llamado "Análisis Interacción Suelo-Estructura".

A continuación se explica de una manera breve el contenido de cada capítulo:

En el capítulo 2o., se hace un estudio de los elementos fundamentales del análisis, desde su planteamiento teórico, hasta las ecuaciones empleadas para la resolución de los problemas, terminando con un ejemplo sencillo, de cálculo manual.

En el capítulo 3o., se explica como hay que ejecutar o correr el programa, desdoblado paso a paso lo que el programa despliega en pantalla, que hacer cuando exista algun error en su proceso, como hacer la selección de opciones, etc.

En el capítulo 4o., se muestran los resultados obtenidos de los análisis hechos a estructuras en

servicio; el planteamiento y características de los mismos, así como del ejemplo de cálculo manual para verificar de esta forma la confiabilidad de los resultados de microcomputadora. Se incluye además, el tiempo transcurrido desde la selección de opción hasta que el proceso nos regresa nuevamente a la pantalla menú.

En el capítulo 5o., se expone las conclusiones a las que se llegaron al emplear este método a diferencia de los tradicionalmente conocidos.

CAPITULO II. FUNDAMENTOS DEL METODO DE
=====

INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA
=====

No está en la naturaleza de las cosas que el hombre realice un descubrimiento súbito e inesperado; la ciencia avanza paso a paso y cada hombre depende del trabajo de sus predecesores.
Sir Ernest Rutherford
(1871 - 1937)

2. FUNDAMENTOS DEL METODO DE INTERACCION SUELO ESTRUCTURA

2.1) INTRODUCCION

El problema que se presenta para plantear la cimentación de las estructura y determinar los hundimientos totales y diferenciales sobre suelos de mediana a alta compresibilidad, así como los elementos mecánicos que son: momentos flexionantes, fuerza cortante y fuerza normal, tanto de la subestructura como de la superestructura ocasionadas por los hundimientos de la cimentación dependen de la compresibilidad del suelo y de la rigidez de la estructura (Deméneszhi 1982).

Habitualmente se ha considerado en los Análisis Estructurales convencionales la estructura empotrada o articulada en su cimentación, o se supone una presión de contacto uniforme, y en el Análisis de Mecánica de Suelos, el cálculo de hundimientos del terreno se realiza considerando la cimentación completamente flexible o rígida, en ambos casos dista mucho de la realidad, por ello la necesidad de desarrollar métodos de Análisis Estructural para tomar en cuenta los efectos de los hundimientos, y al mismo tiempo permitan calcular los valores de estos últimos.

Algunas consideraciones hechas sobre la distribución de asentamientos y de esfuerzos (Juárez Badillo y Rico Rodríguez 1975, Pozas 1980) son:

1a.- Un área uniformemente cargada sobre una superficie totalmente flexible, en un medio linealmente elástico.

Debido a su flexibilidad las presiones que el área cargada transmite al suelo serán idénticas a la presión uniforme sobre el área y el asentamiento no será igual en toda la superficie, sino que tendrá un valor diferente al centro del área cargada que al de la periferia (fig. 2.1a y 2.1b).

En la práctica, el asentamiento inmediato (excluyendo el asentamiento por consolidación), debido exclusivamente a cambio de forma, de un área flexible apoyada en arcilla saturada con carga uniforme presenta un perfil determinado, máximo al centro y mínimo en la periferia (fig. 2.1a), en cambio, cuando el área se encuentra sobre arenas o gravas el perfil mostrado es otro, ya que los materiales gruesos poseen la propiedad de aumentar

su rigidez con el confinamiento, por ello, será máximo en la zona central cargada y mínima en la periferia (fig. 2.1b).

2o.- Un área uniformemente cargada sobre una placa infinitamente rígida, en un medio linealmente elástico.

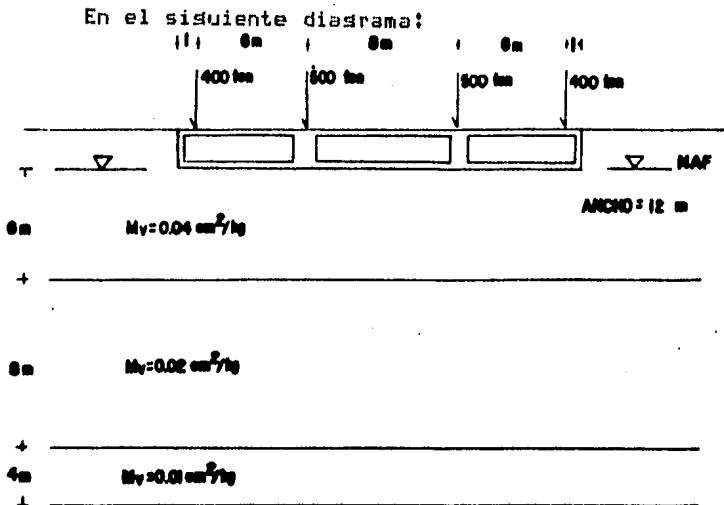
Considerese ahora la carga transmitida al suelo por medio de una placa infinitamente rígida, es obvio, debido a su rigidez que la placa se asentará uniformemente, entonces la presión de contacto entre placa y medio, no podrá ser uniforme (fig. 2.2a y 2.2b).

Conjuntando el punto 1o. con el punto 2o., para llegar a un asentamiento uniforme se deberá:

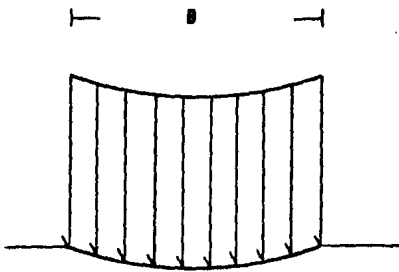
a) En caso de arcillas saturadas; disminuir el asentamiento en la parte central (disminución de presión), y aumentando dicha tendencia en las orillas (aumento de presión) (fig. 2.2a).

b) Cuando se apoya en arenas o gravas, medio cuya rigidez aumenta con el confinamiento, conduce a una distribución en la cual la presión es máxima bajo el centro del área cargada y mucho menos bajo la periferia (fig. 2.2b).

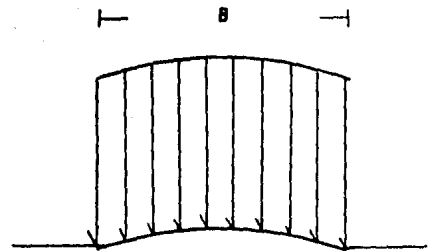
De los incisos anteriores se ve que en los diagramas de reacción del terreno y de asentamientos, dependen de la rigidez de la placa y de las características de compresibilidad del suelo



Sección transversal de cimentación tipo caja.

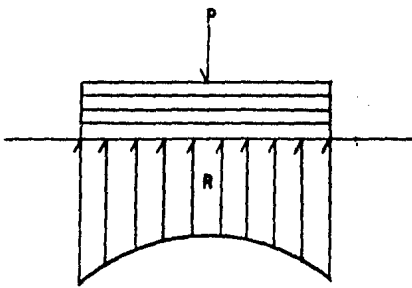


a) Sobre arcilla saturada

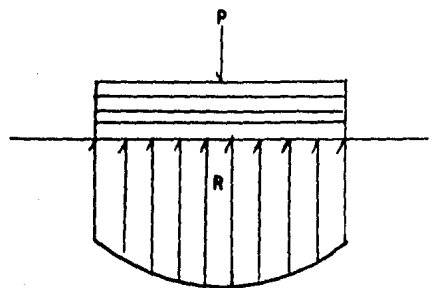


b) Sobre suelos friccionantes

FIG.2.1 PERFIL DE ASENTAMIENTOS BAJO UN AREA UNIFORMEMENTE CARGADA SOBRE LA SUPERFICIE DE UN MEDIO SEMI-INFINITO.



a) Medio homogéneo y elástico



b) Medio cuyo *rigidez* aumenta con el confinamiento

FIG.2.2 DISTRIBUCION DE PRESIONES BAJO UNA PLACA INFINITAMENTE RIGIDA.

se presenta una cimentación semiflexible de tipo cajón, con la geometría y cargas indicadas en la misma apoyada sobre una serie de estratos de suelo compresible. En los resultados de el análisis estructural convencional y los resultados de un análisis de Interacción Suelo-Estructura, tomando en cuenta las rigideces de la estructura y del suelo (Zeevaert 1973), se observa que la presión de contacto tiende a concentrarse en los extremos de la cimentación, para efectos comparativos se presenta los resultados obtenidos en el análisis convencional puede verse la gran diferencia entre los momentos flexionantes de uno y otro (fig. 2.3), en el centro del claro el momento flexionante tomando en cuenta la rigidez de la estructura, resulta del orden de la mitad del mismo para una reacción uniforme, además, en el Diagrama de Momentos Flexionantes (DMF), algunos puntos presentan cambio de signo para el análisis Interacción Suelo-Estructura (ISE).

De acuerdo a las observaciones anteriores es obvia la importancia de tomar en cuenta la rigidez de la estructura al hacer el análisis de su cimentación, sobre todo para determinar de una manera más realista los asentamientos diferenciales y los elementos mecánicos sobre esta.

Cabe aclarar, que no en todas las cimentaciones se presenta el problema de determinar la distribución de la presión de contacto y de los asentamientos, como en el caso de: zapatas aisladas de dimensiones comunes en ingeniería.

La discrepancia entre la reacción uniforme y la reacción real es mínima, y queda cubierta con los factores de seguridad empleada en la práctica al diseñar la pieza estructural. Con respecto a toda la estructura, en suelos muy rígidos, los asentamientos totales y diferenciales son muy pequeños y no se requiere tomar en cuenta en el análisis estructural. Por estas razones en este trabajo se considera sólo el caso de estructuras cimentadas sobre suelos de mediana a alta compresibilidad, en las cuales los asentamientos diferenciales tienen importancia para su comportamiento.

El siguiente procedimiento nos sirve para analizar en forma conjunta la estructura y el suelo, teniendo como ventaja su relativa sencillez de uso, el cual no presenta el inconveniente de efectuar iteraciones para

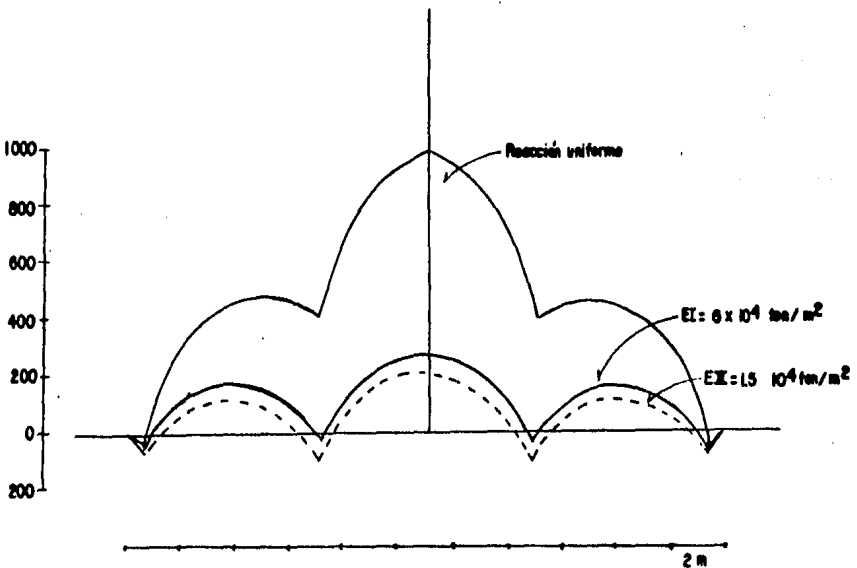
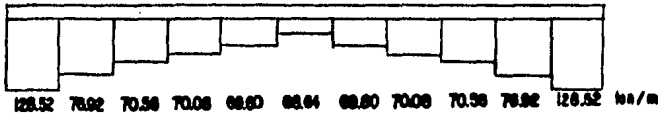
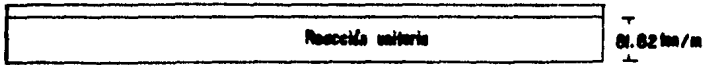


FIG.2.3 DIAGRAMAS COMPARATIVOS DE MOMENTOS FLEXIONANTES CON REACCIÓN UNIFORME Y NO UNIFORME DEL TERRENO.

realizarlo (Deméneschi 1979).

2.2) Análisis conjunto de la Estructura y el Suelo

El método de análisis que se presenta en este trabajo, fue desarrollado por el M. en I. Agustín Deméneschi Colina, profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Se tiene una estructura apoyada sobre un suelo de mediana a alta compresibilidad (fig. 2.4a), cuya cimentación podrá ser resuelta a base de zapatas corridas, o mediante una losa con contratraves de concreto armado, además se quiere determinar los hundimientos totales y diferenciales, así como sus elementos mecánicos, tanto en la cimentación como en la superestructura.

Planteamiento del problema:

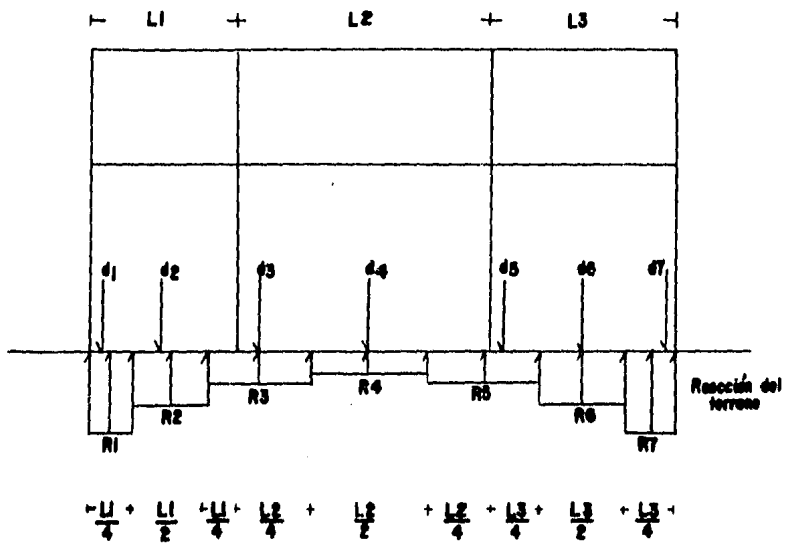
Supóngase como incógnita la reacción del terreno al principio del análisis, y considérese no uniforme a lo largo de la cimentación, para lo cual se discretiza como cargas uniformemente repartidas bajo las columnas y bajo los puntos medios de los contratraves (fig. 2.4a).

Consecuentemente quedarán definidos los desplazamientos lineales o asentamientos de la cimentación, que se localizan bajo las columnas y bajo los puntos medios de los contratraves.

1a. Etapa:

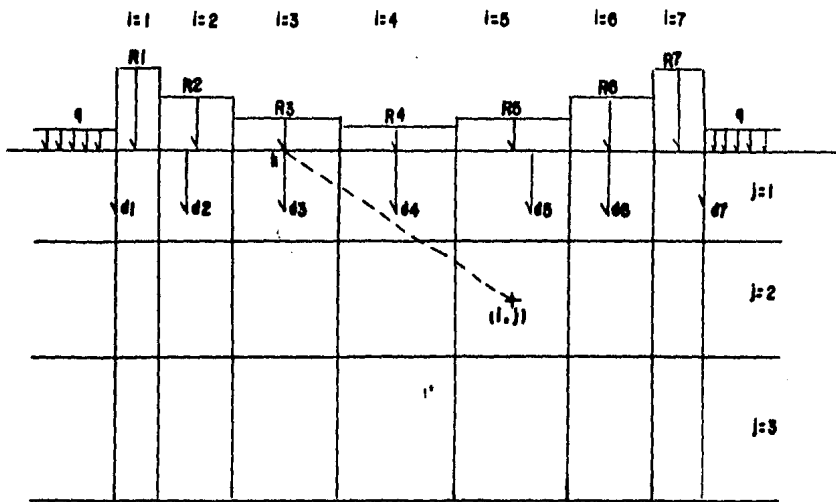
Para la realización del análisis de Interacción Suelo-Estructura (ISE), se necesita efectuar el Análisis Estructural, empleando el Método de Rigideces, este se realiza en forma tradicional, pero introduciendo como cargas en la estructura las reacciones del terreno, definidas anteriormente, en esta etapa el valor de dichas reacciones no se conoce (fig. 2.4a).

Al utilizar el método de rigideces se conoce la matriz de rigidez y el vector de cargas de la estructura y se desconoce el vector de desplazamientos (al referirnos a los desplazamientos lineales lo hacemos tanto en la estructura como en la cimentación), sin embargo en nuestro caso tampoco conocemos el vector de cargas completo, ya que la reacción del terreno también es



$$-\frac{L_1}{4} + \frac{L_1}{2} - \frac{L_1}{4} + \frac{L_2}{4} + \frac{L_2}{2} + \frac{L_2}{4} + \frac{L_3}{2} + \frac{L_3}{4} - \frac{L_3}{4}$$

a) Análisis estructural



b) Análisis de compatibilidad

FIG. 2.4 PLANTAMIENTO GENERAL DEL ANÁLISIS DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA.

incógnita.

2a. Etapa:

En este punto para ISE, se efectúa el Análisis de Hundimientos del Terreno. En esta etapa se consideran las reacciones del terreno, como cargas rectangulares uniformemente repartidas en la superficie (fig. 2.4b).

Con alguna teoría de asentamientos se calculan las deformaciones del terreno bajo las columnas y bajo los puntos medios de las contratraves de la cimentación; los asentamientos así calculados, estarán en función de las reacciones del terreno.

En este momento se tiene un sistema de ecuaciones resultante de la aplicación del método de residuos, en el cual se tienen como incógnitas:

- a) Los síros $t(i)$,
- b) Los desplazamientos lineales $d(i)$, tanto de la superestructura como de la cimentación;
- c) Las reacciones $r(i)$ del terreno.

Por otro lado tenemos como resultado del análisis de asentamientos:

- d) Una serie de ecuaciones representativas de las reacciones del terreno $r(i)$,
- e) y los desplazamientos lineales $d(i)$ en función de las reacciones del terreno $r(i)$.

En este momento ya efectuados los cálculos de los análisis tanto de la estructura como de los hundimientos, se continúa con la:

3a. Etapa:

Denominada Compatibilidad de Desplazamientos, en esta etapa final se reúnen los resultados obtenidos en los análisis anteriores, donde se establece que sean compatibles los desplazamientos de la cimentación y los asentamientos del terreno, es decir, deben ser iguales. Esta compatibilidad se logra al sustituir las ecuaciones resultantes del análisis de asentamientos, en el sistema de ecuaciones obtenido en el análisis estructural; de esta sustitución se obtiene un nuevo sistema de ecuaciones, con las siguientes incógnitas:

desplazamientos lineales de la superestructura, los siros y las reacciones del terreno.

Resolviendo este ultimo sistema de ecuaciones, podremos calcular los desplazamientos lineales de la cimentación los cuales están en función de las reacciones del terreno (resultado del análisis de asentamientos).

Conocidos los siros y desplazamientos lineales de la estructura y cimentación, se calculan; los momentos flexionantes, las fuerzas cortantes y las fuerzas normales en toda la estructura.

Como se puede ver el análisis de Interacción Suelo-Estructura, básicamente, se ejecuta en tres etapas fundamentales; Análisis Estructural, Análisis de Hundimientos del Terreno y Compatibilidad de Desplazamientos.

En los siguientes incisos, se desarrollan cada una de las tres etapas en donde se basa el analisis Interacción Suelo-Estructura.

2.3) 1a. Etapa. Análisis Estructural.

Se utiliza el método de rigideces, en el cual se conocen la matriz de rigidez (K) el vector de cargas (Q), y se desconoce el vector de desplazamientos (d), es decir:

$$K d = Q \quad (2.1)$$

Para la realización de este análisis, es necesario formar la matriz de rigidez K de la estructura y el vector de cargas Q, para posteriormente determinar los desplazamientos d, mediante la solución del sistema de ecuaciones resultantes.

2.3.1) Matriz de Rigidez de la Estructura

El método empleado en este Programa es el de rigideces tratado por Beaufit (1970), por ser susceptible de programar.

El planteamiento general consiste en encontrar la matriz de rigidez de cada una de las barras para posteriormente determinar la matriz de rigidez de toda

la estructura; esto se logra acomodando los elementos de las matrices de rigidez de cada una de las barras, en el lugar que le corresponde en la matriz de rigidez de toda la estructura.

Un elemento $K(i,J)$ de la matriz de rigidez de la estructura, representa la fuerza que aparece en el grado de libertad i al haber un desplazamiento unitario en el grado de libertad J .

De igual forma, un elemento $k(i,m)$ de la matriz de rigidez de una barra, representa la fuerza generada en el grado de libertad i al haber un desplazamiento unitario en el grado de libertad m .

Considerando lo anterior, un elemento $K(i,J)$ de la matriz de rigidez de la estructura, se formará sumando los elementos de la matriz de rigidez de cada barra, coincidentes con los grados de libertad concurrentes en dicho elemento.

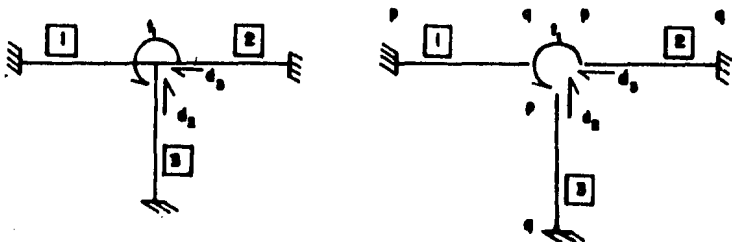
Definición: Elemento-Barra y Matriz de Rigidez

Beaufait, propone los grados de libertad existentes en una barra al despreciar la deformación axial de la misma, (fig. 2.5), los grados de libertad asociados a una barra con sus apoyos completos son cuatro: un giro y un desplazamiento lineal en el extremo P y un giro y un desplazamiento lineal en el extremo a . Por esta razón la matriz de rigidez de una barra con sus apoyos completos es una matriz de 4×4 :

$$k = \begin{matrix} & \begin{matrix} t_P & t_a & d_P & d_a \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} k(1,1) & k(1,2) & k(1,3) & k(1,4) \\ k(2,1) & k(2,2) & k(2,3) & k(2,4) \\ k(3,1) & k(3,2) & k(3,3) & k(3,4) \\ k(4,1) & k(4,2) & k(4,3) & k(4,4) \end{bmatrix} & \begin{matrix} t_P \\ t_a \\ d_P \\ d_a \end{matrix} \end{matrix}$$

(2.2)

Supongase la siguiente estructura:



Grados de libertad en una estructura y correspondencia en cada barra.

Como se muestra en la figura, se ve un giro y dos desplazamientos lineales, la matriz de rigidez de esa estructura sera de 3*3:

$$K = \begin{matrix} & \begin{matrix} t_1 & d_2 & d_3 \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} K(1,1) & K(1,2) & K(1,3) \\ K(2,1) & K(2,2) & K(2,3) \\ K(3,1) & K(3,2) & K(3,3) \end{bmatrix} & \begin{matrix} t_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{matrix} \end{matrix}$$

(2.3)

Se establece el elemento $k(i,j,n)$ como la fuerza en el grado de libertad i al haber un desplazamiento unitario en el grado de libertad j correspondiente a la barra n .

De acuerdo a lo anterior, los elementos de la matriz de rigidez de toda la estructura se calculan, como la suma de los elementos de las matrices de rigidez de cada barra, contribuyentes a la rigidez del elemento en formación.

El elemento $K(1,1)$ de la matriz de rigidez de la estructura representa la fuerza que aparece en el grado de libertad 1 al haber un desplazamiento unitario en el mismo grado de libertad 1. habra un desplazamiento unitario en el grado de libertad t_1 , la fuerza que aparece en ese mismo grado de libertad esta representada por el elemento $k(2,2,1)$, en el elemento $K(1,1)$ (ec. 2.2).

Para la barra 2 el grado de libertad asociado al grado de libertad 1 de la estructura es el giro t_1 , por lo que la barra 2 contribuye con el elemento $k(1,1,2)$ en el elemento $K(1,1)$.

Para la barra 3 el grado de libertad asociado al grado de libertad 1 de la estructura, también es el giro t_1 , por lo tanto la barra 3 contribuye con el elemento $k(1,1,3)$ en el elemento $K(1,1)$, finalmente:

$$K(1,1) = K(2,2,1) + K(1,1,2) + K(1,1,3).$$

Ahora vemos como se forma el elemento $K(1,2)$ de la matriz de rigidez de la estructura. Este elemento representa la fuerza en el grado de libertad 1 al haber un desplazamiento unitario en el grado de libertad 2.

Para la barra 1 el grado de libertad 1 de la estructura es el giro t_1 y el grado de libertad 2 es el desplazamiento lineal d_2 ; por lo tanto la barra 1

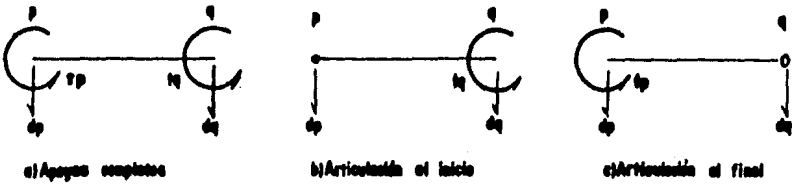


FIG. 2.5 GRADOS DE LIBERTAD EN BARRAS NORMALES.

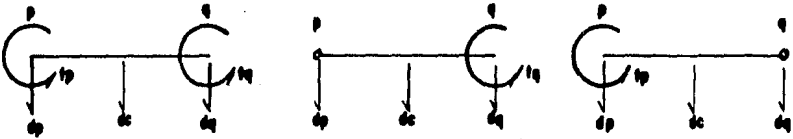


FIG. 2.6 GRADOS DE LIBERTAD EN BARRAS DE MOMENTO EN LOS EXTREMOS.

contribuye con el elemento $k(2,4,1)$ en el elemento $K(1,2)$ (ec. 2.2).

Para la barra 2 los grados de libertad 1 y 2 son el giro θ y el desplazamiento lineal d respectivamente; por lo tanto la barra 2 contribuye con el elemento $k(1,3,2)$ en el elemento $K(1,2)$.

Para la barra 3 el grado de libertad 1 es el giro θ ; sin embargo, el grado de libertad 2 no está definido en esta barra (al desprejiciarse la deformación axial); esta barra no contribuye a la rigidez que representa el elemento $K(1,2)$; entonces:

$$K(1,2) = k(2,4,1) + k(1,3,2).$$

Los demás elementos de la matriz de rigidez de la estructura se determinan en forma similar y se presentan a continuación:

$$K = \begin{bmatrix} k(2,2,1)+k(1,1,2)+k(1,1,3) & k(2,4,1)+k(1,3,2) & k(1,2,2) \\ k(4,2,1)+k(3,1,2) & k(4,4,1)+k(3,3,2) & 0 \\ k(3,1,3) & 0 & k(3,3,3) \end{bmatrix} \begin{matrix} D1 \\ D2 \\ D3 \end{matrix}$$

(2.4)

Una forma de sistematizar el proceso anterior es colocar un indicador, en las renglones y columnas de la matriz de rigidez de cada barra, que nos muestre los grados de libertad de la estructura asociados a dicha barra.

PARA	N=1	-	1	-	?			
	N=2	1	-	?	-			
	N=3	1	-	?	-			
						N=1	N=2	N=3

$$K = \begin{bmatrix} k(1,1,N) & k(1,2,N) & k(1,3,N) & k(1,4,N) \\ k(2,1,N) & k(2,2,N) & k(2,3,N) & k(2,4,N) \\ k(3,1,N) & k(3,2,N) & k(3,3,N) & k(3,4,N) \\ k(4,1,N) & k(4,2,N) & k(4,3,N) & k(4,4,N) \end{bmatrix} \begin{matrix} - & 1 & 1 \\ 1 & - & - \\ 1 & 2 & 3 \\ 2 & - & - \end{matrix}$$

(2.5)

Ahora bastará colocar cada elemento de la matriz de rigidez de una barra, en el renglón y columna de la matriz de rigidez de la estructura que nos muestran los indicadores del renglón y columna del elemento a colocar. El símbolo indica que en esa barra no existe ese grado de libertad, es decir, no tiene desplazamiento la estructura en esa dirección; esto se debe a las condiciones de apoyo (condiciones de frontera) (ec. 2.4).

Se presenta a continuación la matriz de rigidez de una barra con sus apoyos completos (empotramientos), y las correspondientes para una barra con un apoyo completo y uno articulado (fig. 2.5).

Caso 1: Barra con apoyos completos.

$$k = \begin{bmatrix} t_p & t_a & d_p & d_a \\ 4 EI/L & 2 EI/L & -6 EI/L^2 & 6 EI/L^2 \\ 2 EI/L & 4 EI/L & -6 EI/L^2 & 6 EI/L^2 \\ -6 EI/L^2 & -6 EI/L^2 & 12 EI/L^3 & -12 EI/L^3 \\ 6 EI/L^2 & 6 EI/L^2 & -12 EI/L^3 & 12 EI/L^3 \end{bmatrix} \begin{matrix} t_p \\ t_a \\ d_p \\ d_a \end{matrix}$$

(2.6)

Caso 2: Barra con articulación al inicio.

$$k = \begin{bmatrix} t_P & t_a & d_P & d_a \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 EI/L & -3 EI/L^2 & 3 EI/L^2 \\ 0 & -3 EI/L^2 & 3 EI/L^3 & -3 EI/L^3 \\ 0 & 3 EI/L^2 & -3 EI/L^3 & 3 EI/L^3 \end{bmatrix} \begin{matrix} t_P \\ t_a \\ d_P \\ d_a \end{matrix}$$

(2.7)

Caso 3: Barra con articulación al final.

$$k = \begin{bmatrix} t_P & t_a & d_P & d_a \\ 3 EI/L & 0 & -3 EI/L^2 & 3 EI/L^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -3 EI/L^2 & 0 & 3 EI/L^3 & -3 EI/L^3 \\ 3 EI/L^2 & 0 & -3 EI/L^3 & 3 EI/L^3 \end{bmatrix} \begin{matrix} t_P \\ t_a \\ d_P \\ d_a \end{matrix}$$

(2.8)

Donde:

E = Módulo de elasticidad del material que forma la barra.

I = Momento de inercia de la sección transversal de la barra.

L = Longitud de la barra.

t_P = Giro en el nudo P.

t_a = Giro en el nudo a.

d_P = Desplazamiento lineal en el nudo P.

d_a = Desplazamiento lineal en el nudo a.

2.3.2) Desplazamiento vertical en la cimentación a la mitad del entre eje.

En las barras de cimentación se definió un grado de libertad adicional (fig. 2.4), que es el desplazamiento lineal a la mitad del entre eje (d_c) (fig. 2.6), este representa una incógnita extra en el vector de

desplazamientos en el análisis estructural, debido a ello es necesario establecer una ecuación adicional, utilizando el método de la viga conjugada obtenemos:

1.- Barra con apoyos completos:

$$(EI/L)t_p - (EI/L)t_a - 8(EI/L^2)d_p + 16(EI/L^2)d_c - 8(EI/L^2)d_a + (L^2 r_p)/256 + 13(L^2 r_c)/384 + (L^2 r_a)/256 = (wL^2)/24$$

(2.9)

2.- Barra con articulación a la izquierda (inicio):

$$-3(EI/L)t_p - 5(EI/L^2)d_p + 16(EI/L^2)d_c - 11(EI/L^2)d_a + 91(L^2 r_p)/6144 + 3(L^2 r_c)/48 + 37(L^2 r_a)/6144 = (wL^2)/12$$

(2.10)

3.- Barra con articulación a la derecha (final):

$$3(EI/L)t_p - 11(EI/L^2)d_p + 16(EI/L^2)d_c - 5(EI/L^2)d_a + 37(L^2 r_p)/6144 + 3(L^2 r_c)/48 + 91(L^2 r_a)/6144 = (wL^2)/12$$

(2.11)

2.3.3) Vector de Cargas.

El vector de cargas (Q), representa las cargas o fuerzas externas en los nudos de la estructura. El Elemento Q(i), representa la fuerza externa aplicada en el grado de libertad correspondiente, satisfaciendo la condición de equilibrio representada por:

$$K d = Q \quad (2.1)$$

Fuerzas Internas = Fuerzas Externas Aplicadas.

Las cargas aplicadas en las barras es necesario expresarlas como cargas equivalentes aplicadas en los nudos, por ello para el análisis hay la necesidad de descomponerlas (fig. 2.7):

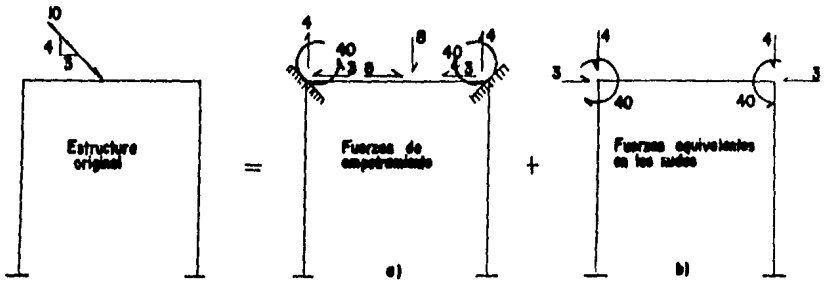


FIG. 2.7 FUERZAS DE EMPOTRAMIENTO Y FUERZAS EQUIVALENTES EN LOS NUDOS.

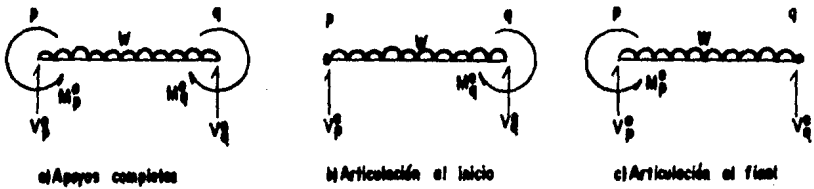


FIG. 2.8 MOMENTOS Y CORTANTES DE EMPOTRAMIENTO EN BARRAS NORMALES.

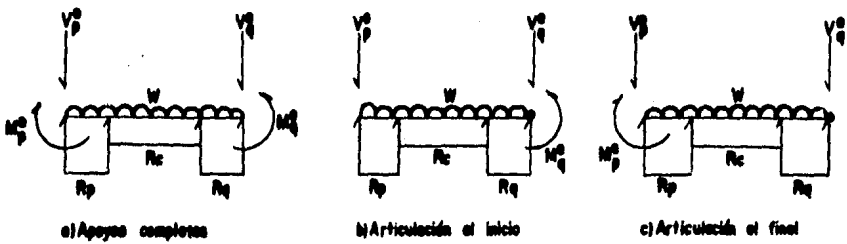


FIG. 2.9 MOMENTOS Y CORTANTES DE EMPOTRAMIENTO EN BARRAS DE CIMENTACION.

1a. fase, se restringe en la estructura los desplazamientos (giros y desplazamientos lineales), provocando de esta manera, momentos y cortantes de empotramiento (fig. 2.7a),

2a. fase, los cortantes y momentos de empotramiento obtenidos se aplican en los nudos correspondientes con signo contrario, obteniendo así fuerzas equivalentes en los nudos (desplazamientos) (fig. 2.7b).

Para finalizar este análisis, se superpondrán los resultados obtenidos de las fases anteriores; los desplazamientos serán los resultantes de la 2a. fase, mientras en la 1er. fase será la suma de los elementos mecánicos en las barras; momentos y cortantes de empotramiento, más momentos y cortantes adicionales debidos a los desplazamientos en los nudos.

Por las diferentes condiciones de apoyo consideradas, los momentos y cortantes de empotramientos resultantes por una carga uniformemente repartida (w), a lo largo de la barra (fig. 2.8), serán:

1er. caso) Barra con Apoyos Completos:

$$\begin{aligned} M_e P &= (w * L^2) / 12 & V_e P &= -(w * L) / 2 \\ M_e a &= -(w * L^2) / 12 & V_e a &= -(w * L) / 2 \end{aligned} \quad (2.12)$$

2o. caso) Barra con Articulación al Inicio:

$$\begin{aligned} M_e P &= 0 & V_e P &= -3 * (w * L) / 8 \\ M_e a &= -(w * L^2) / 8 & V_e a &= -5 * (w * L) / 8 \end{aligned} \quad (2.13)$$

3er. caso) Barra con articulación al final:

$$\begin{aligned} M_e P &= (w * L^2) / 8 & V_e P &= -5 * (w * L) / 8 \\ M_e a &= 0 & V_e a &= -3 * (w * L) / 8 \end{aligned} \quad (2.14)$$

Para las barras de cimentación, es necesario conocer los momentos y cortantes de empotramiento debidos a las reacciones del terreno ($r(i)$) (fig. 2.9), lo mismo que en los casos anteriores, debido a las diferentes condiciones de apoyo, tenemos:

1er. caso: Barra con Apoyo Completo:

$$M_e P = -67(L^2 r_p) / 3072 - 11(L^2 r_c) / 192 - 13(L^2 r_a) / 3072$$

$$M_e a = 13(L^2 r_p) / 3072 + 11(L^2 r_c) / 192 + 67(L^2 r_a) / 3072$$

$$V_e P = 121(L r_p) / 512 + (L r_c) / 4 + 7(L r_a) / 512$$

$$V_e a = 7(L r_p) / 512 + (L r_c) / 14 + 121(L r_a) / 512$$

(2.15)

2o. caso: Barra con Articulación al Inicio:

$$M_e P = 0$$

$$M_e a = 31(L^2 r_p) / 2048 + 11(L^2 r_c) / 128 + 49(L^2 r_a) / 2048$$

$$V_e P = 479(L r_p) / 2048 + 43(L r_c) / 128 + 113(L r_a) / 2048$$

$$V_e a = 33(L r_p) / 2048 + 21(L r_c) / 128 + 399(L r_a) / 2048$$

(2.16)

3er. caso: Barra con Articulación al Final:

$$M_e P = -49(L^2 r_p) / 2048 + 21(L r_c) / 128 - 31(L^2 r_a) / 2048$$

$$M_e a = 0$$

$$V_e P = 113(L r_p) / 2048 + 43(L r_c) / 128 + 479(L r_a) / 2048$$

$$V_e a = 399(L r_p) / 2048 + 21(L r_c) / 128 + 33(L r_a) / 2048$$

(2.17)

Resultado del análisis estructural, se tiene un sistema de ecuaciones del siguiente tipo:

$$\begin{aligned} K(1,1)D(1) + K(1,2)D(2) + \dots + K(1,N)T(N) + K(1,N+1)T(N+1) + \dots &= Q(1) + A(1,1)R(1) + \dots \\ K(2,1)D(1) + K(2,2)D(2) + \dots + K(2,N)T(N) + K(2,N+1)T(N+1) + \dots &= Q(2) + A(2,1)R(1) + \dots \\ \vdots & \\ K(N,1)D(1) + K(N,2)D(2) + \dots + K(N,N)T(N) + K(N,N+1)T(N+1) + \dots &= Q(N) + A(N,1)R(1) + \dots \end{aligned}$$

(2.18)

Como el vector de cargas no se conoce totalmente, serán incógnitas las reacciones del terreno $r(i)$, por ello los elementos $A(i,j)$ $r(i)$ se sitúan al lado izquierdo de la igualdad, quedando:

$$\begin{aligned} K(1,1)D(1) + K(1,2)D(2) + \dots + K(1,N)T(N) + K(1,N+1)T(N+1) + \dots - A(1,1)R(1) - \dots &= Q(1) \\ K(2,1)D(1) + K(2,2)D(2) + \dots + K(2,N)T(N) + K(2,N+1)T(N+1) + \dots - A(2,1)R(1) - \dots &= Q(2) \\ \vdots & \\ K(N,1)D(1) + K(N,2)D(2) + \dots + K(N,N)T(N) + K(N,N+1)T(N+1) + \dots - A(N,1)R(1) - \dots &= Q(N) \end{aligned}$$

(2.19)

En este momento se ha concluido el análisis estructural, y el sistema de ecuaciones resultante tiene tres tipos de incógnitas: los desplazamientos lineales $d(i)$ (de la cimentación y la superestructura), los síros $t(i)$ y las reacciones del terreno $r(i)$.

2.4) 2a. Etapa: Análisis de Asentamientos del Terreno.

Aquí obtendremos los desplazamientos verticales ($d(i)$), en función de las reacciones del terreno ($r(i)$), dejando a estas últimas como incógnitas para la estratigrafía y propiedades del subsuelo (fig. 2.4b).

El asentamiento del cuadro ij (estrato J , tramo i), debido a una carga $r(k)$ colocada en k , será:

$$a(i,J,k) = Mv(i,J)H(J)SIGMA(i,J,k)$$

$a(i,J,k)$ = Asentamiento del cuadro ij , debido a una reacción $r(k)$ ubicada en k .

$Mv(i,J)$ = Módulo de deformación del cuadro ij .

$H(J)$ = Espesor del estrato J .

$SIGMA(i,J,k)$ = INCREMENTO del esfuerzo normal vertical en el cuadro ij , ocasionado por una presión, $r(k)/b(k)$ en el contacto entre suelo y cimentación.

$b(k)$ = Ancho de la cimentación, correspondiente a la reacción $r(k)$

si:

$$SIGMA(i,J,k) = I(i,J,k)r(k)/b(k)$$

entonces:

$I(i,J,k)$ = Valor de influencia en el cuadro ij , debido a una presión unitaria colocada en k .

El valor $I(i,J,k)$, se puede determinar calculando el esfuerzo normal vertical en el cuadro (i,J) , producido

por una presión unitaria en el punto k (fig. 2.4b) (Zeevaert 1973).

El incremento de esfuerzo a la profundidad z, bajo la esquina de un área rectangular cargada uniformemente, según Boussinesq (Juárez Badillo y Rico Rodríguez), se puede calcular con la expresión (fig. 2.10a):

$$F(A, C, z) = (W/4\pi) * ((2+A+C+z)(A^2+C^2+z^2)^{-1.5}) / ((z^2+C^2+z^2) + A^2+C^2) + (A^2+C^2+z^2)^{-1.5} / (A^2+C^2+z^2) + \text{ANG TG} * ((2+A+C+z)(A^2+C^2+z^2)^{-1.5}) / (z^2 + (z^2+(A^2+C^2+z^2) - A^2+z^2))$$

(2.20)

El incremento de esfuerzo a la profundidad z, bajo cualquier punto del medio (X2,0,z), debido a una sobrecarga rectangular en la superficie del mismo (fig. 2.10b), al ser válido el principio de superposición, será:

$$\begin{aligned} \text{PARA } X_2 < X_1 \quad \text{SIGMA} &= F(X_1+A-X_2, Y_1+C) - F(X_1+A-X_2, Y_1) + \\ &+ F(X_1-X_2, Y_1) - F(X_1-X_2, Y_1+C) \\ \text{PARA } Y_1 < X_2 < (X_1+A) \quad \text{SIGMA} &= F(X_1+A-X_2, Y_1+C) - F(X_1+A-X_2, Y_1) + \\ &+ F(X_2-Y_1, Y_1+C) - F(X_2-Y_1, Y_1) \\ \text{PARA } Y_2 > (Y_1+A) \quad \text{SIGMA} &= F(X_2-Y_1-A, Y_1+C) - F(X_2-Y_1-A, Y_1) + \\ &+ F(X_2-Y_1, Y_1+C) - F(X_2-Y_1, Y_1) \end{aligned}$$

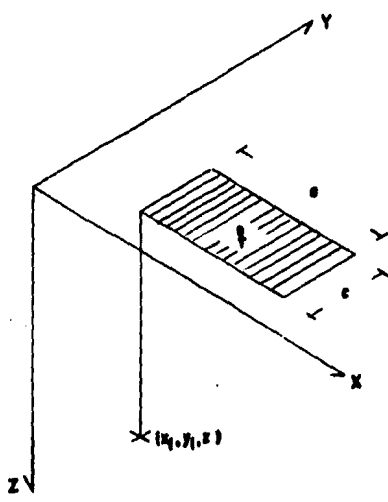
(2.21)

En el punto a calcular el incremento de esfuerzo, deberá encontrarse bajo el eje X (Y=0), y este a su vez deberá ser paralelo a la sobrecarga.

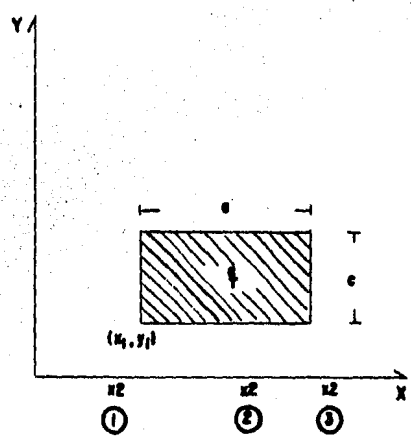
Por lo anterior, para un caso particular, el asentamiento en el cuadro ij debido a todas las cargas r(i), y a la sobrecarga a (fig. 2.4b), se tiene:

$$d(i, J) = Mv(i, J)H(J)(a(i, J) + \sum I(i, J, k)r(k)/b(k))$$

Donde:



a) Bajo una esquina del area cargada (x_1, y_1, z)



b) Bajo cualquier punto del medio $(x_2, 0, z)$

FIG. 2.10 INCREMENTO DE ESFUERZO NORMAL VERTICAL, DEBIDO A UNA SOBRECARGA RECTANGULAR EN LA SUPERFICIE DEL TERRENO.

$n = 2NC+1$ = Número total de reacciones aplicadas en la superficie

NC = Número de barras de cimentación de la estructura

$\alpha(i,J)$ = Incremento de esfuerzo normal vertical en el cuadro (i,J) , debido a la sobrecarga a aplicada en la periferia de la estructura (fig. 2.4b).

El asentamiento bajo el punto i será:

$$d(i) = \sum_{j=1}^r d(i,J)$$

Donde:

r = Número de estrados del subsuelo.

Entonces:

$$d(i) = \sum_{j=1}^r Mv(i,J)H(J)\alpha(i,J) + \sum_{j=1}^r (Mv(i,J)H(J) \sum_{k=1}^n (I(i,J,k)r(k)/b(k)))$$

(2.22)

En la ecuación anterior, los desplazamientos verticales del suelo, quedan en función de las reacciones del terreno $(r(i))$. En este momento, es importante tomar en cuenta los valores del módulo de deformación del suelo $(Mv(i, J))$, que dependen del esfuerzo de confinamiento, el cual no se conoce a priori. Por esta razón, deben determinarse para un nivel de esfuerzos lo más cerca posible a la realidad (Zeevaert 1973), este nivel depende de la experiencia del ingeniero quien realiza el análisis, si hecho este, se ve que el nivel de presiones considerado está muy alejado de la magnitud de los esfuerzos obtenidos, ya resuelto el problema, es probable que haya necesidad de volver a calcular los hundimientos del suelo con los valores corregidos del módulo, al tomar un nuevo nivel de esfuerzos, hecha esta observación, los valores de $d(i)$ (ec. 2.22), son una función lineal de las reacciones del terreno $r(i)$.

$$D(I) = P(I) + C(I,1)P(1) + C(I,2)P(2) + \dots + C(I,2NC+1)P(2NC+1)$$

(2.23)

Donde:

$B(i)$ = Asentamiento debido a las sobrecargas aplicadas en la superficie del terreno.

NC = Número de barras de cimentación de la estructura.

2.5) 3a. Etapa. Compatibilidad de Desplazamientos.

Ya realizados los análisis de estructuras y de asentamientos, se establece la condición de compatibilidad de desplazamientos; los asentamientos del suelo determinados (ec. 2.22), se sustituyen en el sistema de ecuaciones de la matriz de rigidez de la estructura (ec. 2.19). De esta manera se obtienen los valores de los desplazamientos de la cimentación ($d(i)$), y quedan los desplazamientos lineales de la superestructura ($d(i)$ para $i > 2NC+1$), los siros y las reacciones del terreno como incógnitas.

El número de ecuaciones es igual al número de incógnitas en el nuevo sistema, al resolver este sistema se conoce el valor de las reacciones $r(i)$, por lo que a partir de las ecuaciones (2.23), se pueden calcular los desplazamientos lineales de la cimentación ($d(i)$), para $i \leq 2NC+1$.

Finalmente, conociendo los desplazamientos de toda la estructura y las reacciones del terreno, es fácil obtener los elementos mecánicos de cada barra, como la suma de los momentos de empotramiento debidos a cargas sobre las barras, más los momentos y cortantes adicionales debidos a los desplazamientos, se tiene:

NG = Número de grados de libertad en toda la estructura.

NC = Número de barras de la cimentación de la estructura.

NR = $2NC+1$ = Número de reacciones del terreno, número de desplazamientos lineales de la cimentación.

Con lo anterior, se tiene:

a) Un sistema con NG ecuaciones y NG + NR incógnitas, en el análisis estructural.

b) NR ecuaciones y NR incógnitas ($r(i)$) en el análisis de asentamientos.

Al sustituir b) en a), se eliminan NR incógnitas ($d(i)$ - desplazamientos lineales de la cimentación), del primer sistema de ecuaciones; finalmente queda un sistema con NG ecuaciones y NG incógnitas; obteniendo fácilmente el resultado con algún método conocido para resolver estos.

2.6) Ejemplo de Cálculo Manual.

Con objeto de ilustrar todo el proceso de cálculo del análisis de Interacción Suelo-Estructura, se presenta el ejemplo (fig. 2.11).

Datos:

$$E = 1\,500\,000 \text{ Ton/m}^2$$

$$I_1 = 0.02 \text{ m}^4$$

$$I_2 = 0.0008 \text{ m}^4$$

$$b = 6 \text{ m}$$

$$w_1 = 5 \text{ Ton/m}$$

$$w_2 = 3 \text{ Ton/m}$$

$$s = 6 \text{ m}$$

$$L_{\text{col}} = 4 \text{ m}$$

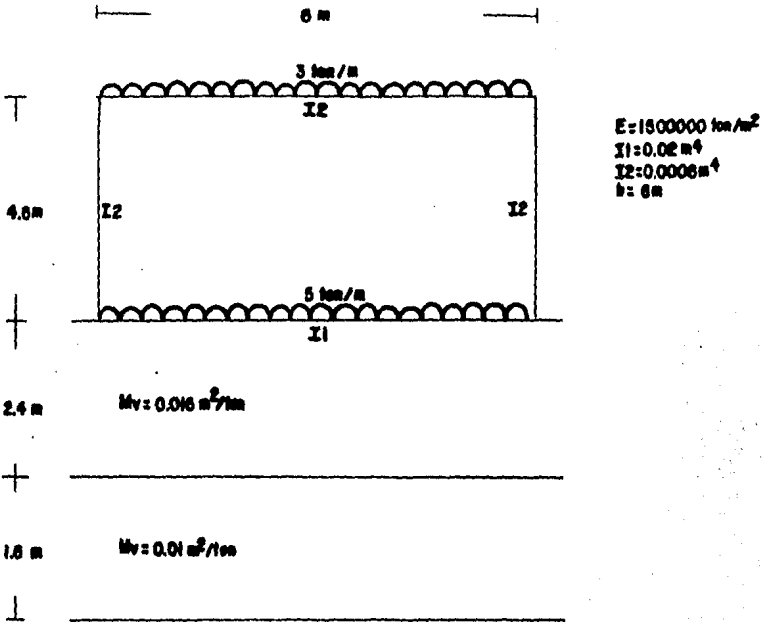
$$\text{Estrato 1 ; } \quad Mv = 0.016 \text{ m/Ton} \quad z = 2.40 \text{ m}$$

$$\text{Estrato 2 ; } \quad Mv = 0.010 \text{ m/Ton} \quad z = 1.60 \text{ m}$$

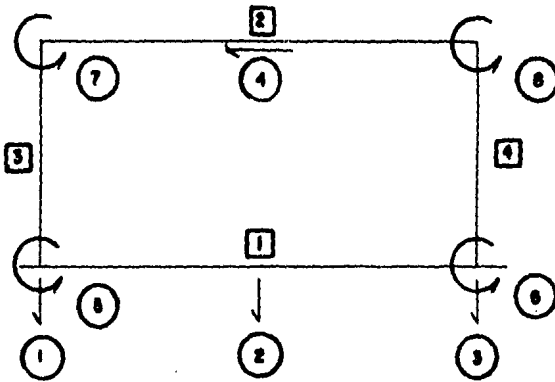
En la fig. 2.11b se muestra la numeración de los grados de libertad y de las barras.

2.6.1) Análisis Estructural.

Matriz de Rigidez de la estructura; para obtenerla, es necesario calcularla, a partir de la ec 2.2.



a) Dimensiones y cargas en la estructura



b) Numeración de barras y grados de libertad

FIG. 2.11 ESTRUCTURA DEL EJEMPLO DE CALCULO MANUAL.

Matriz de Rigidez para la barra 1:

$$\begin{bmatrix} tP(5) & ta(6) & dP(1) & da(3) \\ 20000 & 10000 & -5000 & 5000 \\ 10000 & 20000 & -5000 & 5000 \\ -5000 & -5000 & 16666.667 & -16666.667 \\ 5000 & 5000 & -16666.667 & 16666.667 \end{bmatrix} \begin{matrix} tP(5) \\ ta(6) \\ dP(1) \\ da(3) \end{matrix}$$

Rigidez = 1414200 Ton/m².

Momento de Inercia = 0.0211 m⁴.

Longitud de la barra = 8 m.

Matriz de Rigidez para la barra 2:

$$\begin{bmatrix} tP(7) & ta(8) & dP(1) & da(3) \\ 20000 & 10000 & -5000 & 5000 \\ 10000 & 20000 & -5000 & 5000 \\ -5000 & -5000 & 16666.667 & -16666.667 \\ 5000 & 5000 & -16666.667 & 16666.667 \end{bmatrix} \begin{matrix} tP(7) \\ ta(8) \\ dP(1) \\ da(3) \end{matrix}$$

Rigidez = 1414200 Ton/m².

Momento de Inercia = 0.0143 m⁴.

Longitud de la barra = 8 m.

Matriz de Rigidez para la barra 3:

$$\begin{bmatrix} tP(7) & ta(5) & dP(4) & da(-) \\ 1200 & 600 & -450 & 450 \\ 600 & 1200 & -450 & 450 \\ -450 & -450 & 225 & -225 \\ 450 & 450 & -225 & 225 \end{bmatrix} \begin{matrix} tP(7) \\ ta(5) \\ dP(4) \\ da(-) \end{matrix}$$

Rigidez = 1414200 Ton/m².

Momento de Inercia = 0.009 m⁴.

Longitud de la barra = 4 m.

Matriz de Rigidez para la barra 4:

$$\begin{array}{cccc|c}
 t_p(8) & t_a(6) & d_p(4) & d_a(-) & \\
 \hline
 1200 & 600 & -450 & 450 & t_p(8) \\
 600 & 1200 & -450 & 450 & t_a(6) \\
 -450 & -450 & 225 & -225 & d_p(4) \\
 450 & 450 & -225 & 225 & d_a(-)
 \end{array}$$

Rigidez = 1414200 Ton/m⁴.
 Momento de Inercia = 0.009 m⁴.
 Longitud de la barra = 4 m.

Aparecen en la parte superior y en la derecha de cada matriz unos indicadores, mostrando los grados de libertad de la estructura asociados a los extremos de cada barra.

Para formar la matriz de rigidez de toda la estructura, bastará colocar cada elemento de las matrices de cada barra, en el renglón y columna de la matriz de rigidez de la estructura, como lo muestran los indicadores (fig. 2.13).

Desplazamiento a la mitad del entre eje en las barras de cimentación.

Como se puede ver, la estructura es simétrica, por lo tanto haremos las siguientes consideraciones:

$$\begin{aligned}
 d_1 &= d_3 \\
 t_5 &= -t_6 \\
 t_7 &= -t_8 \\
 r_1 &= r_3
 \end{aligned}$$

Al aplicar la ecuación 2.9, para la barra 1 se tiene:

$$10000t(5) - 13333.3333d(1) + 13333.3333d(2) + 0.2812r(1) + 1.21188r(2) = 7.5$$

Vector de Cargas:

Para carga uniforme, aplicando la ec. 2.12:

$$\begin{array}{ll}
 \text{Barra 1: } (5) M_p = 15 \text{ Ton}\cdot\text{m} & (1) V_p = -15 \text{ Ton} \\
 (6) M_a = -15 \text{ Ton}\cdot\text{m} & (3) V_a = -15 \text{ Ton}
 \end{array}$$

D(1)	D(3)	D(4)	T(5)	T(6)	T(7)	T(8)	
3333.33	-3333.33	.00	-5000.00	-5000.00	-5000.00	-5000.00	(1)
-3333.33	3333.33	.00	5000.00	5000.00	5000.00	5000.00	(2)
.00	.00	450.00	-450.00	-450.00	-450.00	-450.00	(3)
-5000.00	5000.00	-450.00	21200.00	10000.00	600.00	.00	(4)
-5000.00	5000.00	-450.00	10000.00	21200.00	.00	600.00	(5)
-5000.00	5000.00	-450.00	600.00	.00	21200.00	10000.00	(6)
-5000.00	5000.00	-450.00	.00	600.00	10000.00	21200.00	(7)

FIG. 2.13 SISTEMA DE ECUACIONES RESULTANTE DEL ANALISIS ESTRUCTURAL

	R(1)	R(2)	T(5)	T(7)	Q
1 .-	1.00	1.00	.00	.00	16.00
2 .-	.00	.00	600.00	11200.00	-9.00
3 .-	-26.73	78.54	10000.00	.00	7.50
4 .-	-.94	-2.06	11200.00	600.00	-15.00

FIG. 2.14 SISTEMA DE ECUACIONES DE LA COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS

Barra 2: (7) $M_P = 9 \text{ Ton}\cdot\text{m}$ (1) $V_P = -9 \text{ Ton}$
 (8) $M_a = -9 \text{ Ton}\cdot\text{m}$ (3) $V_a = -9 \text{ Ton}$.

Para las reacciones del terreno, aplicando la ec. 2.15.

BARRA 1:

$$(5) M_P = -67(L-2)/3072 - 11(L-2)P_0/192 - 13(L-2)R_0/3072 =$$

$$= -0.7852R_1 - 2.0625R_2 - 0.1523R_3$$

$$(6) M_Q = 13(L-2)P_0/3072 + 11(L-2)P_0/192 + 67(L-2)R_0/3072 =$$

$$= 0.1523R_1 + 2.0625R_2 + 0.7822R_3$$

$$(1) V_P = 121(LRP)/512 + (LRC)/4 + 7(LRQ)/512 = 1.418R_1 + 1.5R_2 + 0.082R_3$$

$$(3) V_Q = 7(LRP)/512 + (LRC)/4 + 121(LRQ)/512 = 0.082R_1 + 1.5R_2 + 1.418R_3$$

A la izquierda de los momentos y cortantes de empotramiento se presenta el grado de libertad de la estructura asociada y el reacción en donde quedaran dentro del vector de cargas.

Los momentos y cortantes de empotramiento debidos a las cargas uniformes, cambian de signo, ya que quedan como cargas equivalentes en los nudos (fig. 2.7), los momentos y cortantes de empotramiento debidos a las reacciones del terreno quedan del lado izquierdo de la igualdad (conservando su signo), puesto que son incógnitas.

2.6.2) Análisis de Asentamientos.

De la ecuación 2.22.

$$d(i) = \sum_{j=1}^n M_v(i,j)H(j)\alpha(i,j) + \sum_{j=1}^n M_v(i,j)H(j)\left[\sum_{k=1}^n I(i,j,k)r(k)/b(k)\right]$$

$d(i)$ = asentamiento debido a sobrecargas asentamiento debido a las reacciones del terreno

Como en este ejemplo no se ha considerado sobrecarga en el terreno, entonces la ecuación 2.22, queda:

$$d(i) = \sum_{j=1}^n M_v(i,j)H(j)\left[\sum_{k=1}^n I(i,j,k)r(k)/b(k)\right]$$

Entonces con la ecuación 2.20, se pueden calcular los valores de $I(i,j,k)$:

Para, $k=1$ se tiene:

$$I(i,j,1) = \begin{array}{ccc} 0.4351 & 0.0692 & 0.0008 \\ & 0.2243 & 0.1492 & 0.0143 \end{array}$$

Para, $k=2$ se tiene:

$$I(i,j,2) = \begin{array}{ccc} 0.0612 & 0.8376 & 0.0612 \\ & 0.1101 & 0.4486 & 0.1101 \end{array}$$

Para, $k=3$ se tiene:

$$I(i,j,3) = \begin{array}{ccc} 0.0008 & 0.0692 & 0.4351 \\ & 0.0143 & 0.1492 & 0.2243 \end{array}$$

Por lo tanto:

$$d(1) = 0.016 * 2.4 * (1/6) * [0.4351r(1) + 0.0692r(2) + 0.0008r(3)] + 0.010 * 1.6 * (1/6) * [0.2243r(1) + 0.1492r(2) + 0.0143r(3)]$$

$$d(2) = 0.016 * 2.4 * (1/6) * [0.0612r(1) + 0.8376r(2) + 0.0612r(3)] + 0.010 * 1.6 * (1/6) * [0.1101r(1) + 0.4486r(2) + 0.1101r(3)]$$

$$d(3) = 0.016 * 2.4 * (1/6) * [0.0008r(1) + 0.0692r(2) + 0.4351r(3)] + 0.010 * 1.6 * (1/6) * [0.0143r(1) + 0.1492r(2) + 0.2243r(3)]$$

Como $r(1) = r(3)$ y $d(1) = d(3)$, finalmente:

$$d(1) = 0.0034r(1) + 0.0008r(2)$$

$$d(2) = 0.0014r(1) + 0.0066r(2)$$

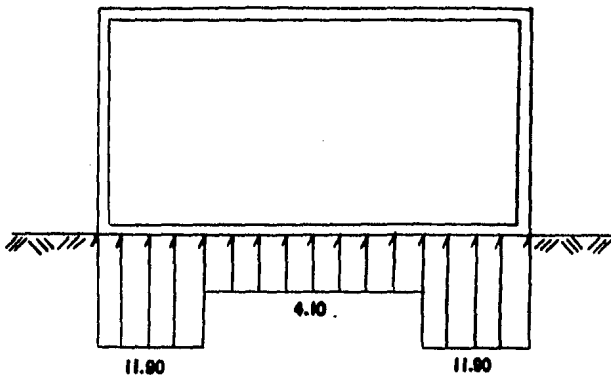
2.6.3) Compatibilidad de desplazamientos.

En este momento tenemos 4 incógnitas con 4 ecuaciones (fig. 2.14), y la solución a nuestro sistema es:

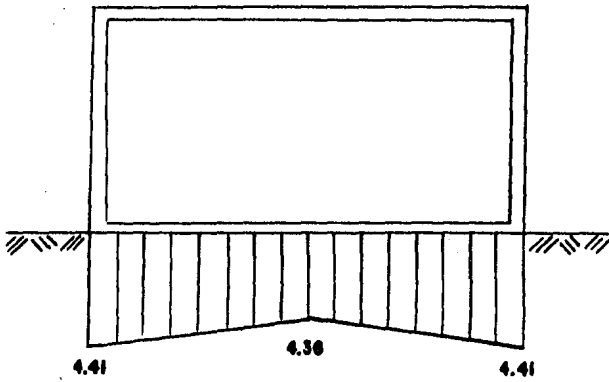
```
r1 = 11.9091
r2 = 4.0909
r3 = 11.9091
d1 = 0.04407
d2 = 0.04367
d3 = 0.04407
d4 = 0
t5 = 0.0005
t6 = -0.0005
t7 = -0.0008
t8 = 0.0008
```

En la (fig. 2.12), se puede observar gráficamente estos resultados.

En el capítulo 4 se analiza este ejemplo mediante el programa de microcomputadora, así como otros ejemplos.



a) Reacciones del terreno (ton/m)



b) Hundimientos (cm)

FIG. 2.12 RESULTADOS DEL ANALISIS INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA DEL EJEMPLO MANUAL

CAPITULO III. PROGRAMA DE MICROCOMPUTADORA.

La Computadora es sumamente rápida, precisa y tonta. El Hombre es increíblemente lento, impreciso y brillante. La unión de ambos constituye una fuerza incalculable.

Leo Cherne

3. PROGRAMA DE MICROCOMPUTADORA

== ===== == =====

3.1) Descripción de la Máquina

Máquina	Microcomputadora RADIO-SHACK TRS-80 modelo II.
Lenguaje	BASIC
Capacidad de Memoria	64 Kbytes en memoria central y hasta 1850 Kbytes de almacenamiento en cuatro diskettes flexibles. (Diskette flexible de precisión, doble cara, doble densidad, sector suave, 40 canales, 8in).

3.2) Descripción del Programa

Tomando en cuenta la diferencia existente en el volumen de almacenamiento de la memoria central de la computadora y los diskettes flexibles, es indispensable que los datos y cálculos iniciales, parciales y finales del análisis Interacción Suelo-Estructura sean almacenados en diskette, teniendo en memoria central el mínimo indispensable, de esta forma se puede manejar información en el análisis Interacción Suelo-Estructura con una extensión hasta de 60,000 elementos resultantes de los sistemas de ecuaciones del análisis de estructuras.

El programa en la computadora (Tesis: Análisis Numérico de Interacción Suelo-Estructura Utilizando un Microcomputador, Autor: Jesús Eduardo Dovalí Ramos, Año: 1984), fue hecho de tal forma para no perder la secuencia del proceso a realizar, sino efectuando paso a paso las etapas que se llevarían a cabo si este se hiciese a mano.

3.3) Instructivo para el usuario.

3.3.1) Objetivo.

El programa realiza el análisis de Interacción Suelo-Estructura, entendiéndose por dicho análisis la determinación de los desplazamientos en los diferentes grados de libertad, los elementos mecánicos en los extremos de las barras y las reacciones del terreno, de estructuras de tipo marco rígido en dos dimensiones.

3.3.2) Alcances y Restricciones.

- a) El análisis Interacción Suelo-Estructura, se aplica a estructuras cuya cimentación este resuelta a base de losa o zapata corrida y se encuentran sobre un suelo de mediana a alta compresibilidad.
- b) Se pueden analizar estructuras de tipo marco rígido empotrado o articuladas a su cimentación.
- c) Las barras de la estructura deben ser de eje recto y deben ser horizontales y/o verticales (no es posible incluir barras inclinadas).
- d) El número de elementos del sistema de ecuaciones resultante debe ser como máximo 60,000, que se puede calcular como

$$N = (NG*(NG+2*(NC)+2)) + (2*(NC+1))*(2*(NC+2)) \leq 60000$$

en donde:

NG = Número de grados de libertad en toda la estructura.

NC = Número de barras de cimentación (máximo 30).

Tomando en cuenta lo anterior se tiene:

para NC=1 el valor máximo de NG=242

para NC=30 el valor máximo de NG=208

e) Sólo se pueden establecer cargas uniformemente repartidas en las barras y/o cargas en los nudos, asociados a un grado de libertad.

f) Para el análisis de asentamientos del suelo se pueden especificar sobrecargas rectangulares en la superficie del terreno, en donde pueden localizarse en cualquier posición de dicha superficie. Con esto se tiene la posibilidad de realizar el análisis de asentamientos en tres dimensiones.

3.3.3) Corrida del programa:

Para correr el programa, se efectuará el siguiente proceso:

a) Se situará la estructura a analizar en un sistema de ejes X-Y-Z ortogonales (fig. 3.1c). El inicio de la primera barra de cimentación debe coincidir con el origen del sistema de ejes; la estructura se localizará en el plano X-Y y la superficie del terreno se localizará en el plano X-Z.

Dirac. positiva del eje X -> ubicación estructura.

Dirac. positiva del eje Y -> indistinta.

Dirac. positiva del eje Z -> interior del suelo.

b) Se deberá trazar una retícula en el perfil del suelo (figura 3.1a); las líneas horizontales representan los límites entre los diferentes estratos del suelo y las líneas verticales se trazan partiendo en puntos localizados a un cuarto de la longitud de cada barra de cimentación, partiendo de sus extremos y hacia el interior de las mismas. El usuario deberá definir, para cada cuadro de la retícula, su módulo de deformación.

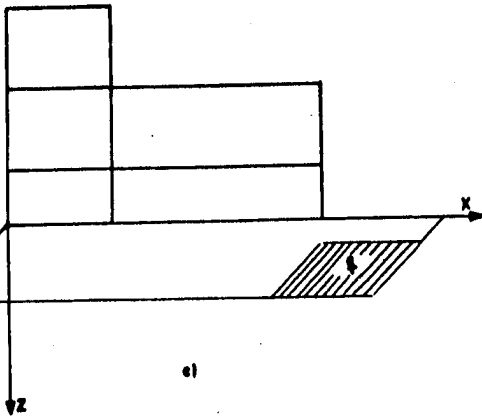
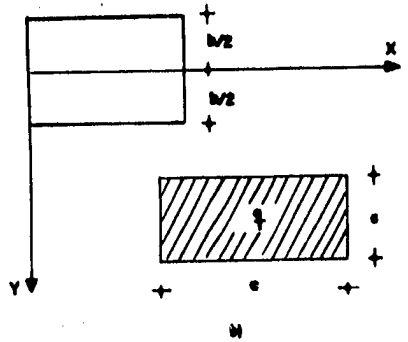
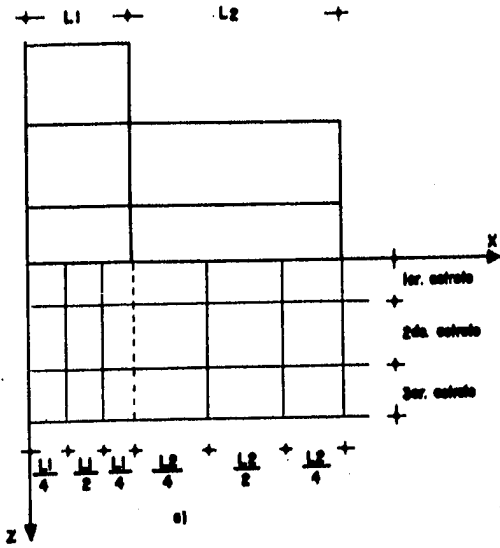


FIG. 3.1 UBICACION DE LA ESTRUCTURA EN EL SISTEMA DE EJES X-Y-Z.

c) En seguida se identificarán todos los grados de libertad presentes en la estructura, debiendo considerar para cada barra los cuatro grados de libertad (fis. 3.2a) y añadir un grado de libertad adicional a la mitad de la barra para aquellos que sean de cimentación (fis. 3.2b).

d) Numerar los grados de libertad de la estructura EMPEZANDO POR LOS DESPLAZAMIENTOS LINEALES DE LAS BARRAS DE CIMENTACION.

e) El usuario deberá determinar para cada barra de la estructura un extremo inicial y un extremo final; esta selección se hace en forma tal, que los grados de libertad de la estructura correspondientes a cada barra tengan dirección positiva (fis. 3.3).

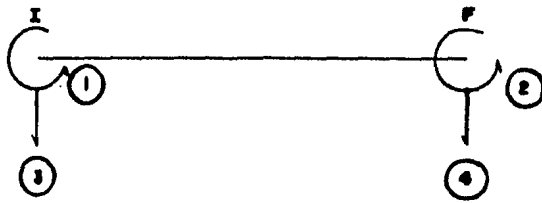
f) Hacer una tabla que contenga, para cada barra, los números de los grados de libertad de la estructura asociados a sus extremos en el siguiente orden: giro en su extremo inicial, giro en su extremo final, desplazamiento transversal en su extremo inicial y desplazamiento transversal en su extremo final.

g) A continuación el usuario encenderá la máquina computadora, e insertará el diskette 1 y 2 en los drives 0 y 1 respectivamente (fis. 3.4). En el diskette 1 se encuentra lo referente al sistema operativo, y en el diskette 2 la información necesaria para correr el programa.

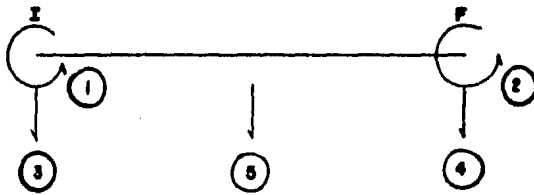
h) A la computadora se le proporcionará la información que solicite, fecha y hora, encender la impresora y mediante un sistema de tipo conversacional contestar las preguntas correspondientes para establecer la comunicación entre esta y el usuario.

Después de haber efectuado los pasos anteriores, tomar en cuenta lo siguiente:

+ Para proporcionar información a la máquina computadora teclear el dato: En caso de ser correcto, bastara con presionar la tecla 'ENTER', esto se presenta también cuando se este verificando información previamente grabada, en caso contrario, con la tecla 'F' se posiciona al dato inmediato anterior o a la pantalla anterior, según sea el caso.



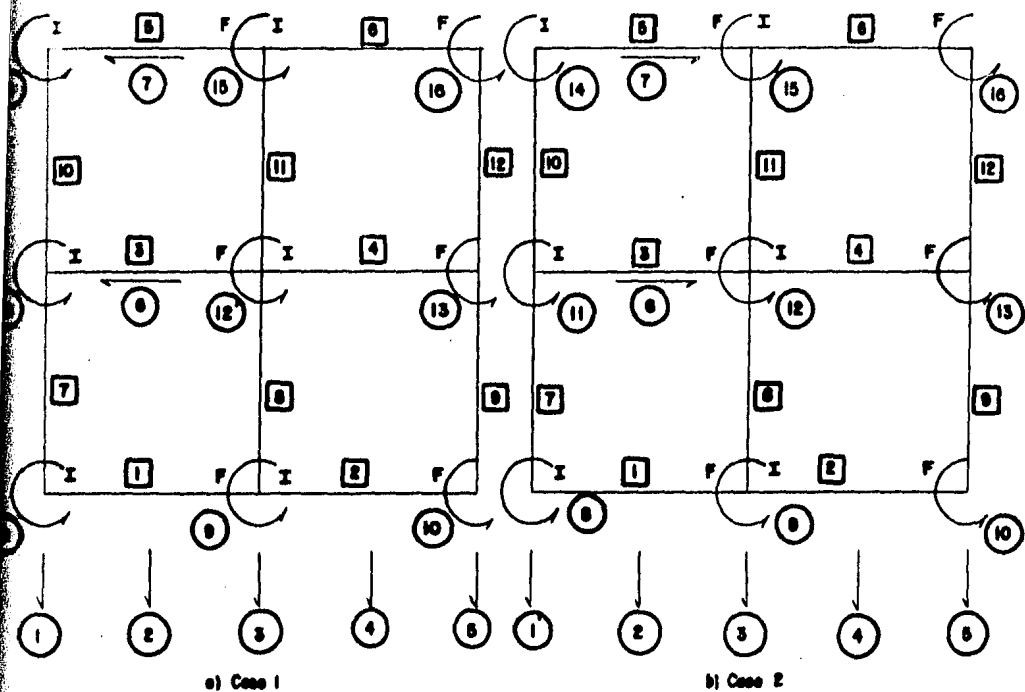
a) Barras comunes



b) Barras de circulación

- 1 Giro al inicio
 - 2 Giro al final
 - 3 Desplazamiento (transversal) al inicio
 - 4 Desplazamiento (transversal) al final
 - 5 Desplazamiento (transversal) al centro
- (solo para barras de circulación)

FIG. 3.2 GRADOS DE LIBERTAD EN LAS BARRAS.



a) Caso 1

b) Caso 2

Caso 1 / Caso 2

BARRAS	GIRO AL INICIO	GIRO AL FINAL	DESPLAZAMIENTO TRANVERSAL AL INICIO	DESPLAZAMIENTO TRANVERSAL AL FINAL
1	8	9	1	3
2	9	10	3	5
3	11	12	1	3
4	12	13	3	5
5	14	15	1	3
6	15	16	3	5
7	11/8	8/11	6/-	-/6
8	12/9	9/12	6/-	-/6
9	13/10	10/13	6/-	-/6
10	14/11	11/14	7/6	6/7
11	15/12	12/15	7/6	6/7
12	16/13	13/16	7/6	6/7

FIG. 3.3 DOS POSIBILIDADES EN LA NUMERACION DE LOS GRADOS DE LIBERTAD Y EN LA SELECCION DE LOS EXTREMOS INICIAL Y FINAL EN CADA BARRA.

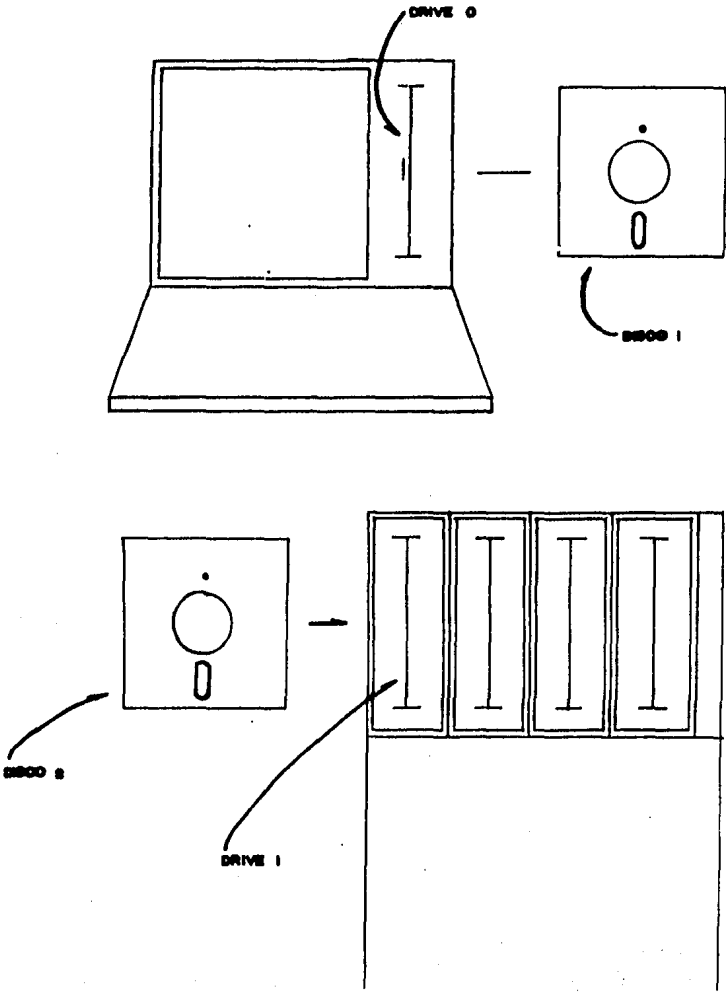


FIG. 3.4 REPRESENTACION DE LOS DRIVES Y DISKETTES EN LA MICROCOMPUTADORA.

+ El programa no tiene restricciones en cuanto a unidades, únicamente se deberá tener cuidado en todos los datos que vayan en unidades congruentes, por lo que los resultados obtenidos del análisis estarán en las unidades por el usuario proporcionadas .

A continuación se explican los pasos a seguir para realizar los procesos componentes del análisis Interacción Suelo-Estructura en la ejecución del programa.

I) Inicio:

Se presentara la PANTALLA 1 si es selección de estructura o la PANTALLA 3 si es el primer análisis a realizar, ejemplos:

ESTRUCTURAS EN ESTE DISCO:

- (1) EJEMPLO DE CALCULO MANUAL.
- (2) EDIFICIO PARA APARTAMENTOS.
- (3) CASA HABITACION (A).
- (4) CASA HABITACION (B).

(?) CUALQUIER OTRAS TRABAJAS

PANTALLA 1: SELECCION DE ESTRUCTURA.

ESTRUCTURAS EN ESTE DISCO:

- (1) EJEMPLO DE CALCULO MANUAL.
- (2) EDIFICIO DE APARTAMENTOS..
- (3) CASA HABITACION (A).
- (4) CASA HABITACION (B).
- (5) CON CUAL QUIERES TRABAJAR

PANTALLA 2: SELECCION DE ESTRUCTURA NUEVA.

II) Selección de la estructura:

Se realiza al presentarse la PANTALLA 1 y se lleva a cabo proporcionando a la computadora el número de la estructura ha trabajar, en caso de realizar el análisis de una estructura nueva, se deberá proporcionar el número inmediato superior al último, como se muestra en el ejemplo de la PANTALLA 2.

M E N U

- (1) DATOS ESTRUCTURA
- (2) DATOS DEL SUELO
- (3) CARGAS EN LA ESTRUCTURA Y SOBRECARGAS EN EL TERRENO
- (4) ANALISIS ESTRUCTURAL
- (5) ANALISIS DE ASENTAMIENTOS DEL SUELO
- (6) COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS
- (7) IMPRESION DE DATOS
- (8) IMPRESION DE RESULTADOS
- (9) FIN
- (?) QUE OPCION QUIERE

PANTALLA 3: MENU PRINCIPAL.

En el diskette dos, se puede grabar la información de varias estructuras, sin embargo, el usuario deberá cuidar de no sobrepasar la capacidad de los diskettes. (Véase en el manual de la máquina computadora las instrucciones FREE y DIR).

III) Menú Principal:

Este es desplegado por la PANTALLA 3 y en el se muestran todas las opciones contenidas en el programa, indicando los procesos componentes de un análisis Interacción Suelo-Estructura.

Para escoger algún proceso se teclea su número y se presiona la tecla 'ENTER'.

Descripción de los procesos:

a) Estas opciones deberán ejecutarse al principio del análisis:

- 1.- Datos de la estructura.
- 2.- Datos del suelo.
- 3.- Cargas de la estructura y sobrecargas en el terreno.

b) La selección para el análisis de Interacción Suelo-Estructura es:

- 4.- Análisis Estructural.
- 5.- Análisis de Asentamientos del Suelo.
- 6.- Compatibilidad de Desplazamientos.

c) Las opciones de impresión son:

7.- Impresión de datos.

8.- Impresión de Resultados.

Hay que mencionar en caso de:

i) Llegar a existir algún error en la secuencia de la ejecución, el programa lo indica.

ii) Al terminar cada proceso, el programa retorna automáticamente a la pantalla menú.

iii) Los procesos 1, 2 y 3 lo mismo que 4 y 5 el orden de ejecución es indistinto entre ellos.

iv) Pero, todos deben ser realizados antes del proceso 6.

IV) PROCESO 1: Captura de los datos de la estructura.

Al elegir este proceso en el menú, aparece la PANTALLA 4

DATOS DE ESTRUCTURA

NOMBRE:
 # DE BARRAS DE CIMENTACIÓN: 0
 # TOTAL DE BARRAS: 1

GRADOS DE LIBERTAD EN LAS BARRAS:

- 1: GIRO AL INICIO DE LA BARRA
- 2: GIRO AL FINAL DE LA BARRA
- 3: DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL AL INICIO
- 4: DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL AL FINAL
- 5: DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL AL CENTRO

TIPOS DE BARRAS:

- 0: DOBLEMENTE EMPOTRADA
- 1: ARTICULADA AL INICIO
- 2: ARTICULADA AL FINAL

E I L 1 2 T 4 5 T A.C.M.

PANTALLA 4: CAPTURA DE DATOS DE ESTRUCTURA.

Aquí se debe proporcionar los siguientes datos:

- Nombre de la estructura (no debe exceder de 30 caracteres)
- Numero de barras de la cimentación ($NC < 30$).
- Número total de barras en la estructura (incluyendo las de la cimentación).
- Para cada barra se deberá proporcionar sus propiedades físicas y geométricas: módulo de elasticidad (E), momento de inercia de su sección (I) y longitud (L).

Para abreviar la captura de estos datos el programa toma los datos E, I y L de la barra anterior, en caso de ser los correctos para la barra solicitada, basta presionar la tecla 'ENTER' en cada caso.

- Para cada barra se deberán proporcionar los cuatro grados de libertad asociados a sus extremos (fig. 3.2a), y un quinto grado de libertad para aquellas barras de cimentación (fig. 3.2b).

Para las barras de cimentación, el programa proporciona en forma automática, los números de los grados de libertad que se les debe asociar a sus desplazamientos lineales. Estos grados de libertad deben ser los primeros en la numeración como se indicó en el punto 3.3.3.

El número de grados de libertad asociados a los desplazamientos lineales de las barras de cimentación deben ser:

$$NN = 2 * (NC) + 1$$

- Además para cada barra se deberá proporcionar su tipo, el cual, se representa por un número comprendido entre 0 y 2:

Donde:

- 0 = Barra doblemente empotrada
- 1 = Barra articulada al inicio
- 2 = Barra articulada al final

Así mismo con este dato se proporciona la característica de empotramiento o articulación de la estructura con su cimentación.

- Finalmente, para las barras de cimentación se deberá proporcionar su ancho (b)

En la PANTALLA 5 se presenta un ejemplo avanzado de este proceso.

DAIOS DE ESTRUCTURA

NOMBRE:
 # DE BARRAS DE CIMENTACION: 0
 # TOTAL DE BARRAS: 0

GRADOS DE LIBERTAD EN LAS BARRAS:

- 1: GIRO AL INICIO DE LA BARRA
- 2: GIRO AL FINAL DE LA BARRA
- 3: DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL AL INICIO
- 4: DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL AL FINAL
- 5: DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL AL CENTRO

TIPOS DE BARRA:

- 0: DOBLEMENTE EMPOTRADA
- 1: ARTICULADA AL INICIO
- 2: ARTICULADA AL FINAL

N	GRADOS DE LIBERTAD					TIPOS DE BARRA					A.C.M.
	1	2	3	4	5	0	1	2	3		
1	1.4142E+06	0.211	11	5	4	1	2	3	4	0	
2	1.4142E+06	0.211	11	5	4	1	2	3	4	0	
3	1.4142E+06	0.211	11	5	4	1	2	3	4	0	
4	1.4142E+06	0.211	11	5	4	1	2	3	4	0	

PANTALLA 5: EJEMPLO AVANZADO DE CAPTURA DE DATOS DE ESTRUCTURA.

Al terminar de dar los datos de la última barra, el programa resresa en forma automática a la Pantalla menú (PANTALLA 3).

V) PROCESO 2: Captura de datos del suelo.

Al elegir este proceso en el menú Principal, el programa nos lleva a la PANTALLA 6

```

          DATOS DEL SUELO
          STRATO: 2          ESPESOR: 1
          MODULO DE DEFORMACION BAJO EL GRADO DE LIBERTAD:
  
```

PANTALLA 6: CAPTURA DE DATOS DEL SUELO.

En esta etapa los datos solicitados son: el espesor del estrato y sus módulos de deformación, bajo los grados de libertad indicados en la pantalla.

Así mismo como en el proceso anterior, para agilizar la captura de datos, el programa toma el módulo de deformación bajo el grado de libertad anterior, en caso de ser el correcto bastará con presionar la tecla 'ENTER'.

Al terminar de proporcionar los datos de todos los estratos, el usuario deberá teclear cero (0) cuando presunte por un nuevo dato del espesor del estrato, para así de esta manera resrese a la pantalla menú (PANTALLA 3).

Un ejemplo avanzado se muestra en la PANTALLA 7

DATOS DEL SUELO

ESTRATO: 1

ESPESOR: 3.2

MODULO DE DEFORMACION BAJO EL GRADO DE LIBERTAD:

1 : .0136
 2 : .0134
 3 : .0136

PANTALLA 7: EJEMPLO AVANZADO DE CAPTURA DE DATOS
 DEL SUELO.

VI) PROCESO 3: Cargas sobre la estructura.

En este proceso aparece la PANTALLA 8:

CARGAS EN LA ESTRUCTURA

TIPO 1: CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA EN UNA BARRA.
 TIPO 2: CARGA CONCENTRADA EN UN NUDO, ASOCIADA A UN GRADO DE LIBERTAD.
 TIPO 3: SOBRECARGA RECTANGULAR EN LA SUPERFICIE DEL TERRENO.

 TIPO 0

PANTALLA 8: CAPTURA DE DATOS DE CARGAS.

Dependiendo del tipo elegido, el suministrar los siguientes datos:

- Para el tipo 1: se deberá proporcionar el número de la barra a cargar y el valor de la carga (w).
- Para el tipo 2: se deberá proporcionar el número del grado de libertad al que se asocia la carga y el valor de la misma (Q).

- Para el tipo 3) se deberá proporcionar el valor de la sobrecarga por unidad de área (w), las coordenadas (X, Y) del vértice más a la izquierda y más cercano al eje X del rectángulo que representa el área cargada y finalmente la longitud y espesor de esta (a, c) (fig. 3.2).

Un ejemplo avanzado se muestra en la PANTALLA 9:

CARGAS EN LA ESTRUCTURA

TIPO 1: CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA EN UNA BARRA.
 TIPO 2: CARGA CONCENTRADA EN UN NUDO, ASOCIADA A UN GRADO DE LIBERTAD.
 TIPO 3: SOBRECARGA RECTANGULAR EN LA SUPERFICIE DEL TERRENO.

TIPO 1	BARRA=	1	W=	5			
TIPO 1	BARRA=	2	W=	4			
TIPO 2	G. DE LIB.	4	Q=	-5			
TIPO 3	W=	2	X=	-5	Y=	7	A= 19 C= 4

PANTALLA 9: EJEMPLO AVANZADO DE CAPTURA DE DATOS DE CARGAS.

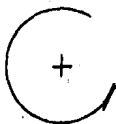
Donde se pide se teclee el tipo de carga, que puede ser:

1.- Carga uniformemente repartida en una barra; para este tipo se deberá proporcionar el número de la barra y la carga (w).

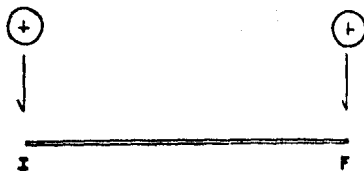
2.- Carga concentrada en un nudo asociado a un grado de libertad; se proporcionara el número de la barra y la carga (Q) que afecta a la misma.

3.- Sobrecarga rectangular en la superficie del terreno; se deberá proporcionar el valor de la sobrecarga por unidad de área (w), las coordenadas (x, y) del vértice más a la izquierda y más cercano al eje X del rectángulo que representa el área cargada y finalmente la longitud y espesor de dicha área (a, c) (fig. 3.1b); el sentido de las cargas debe ser positivo (fig. 3.5).

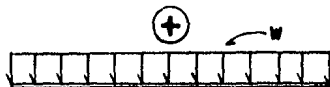
Como en el proceso anterior para finalizar la



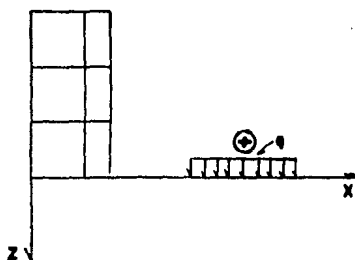
a) Momento concentrado en un nodo.



b) Cargas concentradas en los extremos de los barras.



c) Carga uniforme en las barras.



d) Sobrecarga en la superficie del terreno.

FIG. 3.5 SENTIDO POSITIVO PARA LAS CARGAS SOBRE LA ESTRUCTURA Y SOBRECARGAS DEL TERRENO.

captura de datos al presuntar por un nuevo valor de carga, se suministra cero (0) y el programa redresa a la pantalla menú.

Con este proceso damos fin a la parte concerniente a captura de datos, a continuación se explica los procesos correspondientes al Análisis Interacción Suelo-Estructura.

VII) PROCESO 4: Análisis Estructural.

Para la ejecución de este proceso es necesario ejecutar anteriormente los procesos 1 y 3, en caso de faltar alguno, el programa lo indica y redresa a la pantalla menú.


El análisis estructural, se realiza utilizando el método directo de rigideces empleado por Beaufait (1970), en este proceso se acoplan las matrices de rigidez de cada barra en la matriz de toda la estructura. Como indicador del avance del proceso, en la PANTALLA 10 se muestra el número de barra cuya matriz de rigidez se está ensamblando.

ANALISIS ESTRUCTURAL

ENSAMBLADO MATRIZ DE RIGIDES
BARRA 3

PANTALLA 10: MENSAJE DEL PROCESO DE ENSAMBLE DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA.

Además en este proceso se calcula el vector de cargas. En la PANTALLA 11 se muestra el avance de este cálculo.


 ANALISIS ESTRUCTURAL

ENSAMBLANDO VECTOR DE CARGAS

CARGA 1

PANTALLA 11: INDICADOR DEL PROCESO DE CALCULO DEL VECTOR DE CARGAS


Al terminar este proceso el programa retorna en forma automática a la pantalla menú.

VIII) PROCESO 5: Análisis de Asentamientos.

Para la elección de este proceso es necesario haber ejecutado los procesos 2 y 3.

Este, es específicamente para el cálculo de los asentamientos bajo los diferentes grados de libertad, y de desplazamientos lineales de las barras de cimentación, en función de las reacciones del terreno, que en esta etapa del análisis no se conocen, también se puede tomar en cuenta el efecto de sobrecargas rectangulares localizadas en la superficie del terreno.

Un ejemplo típico se muestra en la PANTALLA 12:


 ANALISIS DE ASENTAMIENTOS

BAJO EL GRADO DE LIBERTAD: 1

PANTALLA 12: INDICADOR DE AVANCE DEL PROCESO DE ANALISIS DE ASENTAMIENTOS DEL SUELO.

Al terminar la ejecución de este proceso retorna a la pantalla menú (PANTALLA 3).

IX) PROCESO 6: Compatibilidad de desplazamientos.

En la ejecución de este punto es necesario haber ejecutado los procesos 4 y 5.

Aquí se efectúa la compatibilidad de desplazamientos, consistente en sustituir las ecuaciones obtenidas en el análisis de asentamientos del suelo en el sistema de ecuaciones resultante del análisis estructural, fusionando sus resultados.

Durante la sustitución de ecuaciones, el programa en la pantalla va indicando el número de sustitución que se está realizando, así lo podemos ver en el ejemplo de la PANTALLA 13.

```

COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS
SUSTITUCION 1      DE: 3
  
```

PANTALLA 13: MENSAJE DEL PROCESO DE SUSTITUCION EN LA COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS.

En este proceso se resuelve el sistema de ecuaciones resultante de realizar la compatibilidad de desplazamientos. Utilizando el método de eliminación de Gauss, que consiste en hacer combinaciones lineales entre las ecuaciones del sistema, con objeto de transformar su matriz representativa en un matriz triangular, en estas combinaciones se incluye al vector de términos independientes, en dicho vector se tiene el valor de la última variable y a partir de esta, haciendo sustituciones hacia arriba, se determina el valor de las demás variables.

El programa va indicando la columna donde se está haciendo la eliminación, observese el ejemplo de la PANTALLA 14:

```

SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES
  
```

```

CONTINUACION DE ELIMINACIONES
COLUMNA: 2      DE: 9
  
```

PANTALLA 14: MENSAJE DEL PROCESO DE SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES RESULTANTE DE LA COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS.

Al finalizar el proceso nos regresamos a la pantalla menú (PANTALLA 3).

X) PROCESO 7: Impresión de datos.

Al seleccionar este proceso en el menú, se presenta la PANTALLA 15

```

      IMPRESION DE DATOS
( 1 ) DATOS ESTRUCTURA
( 2 ) DATOS DEL SUELO
( 3 ) CARGAS EN LA ESTRUCTURA
( 4 ) MENU PRINCIPAL

( ? ) CUAL OPCION QUIERE
  
```

PANTALLA 15: MENU SECUNDARIO PARA LA SELECCION DE REPORTES DE DATOS.

Como se puede ver, se tienen las opciones de:

- Impresión de datos de estructura
- Impresión de datos del suelo.
- Impresión de cargas.

Al hacer la selección de alguna de estas alternativas, se presenta la PANTALLA 16

IMPRESION DE DATOS

- (1) DATOS ESTRUCTURA
- (2) DATOS DEL SUELO
- (3) CARGAS EN LA ESTRUCTURA
- (4) MENÚ PRINCIPAL

(?) QUE OPCION QUIERE
POR IMPRESORA (S/N)

PANTALLA 16: SELECCION DE REPORTES POR PANTALLA
Y/O IMPRESORA.

Donde se pregunta si el reporte se va a presentar por impresora; si la respuesta es afirmativa los resultados iran a papel; de ser negativa serán por pantalla; al terminar, el programa resresa a la PANTALLA 15, y la opción 4 nos resresa al menú principal (PANTALLA 3).

XI) PROCESO 8: Impresión de resultados.

Para poder llevar a cabo este proceso es necesario haber efectuado los procesos del 2 al 6, porque con esta opción se obtendrá un reporte por impresora o pantalla según sea el caso; como se puede ver en la PANTALLA 17:

IMPRESION DE RESULTADOS
POR IMPRESORA (S/N)

PANTALLA 17: SELECCION DE LOS RESULTADOS DEL
ANÁLISIS.

Para cada barra se presentan los desplazamientos en cada uno de sus grados de libertad y las fuerzas o elementos mecánicos asociados a estos. Además este

reporte de las reacciones del terreno ejercidas en la cimentación de la estructura.

El usuario deberá verificar el equilibrio de momentos en cada nudo, y el equilibrio de fuerzas en toda la estructura, además en cada uno de los ejes de barra la suma de cortantes debe ser cero. Esta verificación se debe hacer ya que en la solución del sistema de ecuaciones se pueden acumular errores de redondeo llevandonos a una solución errónea, y a su vez nos llevaría a resultados no válidos para el análisis.

Al igual que en los procesos anteriores, al terminar, se regresara a la pantalla menú (PANTALLA 3).

XII) PROCESO 9: Fin

Al hacer esta elección se da por concluida la sesión de trabajo y se pueden retirar los diskettes, posteriormente se puede continuar el análisis en otra sesión, eligiendo el problema deseado o calculando uno nuevo.

Resumen:

- 1.- Los procesos del 1 al 3 son captura, consulta y modificación de datos.
- 2.- Los procesos del 4 al 6 realizan el análisis de Interacción Suelo-Estructura.
- 3.- Finalmente, los procesos 7 y 8 son los generadores de los reportes de datos y resultados del análisis.

CAPITULO IV. EJEMPLOS DE APLICACION.

Gott würfelt nicht ~
Albert Einstein
(1879 - 1955)

~ (Dios no Juega a los dados)

4. EJEMPLOS DE APLICACION

== ===== == =====

Como la finalidad de este trabajo es dar a conocer aplicaciones prácticas del Análisis de Interacción Suelo-Estructura, se presentan los siguientes ejemplos de estructuras que corresponden a construcciones actualmente en servicio (excepto la del cálculo manual), mostrando los resultados obtenidos por medio de una microcomputadora.

En cada uno se presenta:

- a) El croquis de la estructura y datos;
- b) Los resultados obtenidos (las reacciones del terreno y los elementos mecánicos en los extremos de las barras);
- c) Los tiempos empleados para la realización de todo el proceso del Análisis Interacción Suelo-Estructura.

4.1) Ejemplo de Cálculo Manual.

Este primer ejemplo es para comparar los resultados del cálculo manual visto en el Capítulo 2o., y los obtenidos por el programa de microcomputadora (fig. 4.1).

Resultados:

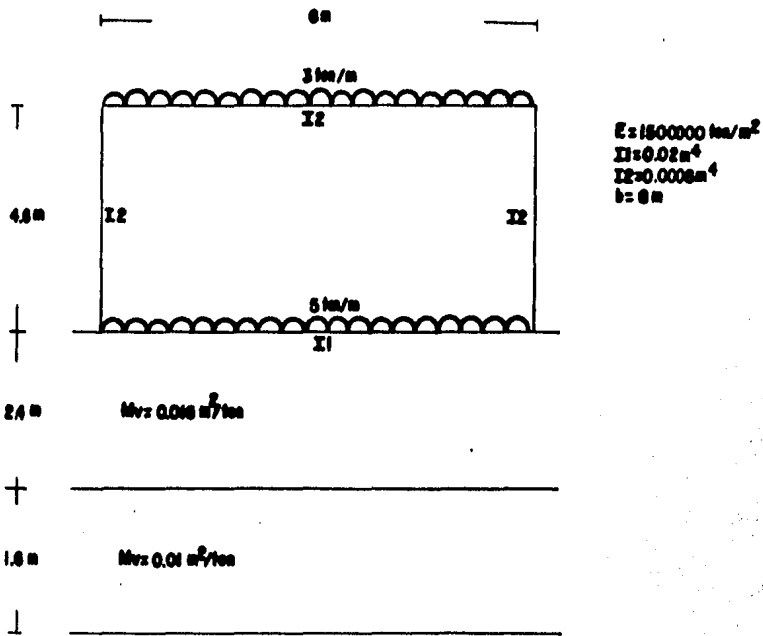
Se observa, que los resultados tanto del cálculo manual como el de microcomputadora son semejantes (listado 1), comprobando de esta forma la confiabilidad del programa.

Tiempos:

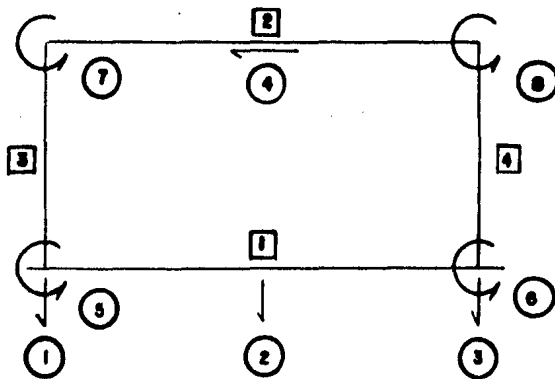
En este punto se podrá observar el tiempo empleado por la máquina, desde la selección de opción hasta que el programa resera al menú principal.

a) Análisis Estructural ->	00:00:51
b) Análisis de Asentamientos del Suelo ->	00:00:41
c) Compatibilidad de Desplazamientos ->	00:02:15

Total => 00:03:47



a) Dimensiones y cargas en la estructura



b) Numeración de barras y grados de libertad

FIG. 4.1 ESTRUCTURA DE CALCULO MANUAL, PRIMER EJEMPLO DE APLICACION.

=DATOS DE LA ESTRUCTURA

Nombre: Ejemplo de calculo manual

Número de Barras de Cimentación: 1

Número Total de Barras: 4

Número de Grados de Libertad en la Estructura: 8

Número de Estratos: 2

=PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS BARRAS

Barra	E	I	L	Tipo	Ancho Ciment.
1	1500000	0.0200	6.00	0	6
2	1500000	0.0008	6.00	0	
3	1500000	0.0008	4.60	0	
4	1500000	0.0008	4.60	0	

=GRADOS DE LIBERTAD

Barra	1	2	3	4	5
1	5	6	1	3	2
2	7	8	1	3	0
3	7	5	4	0	0
4	8	6	4	0	0

=DATOS DEL SUELO

Estrato	Espesor	Modulos de Deformación		
1	2.4	0.016	0.016	0.016
2	1.6	0.010	0.010	0.010

=CARGAS EN LA ESTRUCTURA

Tipo:1 Barra=1 W=5

Tipo:2 Barra=2 W=3

LISTADO 1

=R E S U L T A D O S

Grado de libertad	Desplazamiento	Reacción del Terreno
1	0.04321618	11.68645191
2	0.04277864	4.31354761
3	0.04321618	11.68645191
4	-0.00000000	
5	0.00047899	
6	-0.00047899	
7	-0.00083759	
8	0.00083759	

Barra	Mom. Inicio	Mom. Final	Cortante Inicio	Cortante Final
1	-.0628176	.0628157	9	9
2	.624091	-.624093	-9	-9
3	-.624098	.0628148	.122018	-.122018
4	.624098	-.0628148	-.122018	.122018

4.2) Edificio de apartamentos.

Ubicación:

Este edificio esta construido en el Distrito Federal, consta de 11 niveles, azotea y cubo de elevadores, con una altura de entrepiso de 2.60m a nivel de piso terminado (NPT), abarcando en planta una superficie de 418.85m, constituido de cuatro departamentos por piso (fig. 4.2, 4.3, 4.4).

Características de la estructura:

Los marcos constitutivos son de concreto reforzado, las dimensiones de los elementos estructurales son: columnas 0.52x0.24m en la sección transversal y en todos los niveles trabes principales de 0.6x0.25m, trabes secundarias de 0.45x0.25m (ejes 2 y 8), muros de tabique macizo y muros de concreto reforzado rigidizantes, (ejes 1 y 9) con espesor de 14cm, losa con un espesor de 12 cm en todos los niveles.

En la planta tipo de la estructura, se considera una carga de $w=8.55 \text{ Ton/m}^2$, en la planta de azotea $w=6.55 \text{ Ton/m}^2$ y en los niveles correspondientes al cubo de elevadores de $w=4.35 \text{ Ton/m}^2$.

Características generales del subsuelo:

Debido a la ubicación del predio, este se encuentra en la zona III, correspondiente a la zona de lago (zonificación del D.F. del Reglamento de Construcción), con las características propias del sitio: alta compresibilidad y nivel freático próximo a la superficie.

Planteamiento del problema:

Consideraciones:

- 1) El equivalente del edificio será una estructura de cuatro niveles.
- 2) Concentración de cargas en los nudos en el nivel superior.
- 3) Apoyada sobre el estrato de desplante del cajón de cimentación (correspondiente al segundo estrato de arriba hacia abajo, fig. 4.5).

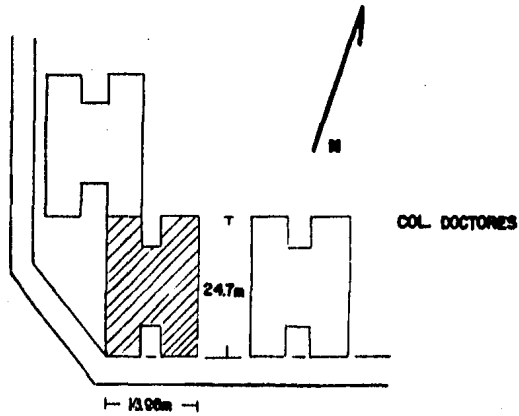


FIG. 4.2 UBICACION DEL EDIFICIO PARA APARTAMENTOS

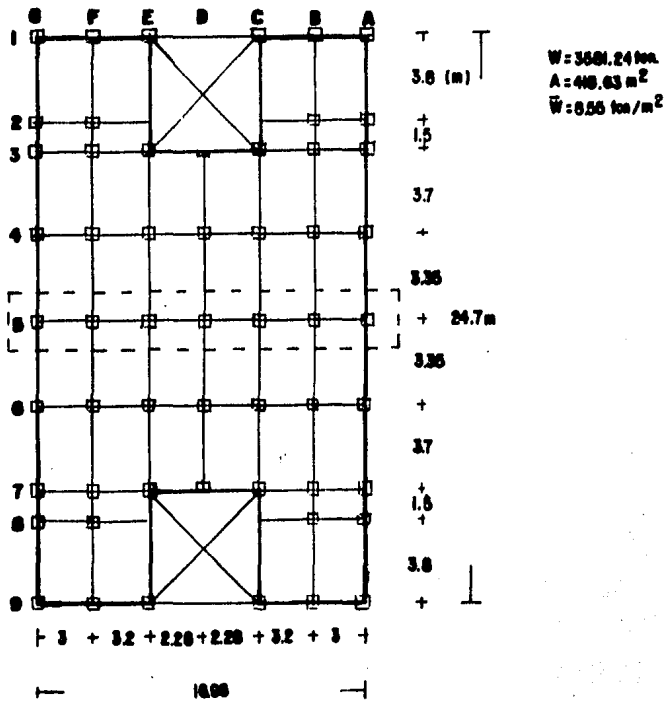


FIG. 4.3 PLANTA TIPO DE LA ESTRUCTURA

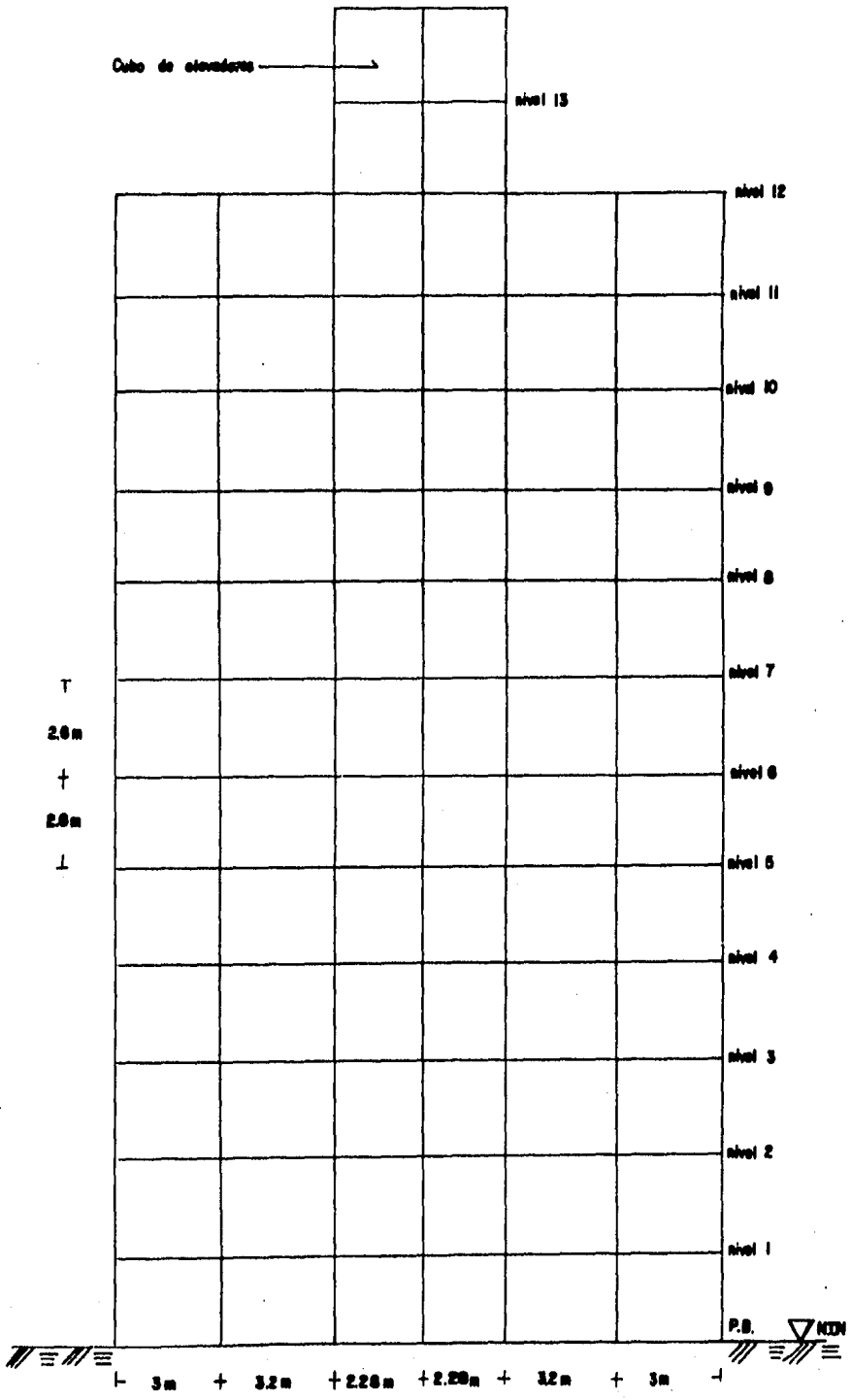


FIG. 4.4 ALZADO: VISTA POR SU ANCHO.

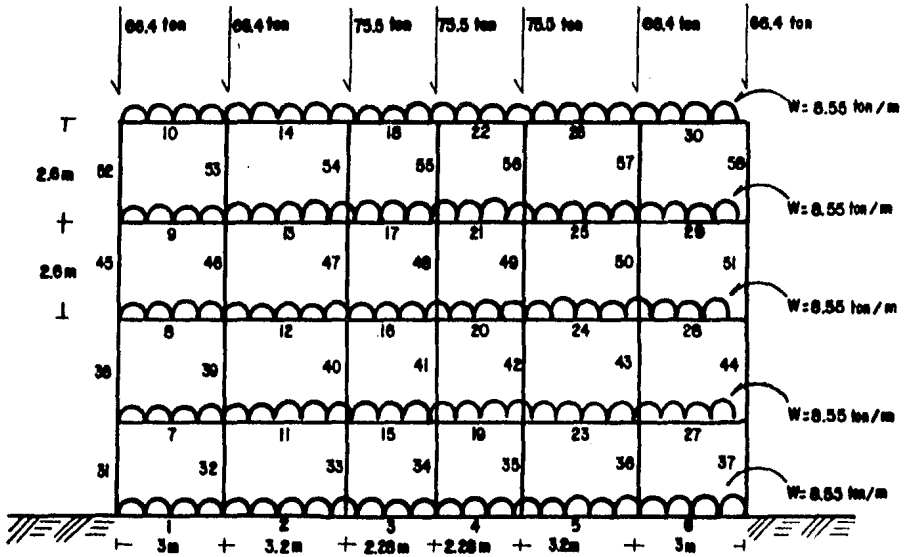
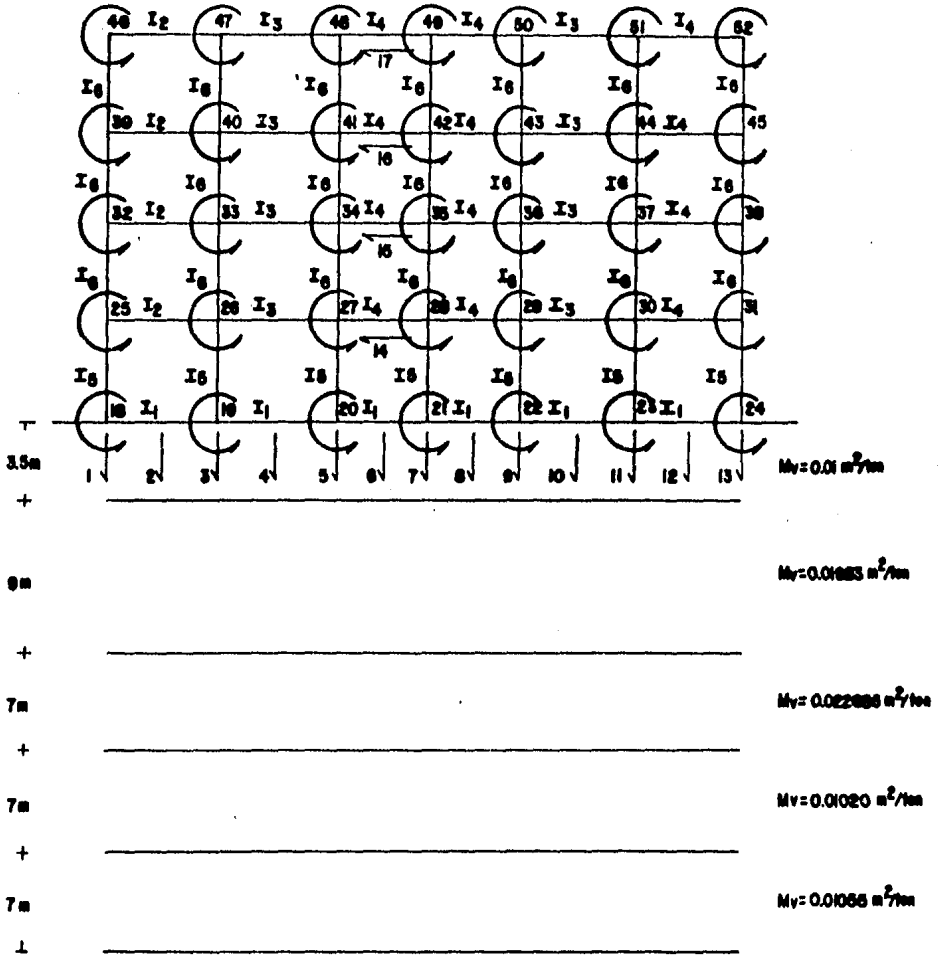


FIG. 4.3 REDUCCION DEL EDIFICIO PARA APARTAMENTOS, CONCENTRANDO LAS CARRIAS EN LOS NUDOS SUPERIORES Y NUMERACION DE BARRAS.



$E = 1414200 \text{ ton/m}^2$

Barros: 1-14, 23-33, 35-40
 42-47, 49-54, 56-58
 $E = 6800400 \text{ ton/m}^2$

Barros: 15-22, 34, 41, 48
 $E = 7071000 \text{ ton/m}^2$

- $I_1 = 0.5417 \text{ m}^4$
- $I_2 = 0.01144 \text{ m}^4$
- $I_3 = 0.01429 \text{ m}^4$
- $I_4 = 0.00180 \text{ m}^4$
- $I_5 = 0.00800 \text{ m}^4$
- $I_6 = 0.00400 \text{ m}^4$

FIG. 4.6 ASIGNACION DE GRADOS DE LIBERTAD, MOMENTOS DE INERCIA DE LAS SECCIONES Y MODULOS DE ELASTICIDAD DE LA ESTRUCTURA ASI COMO ESPESORES Y MODULOS DE DEFORMACION DEL TERRENO.

Resultados:

El programa se corrió dos veces, las características de la estructura y el suelo son las mismas para ambos, con diferencias en: cargas repartidas, concentración de cargas y efectos de viento:

1) La estructura transmite al terreno el efecto total por viento y toda la carga, en 'Reacciones del Terreno', se observó el efecto del suelo en la cimentación, con un rango de 205.6Ton a 190.9Ton en los extremos y de 66.9Ton a 48.9Ton en la parte media.

2) La estructura transmite al terreno la carga ya compensada por cimentación y su equivalente en el efecto de viento, en los resultados de 'Desplazamientos' estos fueron muy pequeños, con rango de 1.21cm a 1.27cm.

De esta manera podemos concluir que la estructura cuenta con la cimentación correcta, con hundimientos mucho menores a los aceptados por el reslamento de construcción.

En este caso no se anexan los resultados de momentos y cortantes en los nudos, ya que del edificio se obtuvo una estructura equivalente a la anterior (listado 2).

Graficamente se pueden ver los resultados en la fig. 4.8.

Tiempos:

a) Análisis Estructural ->	00:37:35
b) Análisis de Asentamientos del Suelo ->	00:24:45
c) Compatibilidad de Desplazamientos ->	00:52:18

=====

Total ==> 1:54:38

LISTADO 2

=DATOS DE LA ESTRUCTURA

Nombre: Edificio de Apartamentos

Número de Barras de Cimentación: 6

Número total de Barras: 58

Número de grados de libertad en la Estructura: 52

Número de Estrados: 8

=PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS BARRAS

Barra	E	I	L	Tipo	Ancho Ciment.
1	9899400	0.05417	3	0	24.7
2	9899400	0.05417	3.2	0	24.7
3	9899400	0.05417	2.28	0	24.7
4	9899400	0.05417	2.28	0	24.7
5	9899400	0.05417	3.2	0	24.7
6	9899400	0.05417	3	0	24.7
7	9899400	0.01144	3	0	
8	9899400	0.01144	3	0	
9	9899400	0.01144	3	0	
10	9899400	0.01144	3	0	
11	9899400	0.01429	3.2	0	
12	9899400	0.01429	3.2	0	
13	9899400	0.01429	3.2	0	
14	9899400	0.01429	3.2	0	
15	7071000	0.00160	2.28	0	
16	7071000	0.00160	2.28	0	
17	7071000	0.00160	2.28	0	
18	7071000	0.00160	2.28	0	
19	7071000	0.00160	2.28	0	
20	7071000	0.00160	2.28	0	
21	7071000	0.00160	2.28	0	
22	7071000	0.00160	2.28	0	
23	9899400	0.01429	3.2	0	
24	9899400	0.01429	3.2	0	
25	9899400	0.01429	3.2	0	
26	9899400	0.01429	3.2	0	
26	9899400	0.01429	3.2	0	
27	9899400	0.01144	3	0	
28	9899400	0.01144	3	0	
29	9899400	0.01144	3	0	
30	9899400	0.01144	3	0	
31	9899400	0.00900	2.6	0	
32	9899400	0.00900	2.6	0	
33	9899400	0.00900	2.6	0	
34	7071000	0.00900	2.6	0	
35	9899400	0.00900	2.6	0	
36	9899400	0.00900	2.6	0	
37	9899400	0.00900	2.6	0	
38	9899400	0.00469	2.6	0	

LISTADO 2

39	9899400	0.00469	2.6	0
40	9899400	0.00469	2.6	0
41	7071000	0.00469	2.6	0
42	9899400	0.00469	2.6	0
43	9899400	0.00469	2.6	0
44	9899400	0.00469	2.6	0
45	9899400	0.00469	2.6	0
46	9899400	0.00469	2.6	0
47	9899400	0.00469	2.6	0
48	7071000	0.00469	2.6	0
49	9899400	0.00469	2.6	0
50	9899400	0.00469	2.6	0
51	9899400	0.00469	2.6	0
52	9899400	0.00469	2.6	0
53	9899400	0.00469	2.6	0
54	9899400	0.00469	2.6	0
55	7071000	0.00469	2.6	0
56	9899400	0.00469	2.6	0
57	9899400	0.00469	2.6	0
58	9899400	0.00469	2.6	0

=GRADOS Barra	DE LIBERTAD				
	1	2	3	4	5
1	18	19	1	3	2
2	19	20	3	5	4
3	20	21	5	7	6
4	21	22	7	9	8
5	22	23	9	11	10
6	23	24	11	13	12
7	25	26	1	3	0
8	32	33	1	3	0
9	39	40	1	3	0
10	46	47	1	3	0
11	26	27	3	5	0
12	33	34	3	5	0
13	40	41	3	5	0
14	47	48	3	5	0
15	27	28	5	7	0
16	34	35	5	7	0
17	41	42	5	7	0
18	48	49	5	7	0
19	28	29	7	9	0
20	35	36	7	9	0
21	42	43	7	9	0
22	49	50	7	9	0
23	29	30	9	11	0
24	36	37	9	11	0
25	43	44	9	11	0

LISTADO 2

26	50	51	9	11	0
27	30	31	9	11	0
28	37	38	9	11	0
29	44	45	9	11	0
30	51	52	9	11	0
31	18	25	14	0	0
32	19	26	14	0	0
33	20	27	14	0	0
34	21	28	14	0	0
35	22	29	14	0	0
36	23	30	14	0	0
37	24	31	14	0	0
38	25	32	15	14	0
39	26	33	15	14	0
40	27	34	15	14	0
41	28	35	15	14	0
42	29	36	15	14	0
43	30	37	15	14	0
44	31	38	15	14	0
45	32	39	16	15	0
46	33	40	16	15	0
47	34	41	16	15	0
48	35	42	16	15	0
49	36	43	16	15	0
50	37	44	16	15	0
51	38	45	16	15	0
52	39	46	17	16	0
53	40	47	17	16	0
54	41	48	17	16	0
55	42	49	17	16	0
56	43	50	17	16	0
57	44	51	17	16	0
58	45	52	17	16	0

=DATOS DEL SUELO

Estrado	Espesor	Modulos de Deformación				
1	2.5	0.0198	0.0198	0.0198	0.0198	0.0198
		0.0198	0.0198	0.0198	0.0198	0.0198
		0.0198	0.0198	0.0198	0.0198	0.0198
2	2.5	0.0198	0.0198	0.0198	0.0198	0.0198
		0.0198	0.0198	0.0198	0.0198	0.0198
		0.0198	0.0198	0.0198	0.0198	0.0198
3	3.5	0.0227	0.0227	0.0227	0.0227	0.0227
		0.0227	0.0227	0.0227	0.0227	0.0227
		0.0227	0.0227	0.0227	0.0227	0.0227
4	3.5	0.0227	0.0227	0.0227	0.0227	0.0227
		0.0227	0.0227	0.0227	0.0227	0.0227
		0.0227	0.0227	0.0227	0.0227	0.0227

LISTADO 2

5	3.5	0.0102	0.0102	0.0102	0.0102	0.0102
		0.0102	0.0102	0.0102	0.0102	0.0102
		0.0102	0.0102	0.0102		
6	3.5	0.0102	0.0102	0.0102	0.0102	0.0102
		0.0102	0.0102	0.0102	0.0102	0.0102
		0.0102	0.0102	0.0102		
7	3.5	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105
		0.0105	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105
		0.0105	0.0105	0.0105		
8	3.5	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105
		0.0105	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105
		0.0105	0.0105	0.0105		

=CARGAS EN LA ESTRUCTURA

Tipo:1	Barra=1	W=8.55
Tipo:1	Barra=2	W=8.55
Tipo:1	Barra=3	W=8.55
Tipo:1	Barra=4	W=8.55
Tipo:1	Barra=5	W=8.55
Tipo:1	Barra=6	W=8.55
Tipo:1	Barra=7	W=8.55
Tipo:1	Barra=8	W=8.55
Tipo:1	Barra=9	W=8.55
Tipo:1	Barra=10	W=8.55
Tipo:1	Barra=11	W=8.55
Tipo:1	Barra=12	W=8.55
Tipo:1	Barra=13	W=8.55
Tipo:1	Barra=14	W=8.55
Tipo:1	Barra=15	W=8.55
Tipo:1	Barra=16	W=8.55
Tipo:1	Barra=17	W=8.55
Tipo:1	Barra=18	W=8.55
Tipo:1	Barra=19	W=8.55
Tipo:1	Barra=20	W=8.55
Tipo:1	Barra=21	W=8.55
Tipo:1	Barra=22	W=8.55
Tipo:1	Barra=23	W=8.55
Tipo:1	Barra=24	W=8.55
Tipo:1	Barra=25	W=8.55
Tipo:1	Barra=26	W=8.55
Tipo:1	Barra=27	W=8.55
Tipo:1	Barra=28	W=8.55
Tipo:1	Barra=29	W=8.55
Tipo:1	Barra=30	W=8.55
Tipo:2	s. de lib.=31	Q=-1.73
Tipo:2	s. de lib.=38	Q=-1.98
Tipo:2	s. de lib.=45	Q=-2.23
Tipo:2	s. de lib.=52	Q=-2.3
Tipo:2	s. de lib.=1	Q=66.4

LISTADO 2

Tipo:2	s. de lib.=3	Q=66.4
Tipo:2	s. de lib.=5	Q=75.5
Tipo:2	s. de lib.=7	Q=75.5
Tipo:2	s. de lib.=9	Q=75.5
Tipo:2	s. de lib.=11	Q=66.4
Tipo:2	s. de lib.=13	Q=66.4

LISTADO 2

=R E S U L T A D O S

Grado de libertad	Desplazamiento	Reacción del Terreno
1	2.88104540	190.91188049
2	2.56551276	48.63072205
3	2.85087542	63.99324417
4	2.83359166	60.03117752
5	2.81717379	59.99539948
6	2.80544719	59.92905426
7	2.79371691	60.14351654
8	2.78190154	60.47477722
9	2.77008636	61.14479446
10	2.75342779	61.93162918
11	2.73672211	66.99344635
12	2.72048875	51.23175438
13	2.70425259	205.60862732
14	0.02716722	
15	0.05438044	
16	0.08164506	
17	0.01094954	
18	0.01043297	
19	0.01030059	
20	0.01027167	
21	0.01033242	
22	0.01037903	
23	0.01062866	
24	0.01075129	
25	0.01038532	
26	0.01035851	
27	0.01039766	
28	0.01045502	
29	0.01039675	
30	0.01065381	
31	0.01075393	
32	0.01039088	
33	0.01034319	
34	0.01037213	
35	0.01043430	
36	0.01038032	
37	0.01068671	
38	0.01086311	
39	0.01040678	
40	0.01034853	
41	0.01038778	
42	0.01045968	
43	0.01039533	
44	0.01069190	
45	0.01084338	
46	0.01036000	

LISTADO 2

47	0.01032640
48	0.01034948
49	0.01043275
50	0.01033931
51	0.01072484
52	0.01104021

LISTADO 2'

=DATOS DE LA ESTRUCTURA

Nombre: Edificio de Apartamentos

Número de Barras de Cimentación: 6

Número total de Barras: 58

Número de grados de libertad en la Estructura: 52

Número de Estrados: 8

=PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS BARRAS

Barra	E	I	L	Tipo	Ancho Ciment.
1	9899400	0.05417	3	0	24.7
2	9899400	0.05417	3.2	0	24.7
3	9899400	0.05417	2.28	0	24.7
4	9899400	0.05417	2.28	0	24.7
5	9899400	0.05417	3.2	0	24.7
6	9899400	0.05417	3	0	24.7
7	9899400	0.01144	3	0	
8	9899400	0.01144	3	0	
9	9899400	0.01144	3	0	
10	9899400	0.01144	3	0	
11	9899400	0.01429	3.2	0	
12	9899400	0.01429	3.2	0	
13	9899400	0.01429	3.2	0	
14	9899400	0.01429	3.2	0	
15	7071000	0.00160	2.28	0	
16	7071000	0.00160	2.28	0	
17	7071000	0.00160	2.28	0	
18	7071000	0.00160	2.28	0	
19	7071000	0.00160	2.28	0	
20	7071000	0.00160	2.28	0	
21	7071000	0.00160	2.28	0	
22	7071000	0.00160	2.28	0	
23	9899400	0.01429	3.2	0	
24	9899400	0.01429	3.2	0	
25	9899400	0.01429	3.2	0	
26	9899400	0.01429	3.2	0	
26	9899400	0.01429	3.2	0	
27	9899400	0.01144	3	0	
28	9899400	0.01144	3	0	
29	9899400	0.01144	3	0	
30	9899400	0.01144	3	0	
31	9899400	0.00900	2.6	0	
32	9899400	0.00900	2.6	0	
33	9899400	0.00900	2.6	0	
34	7071000	0.00900	2.6	0	
35	9899400	0.00900	2.6	0	
36	9899400	0.00900	2.6	0	
37	9899400	0.00900	2.6	0	
38	9899400	0.00469	2.6	0	

LISTADO 2'

39	9899400	0.00469	2.6	0
40	9899400	0.00469	2.6	0
41	7071000	0.00469	2.6	0
42	9899400	0.00469	2.6	0
43	9899400	0.00469	2.6	0
44	9899400	0.00469	2.6	0
45	9899400	0.00469	2.6	0
46	9899400	0.00469	2.6	0
47	9899400	0.00469	2.6	0
48	7071000	0.00469	2.6	0
49	9899400	0.00469	2.6	0
50	9899400	0.00469	2.6	0
51	9899400	0.00469	2.6	0
52	9899400	0.00469	2.6	0
53	9899400	0.00469	2.6	0
54	9899400	0.00469	2.6	0
55	7071000	0.00469	2.6	0
56	9899400	0.00469	2.6	0
57	9899400	0.00469	2.6	0
58	9899400	0.00469	2.6	0

-GRADOS DE LIBERTAD

Barra	1	2	3	4	5
1	18	19	1	3	2
2	19	20	3	5	4
3	20	21	5	7	6
4	21	22	7	9	8
5	22	23	9	11	10
6	23	24	11	13	12
7	25	26	1	3	0
8	32	33	1	3	0
9	39	40	1	3	0
10	46	47	1	3	0
11	26	27	3	5	0
12	33	34	3	5	0
13	40	41	3	5	0
14	47	48	3	5	0
15	27	28	5	7	0
16	34	35	5	7	0
17	41	42	5	7	0
18	48	49	5	7	0
19	28	29	7	9	0
20	35	36	7	9	0
21	42	43	7	9	0
22	49	50	7	9	0
23	29	30	9	11	0
24	36	37	9	11	0
25	43	44	9	11	0

LISTADO 2'

26	50	51	9	11	0
27	30	31	9	11	0
28	37	38	9	11	0
29	44	45	9	11	0
30	51	52	9	11	0
31	18	25	14	0	0
32	19	26	14	0	0
33	20	27	14	0	0
34	21	28	14	0	0
35	22	29	14	0	0
36	23	30	14	0	0
37	24	31	14	0	0
38	25	32	15	14	0
39	26	33	15	14	0
40	27	34	15	14	0
41	28	35	15	14	0
42	29	36	15	14	0
43	30	37	15	14	0
44	31	38	15	14	0
45	32	39	16	15	0
46	33	40	16	15	0
47	34	41	16	15	0
48	35	42	16	15	0
49	36	43	16	15	0
50	37	44	16	15	0
51	38	45	16	15	0
52	39	46	17	16	0
53	40	47	17	16	0
54	41	48	17	16	0
55	42	49	17	16	0
56	43	50	17	16	0
57	44	51	17	16	0
58	45	52	17	16	0

=DATOS DEL SUELO

Estrado	Espesor	Modulos de Deformación				
1	2.5	0.0198	0.0198	0.0198	0.0198	0.0198
		0.0198	0.0198	0.0198	0.0198	0.0198
		0.0198	0.0198	0.0198	0.0198	0.0198
2	2.5	0.0198	0.0198	0.0198	0.0198	0.0198
		0.0198	0.0198	0.0198	0.0198	0.0198
		0.0198	0.0198	0.0198	0.0198	0.0198
3	3.5	0.0227	0.0227	0.0227	0.0227	0.0227
		0.0227	0.0227	0.0227	0.0227	0.0227
		0.0227	0.0227	0.0227	0.0227	0.0227
4	3.5	0.0227	0.0227	0.0227	0.0227	0.0227
		0.0227	0.0227	0.0227	0.0227	0.0227
		0.0227	0.0227	0.0227	0.0227	0.0227

LISTADO 2'

5	3.5	0.0102	0.0102	0.0102	0.0102	0.0102
		0.0102	0.0102	0.0102	0.0102	0.0102
		0.0102	0.0102	0.0102		
6	3.5	0.0102	0.0102	0.0102	0.0102	0.0102
		0.0102	0.0102	0.0102	0.0102	0.0102
		0.0102	0.0102	0.0102		
7	3.5	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105
		0.0105	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105
		0.0105	0.0105	0.0105		
8	3.5	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105
		0.0105	0.0105	0.0105	0.0105	0.0105
		0.0105	0.0105	0.0105		

=CARGAS EN LA ESTRUCTURA

Tipo:1	Barra=1	W=0.164
Tipo:1	Barra=2	W=0.164
Tipo:1	Barra=3	W=0.164
Tipo:1	Barra=4	W=0.164
Tipo:1	Barra=5	W=0.164
Tipo:1	Barra=6	W=0.164
Tipo:1	Barra=7	W=0.164
Tipo:1	Barra=8	W=0.164
Tipo:1	Barra=9	W=0.164
Tipo:1	Barra=10	W=0.164
Tipo:1	Barra=11	W=0.164
Tipo:1	Barra=12	W=0.164
Tipo:1	Barra=13	W=0.164
Tipo:1	Barra=14	W=0.164
Tipo:1	Barra=15	W=0.164
Tipo:1	Barra=16	W=0.164
Tipo:1	Barra=17	W=0.164
Tipo:1	Barra=18	W=0.164
Tipo:1	Barra=19	W=0.164
Tipo:1	Barra=20	W=0.164
Tipo:1	Barra=21	W=0.164
Tipo:1	Barra=22	W=0.164
Tipo:1	Barra=23	W=0.164
Tipo:1	Barra=24	W=0.164
Tipo:1	Barra=25	W=0.164
Tipo:1	Barra=26	W=0.164
Tipo:1	Barra=27	W=0.164
Tipo:1	Barra=28	W=0.164
Tipo:1	Barra=29	W=0.164
Tipo:1	Barra=30	W=0.164
Tipo:2	s. de lib.=31	Q=-0.11
Tipo:2	s. de lib.=38	Q=-0.14
Tipo:2	s. de lib.=45	Q=-0.16
Tipo:2	s. de lib.=52	Q=-0.2
Tipo:2	s. de lib.=1	Q=1.312

LISTADO 2'

Tipo:2	s. de lib.=3	Q=1.312
Tipo:2	s. de lib.=5	Q=1.4
Tipo:2	s. de lib.=7	Q=1.4
Tipo:2	s. de lib.=9	Q=1.4
Tipo:2	s. de lib.=11	Q=1.312
Tipo:2	s. de lib.=13	Q=1.312

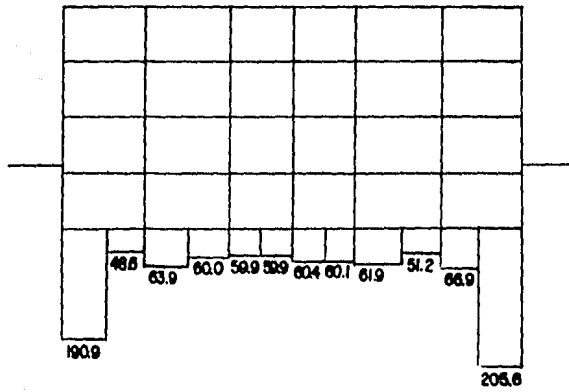
LISTADO 2'

R E S U L T A D O S

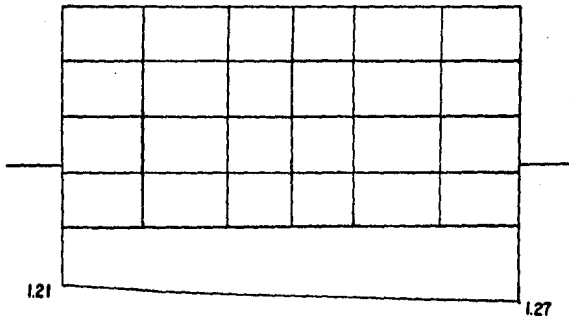
Grado de libertad	Desplazamiento	Reacción del Terreno
1	0.01214296	5.36815739
2	0.01220996	0.65130508
3	0.01227877	1.16161132
4	0.01235035	0.98920959
5	0.01242192	0.99060124
6	0.01246956	0.98170882
7	0.01251624	0.98981297
8	0.01255904	0.98981297
9	0.01255904	1.00880706
10	0.01260134	1.01950622
11	0.01265565	1.22049963
12	0.01270674	0.67865491
13	0.01276561	5.75497532
14	-0.00010391	
15	-0.00021525	
16	-0.00032397	
17	-0.00042943	
18	-0.00004254	
19	-0.00004535	
20	-0.00004317	
21	-0.00003906	
22	-0.00003655	
23	-0.00002623	
24	-0.00002164	
25	-0.00004291	
26	-0.00004293	
27	-0.00004225	
28	-0.00004149	
29	-0.00003746	
30	-0.00003719	
31	-0.00004165	
32	-0.00004426	
33	-0.00004445	
34	-0.00004336	
35	-0.00004177	
36	-0.00003750	
37	-0.00003590	
38	-0.00003857	
39	-0.00004312	
40	-0.00004412	
41	-0.00004260	
42	-0.00004071	
43	-0.00003701	
44	-0.00003568	
45	-0.00003833	
46	-0.00004470	

LISTADO 2

47	-0.00004441
48	-0.00004300
49	-0.00004003
50	-0.00003529
51	-0.00003563
52	-0.00003679



a) Reacciones del terreno (ton/m).



b) Hundimientos del terreno (cm).

FIG. 4.9 RESULTADOS DEL EDIFICIO DE APARTAMENTOS.

4.3) Casa habitación.

Consideraciones:

Como se puede ver (Planos 1, 2 y 3), esta estructura es asimétrica, para poder hacer el Análisis Interacción Suelo-Estructura, se hicieron las siguientes consideraciones (fig. 4.7a):

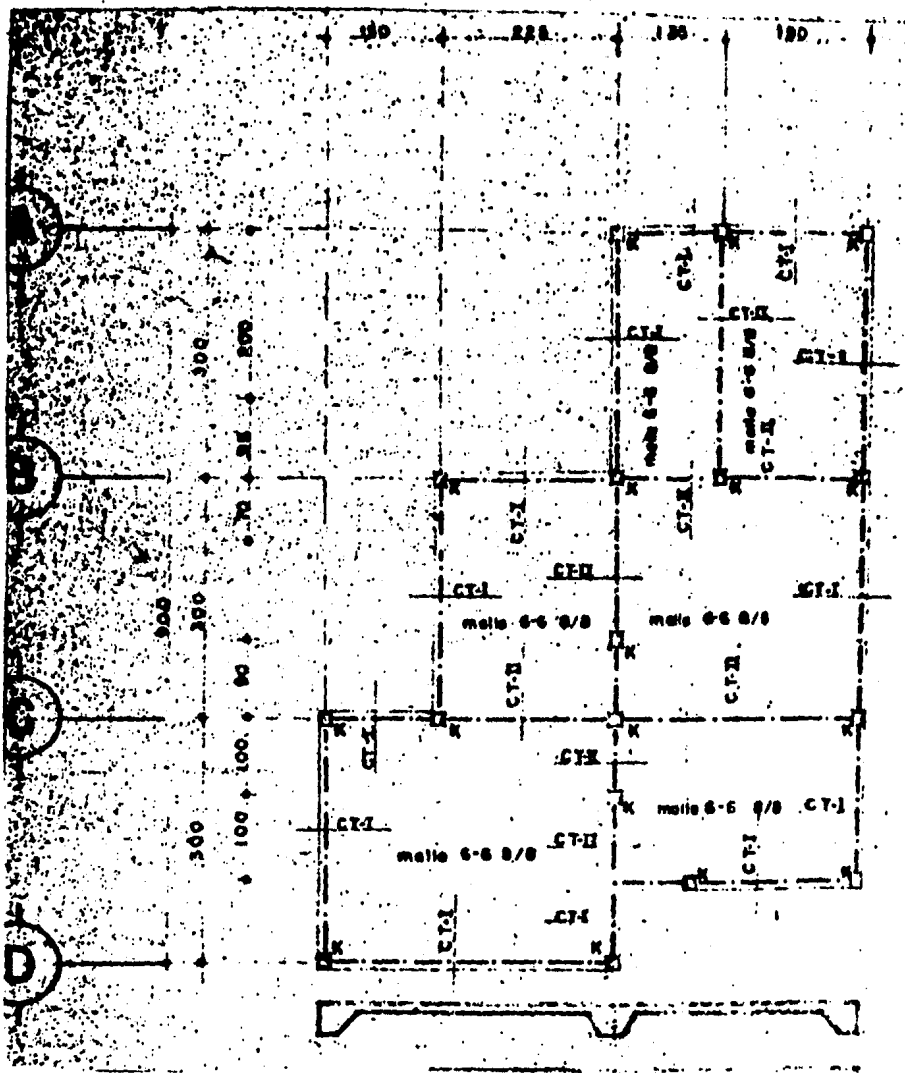
- 1.- La casa habitación será un marco equivalente, correspondiente a la sección de Puertas y ventanas (para poder tener 'trabes' y 'columnas').
- 2.- El marco a analizar será el ubicado en 'C' (Plano 1).
- 3.- La sección a analizar, es la suma de los diferentes marcos en ese sentido.
- 4.- Los módulos de elasticidad serán la suma de los marcos constitutivos en ese sentido.
- 5.- Las cargas de servicio serán:

Por el reglamento de construcción del DDF (año 1975).

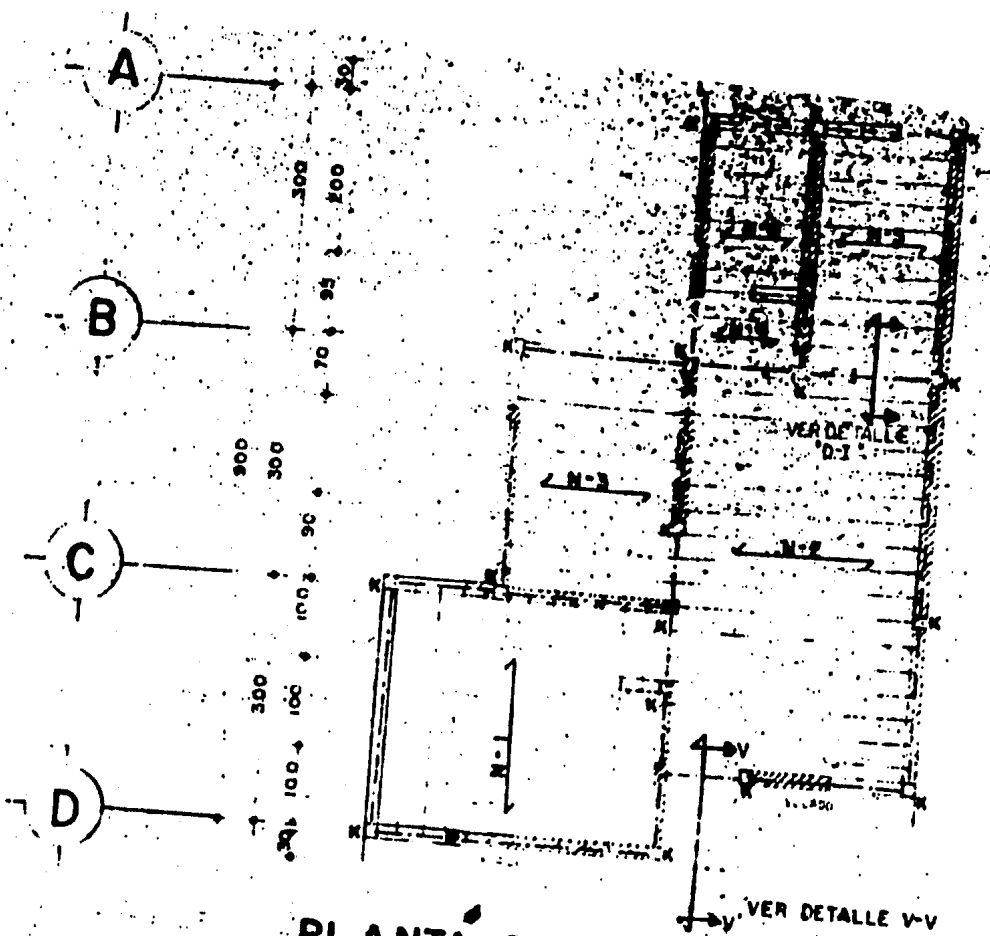
Para diseño de la cimentación y estimación de asentamientos:

Planta Tipo	Azotea
C.M. 380 Ks/m	C.M. 475 Ks/m
C.V. 40 Ks/m	C.V. 40 Ks/m
-----	-----
420 ks/m	515 ks/m
Total = 935 ks/m	

Por lo tanto, carga 1 Ton/m.



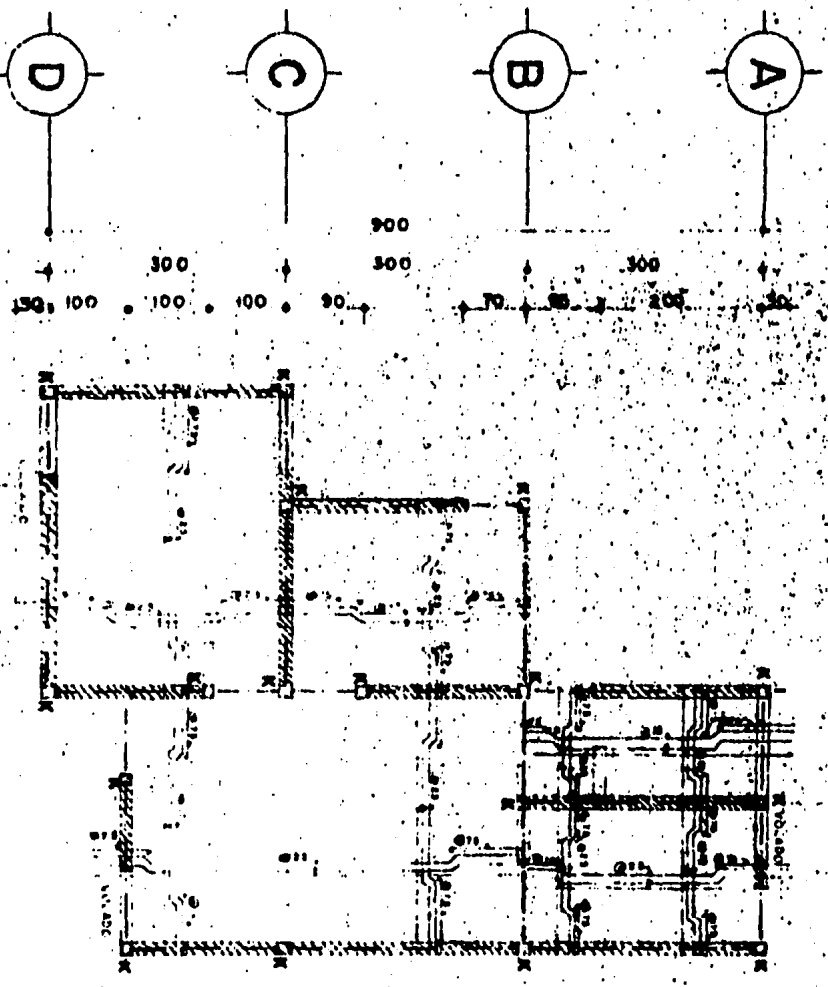
PLANO 1



PLANTA DE ENTREPISO

PLANO 2

PLANTA DE AZOTEA
ALTERNATIVA DE LOSA



4.8.2.8
E No. 28

Planteamiento del Problema:

Este ejemplo se resolvió de dos maneras:

A) Casa habitación sobre suelo con estratos horizontales (fis. 4.7b).

B) Casa habitación sobre suelo con estratos a diferentes inclinaciones (fis. 4.7c).

Resultados:

Se hizo esta corrida doble para apreciar las diferencias al considerar estratigrafía horizontal e inclinada.

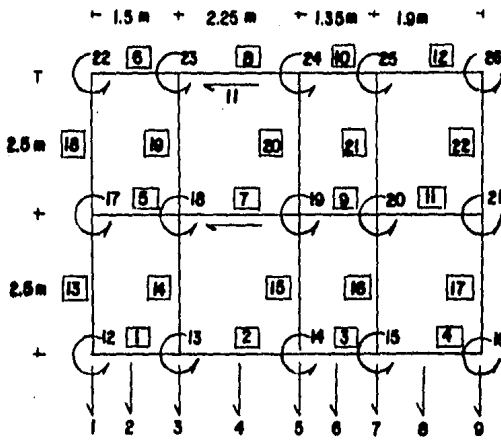
Los hundimientos diferenciales que presenta la estructura en ambas corridas, son del orden de 0.9cm a 1.2cm (fis. 4.8b) y de 1.32cm a 1.52cm (fis. 4.8d), presentandose el efecto mayor en el extremo izquierdo de la estructura, mientras que las reacciones del terreno provocan un momento de diferente magnitud en cada una; la reacción máxima se encuentra en el extremo derecho de ambos (fis. 4.8a, 4.8c) difiriendo entre ellos 7% aproximadamente, mientras que en el extremo izquierdo las reacciones difieren en un 20% aproximadamente, siendo el momento mayor cuando la estratigrafía es a diferentes inclinaciones siendo muy importante para el comportamiento de la estructura.

Tiempos:**A) Casa habitación (a):**

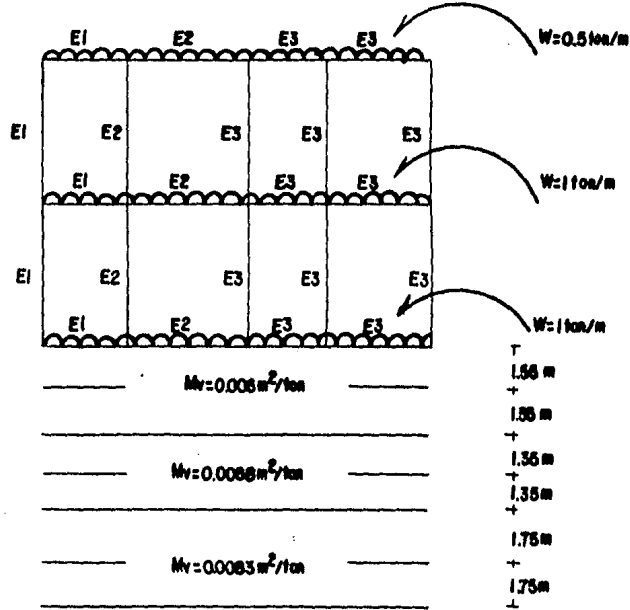
a) Análisis Estructural ->	00:02:10
b) Análisis de Asentamientos del Suelo ->	00:07:35
c) Compatibilidad de Desplazamientos ->	00:04:40
	=====
Total =>	00:14:25

B) Casa habitación (b):

a) Análisis Estructural ->	00:02:13
b) Análisis de Asentamientos del Suelo ->	00:07:18
c) Compatibilidad de Desplazamientos ->	00:04:43
	=====
Total =>	00:14:14



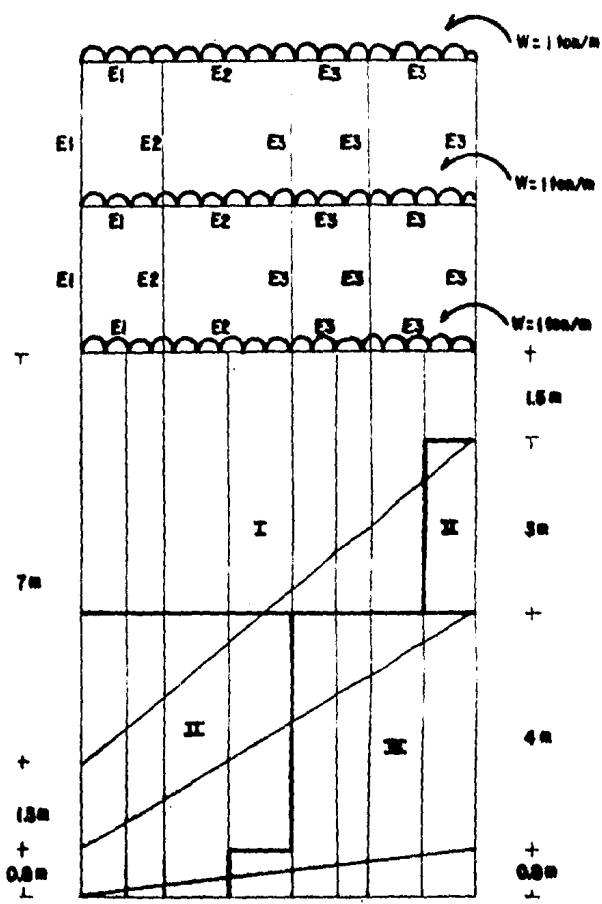
a) Grados de libertad y numeración de barras en la estructura.



$I = 0.04275 \text{ m}^4$
 $E1 = 2828400 \text{ ton/m}^2$
 $E2 = 4242000 \text{ ton/m}^2$
 $E3 = 5656800 \text{ ton/m}^2$

b) Características de la estructura y modelos de deformación del suelo. Cesa hellección estretos horizontales.

FIG. 4.7 CASA HABITACION



- I) $M_v = 0.0083 \text{ m}^2/\text{ton}$
- II) $M_v = 0.0088 \text{ m}^2/\text{ton}$
- III) $M_v = 0.008 \text{ m}^2/\text{ton}$

C) Casa habitación sobre un suelo de estratigrafía irregular. Momentos para su análisis.

FIG. 47 CASA HABITACION (Continuación).

LISTADO 3

=DATOS DE LA ESTRUCTURA

Nombre: Casa habitación (a)

Número Total de Barras de Cimentación: 4

Número Total de Barras: 32

Número de grados de libertad de la Estructura: 26

Número de estratos: 6

=PROPIEDADES GEOMETRICA DE LAS BARRAS

Barra	E	I	L	Tipo	Ancho Ciment.
1	2828400	0.04217	1.5	0	7
2	4242600	0.04217	2.25	0	7
3	5656800	0.04217	1.35	0	7
4	5656800	0.04217	1.9	0	7
5	2828400	0.04217	1.5	0	
6	2828400	0.04217	1.5	0	
7	4242600	0.04217	2.25	0	
8	4242600	0.04217	2.25	0	
9	5656800	0.04217	1.35	0	
10	5656800	0.04217	1.35	0	
11	5656800	0.04217	1.9	0	
12	5656800	0.04217	1.9	0	
13	2828400	0.04217	2.5	0	
14	4242600	0.04217	2.5	0	
15	5656800	0.04217	2.5	0	
16	5656800	0.04217	2.5	0	
17	5656800	0.04217	2.5	0	
18	2828400	0.04217	2.5	0	
19	4242600	0.04217	2.5	0	
20	5656800	0.04217	2.5	0	
21	5656800	0.04217	2.5	0	
22	5656800	0.04217	2.5	0	

=GRADOS DE LIBERTAD

Barra	1	2	3	4	5
1	12	13	1	3	2
2	13	14	3	5	4
3	14	15	5	7	6
4	15	16	7	9	8
5	17	18	1	3	0
6	22	23	1	3	0
7	18	19	3	5	0
8	23	24	3	5	0
9	19	20	5	7	0
10	24	25	5	7	0
11	20	21	7	9	0

LISTADO 3

12	25	26	7	9	0
13	17	12	10	0	0
14	18	13	10	0	0
15	19	14	10	0	0
16	20	15	10	0	0
17	21	16	10	0	0
18	22	17	11	10	0
19	23	18	11	10	0
20	24	19	11	10	0
21	25	20	11	10	0
22	26	21	11	10	0

=DATOS DEL SUELO

Estrato	Espesor	Modulos de Deformación				
1	1.55	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
2	1.55	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
3	1.35	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068	0.068
4	1.35	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068
5	1.75	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083
6	1.75	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083

=CARGAS EN LA ESTRUCTURA

Tipo:1	Barra=1	W=1
Tipo:1	Barra=2	W=1
Tipo:1	Barra=3	W=1
Tipo:1	Barra=4	W=1
Tipo:1	Barra=5	W=1
Tipo:1	Barra=6	W=.5
Tipo:1	Barra=7	W=1
Tipo:1	Barra=8	W=.5
Tipo:1	Barra=9	W=1
Tipo:1	Barra=10	W=.5
Tipo:1	Barra=11	W=1
Tipo:1	Barra=12	W=.5
Tipo:2	s. de lib.=10	Q=-.5
Tipo:2	s. de lib.=11	Q=-1

LISTADO 3

=R E S U L T A D O S

Grado de libertad	Desplazamiento	Reacción del Terreno
1	0.00914113	7.98147821
2	0.00945626	0.72090685
3	0.00977147	1.88139248
4	0.01024233	1.62266052
5	0.01071354	1.74103975
6	0.01099575	1.75062120
7	0.01127782	2.14082146
8	0.01167387	1.20102108
9	0.01207062	9.99573612
10	-0.00104902	
11	-0.00209530	
12	-0.00041960	
13	-0.00041937	
14	-0.00041886	
15	-0.00041768	
16	-0.00041928	
17	-0.00041985	
18	-0.00041948	
19	-0.00041850	
20	-0.00041851	
21	-0.00041844	
22	-0.00041982	
23	-0.00041927	
24	-0.00041839	
25	-0.00041826	
26	-0.00041832	

Barra	Mom. Inicio	Mom. Final	Cortante Inicio	Cortante Final
1	.0211026	.446241	1.91599	.823264
2	-.53299	.123395	1.01814	.594967
3	-.621661	.04042	.951329	.190469
4	-.985376	-.350161	1.80674	3.19909
5	.424982	.109064	-1.10609	-.393908
6	.376398	.276056	-.809705	.0597051
7	.204646	-.48261	-1.00142	-1.24858
8	.0779367	-.205022	-.506063	-.618937
9	-.390367	-.397923	.130749	-1.48075
10	-.305071	-.409095	.190905	-.865905
11	-.620311	-1.20391	9.95177E-03	-1.90995
12	-.0454283	-.930936	.338467	-1.28847
13	.0707873	-.0211515	.0266304	-.0266304
14	.56724	.086748	-.0630115	.0630115
15	.787653	.498301	-.426216	.426216

LISTADO 3

16	.510279	.9453383	-.693214	.693214
17	-.376248	.350077	-.344154	.344155
18	.509741	-.379582	.302326	-.302326
19	1.02415	-.384493	.295418	-.295418
20	.930883	.305395	-.326075	.326075
21	-.354006	.530248	-.621729	.621729
22	-.697923	.694067	-.65005	.65005

=DATOS DE LA ESTRUCTURA

Nombre: Casa habitación (b)

Número Total de Barras de Cimentación: 4

Número Total de Barras: 32

Número de grados de libertad de la Estructura: 26

Número de estratos: 3

=PROPIEDADES GEOMETRICA DE LAS BARRAS

Barra	E	I	L	Tipo	Ancho Ciment.
1	2828400	0.04217	1.5	0	7
2	4242600	0.04217	2.25	0	7
3	5656800	0.04217	1.35	0	7
4	5656800	0.04217	1.9	0	7
5	2828400	0.04217	1.5	0	
6	2828400	0.04217	1.5	0	
7	4242600	0.04217	2.25	0	
8	4242600	0.04217	2.25	0	
9	5656800	0.04217	1.35	0	
10	5656800	0.04217	1.35	0	
11	5656800	0.04217	1.9	0	
12	5656800	0.04217	1.9	0	
13	2828400	0.04217	2.5	0	
14	4242600	0.04217	2.5	0	
15	5656800	0.04217	2.5	0	
16	5656800	0.04217	2.5	0	
17	5656800	0.04217	2.5	0	
18	2828400	0.04217	2.5	0	
19	4242600	0.04217	2.5	0	
20	5656800	0.04217	2.5	0	
21	5656800	0.04217	2.5	0	
22	5656800	0.04217	2.5	0	

=GRADOS DE LIBERTAD

Barra	1	2	3	4	5
1	12	13	1	3	2
2	13	14	3	5	4
3	14	15	5	7	6
4	15	16	7	9	8
5	17	18	1	3	0
6	22	23	1	3	0
7	18	19	3	5	0
8	23	24	3	5	0
9	19	20	5	7	0
10	24	25	5	7	0
11	20	21	7	9	0

LISTADO 4

12	25	26	7	9	0
13	17	12	10	0	0
14	18	13	10	0	0
15	19	14	10	0	0
16	20	15	10	0	0
17	21	16	10	0	0
18	22	17	11	10	0
19	23	18	11	10	0
20	24	19	11	10	0
21	25	20	11	10	0
22	26	21	11	10	0

=DATOS DEL SUELO

Estrato	Espesor	Modulos de Deformación				
1	3.1	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083
		0.0083	0.0083	0.0083	0.0083	
2	2.7	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083
		0.0083	0.0083	0.0068	0.0068	
3	3.5	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068	0.006
		0.006	0.006	0.006	0.006	
4	0.8	0.0068	0.0068	0.0068	0.006	0.006
		0.006	0.006	0.006	0.006	

=CARGAS EN LA ESTRUCTURA

Tipo:1	Barra=1	W=1
Tipo:1	Barra=2	W=1
Tipo:1	Barra=3	W=1
Tipo:1	Barra=4	W=1
Tipo:1	Barra=5	W=1
Tipo:1	Barra=6	W=1
Tipo:1	Barra=7	W=1
Tipo:1	Barra=8	W=1
Tipo:1	Barra=9	W=1
Tipo:1	Barra=10	W=1
Tipo:1	Barra=11	W=1
Tipo:1	Barra=12	W=1
Tipo:2	s. de lib.=10	Q=-.5
Tipo:2	s. de lib.=11	Q=-1

LISTADO 4

=R E S U L T A D O S

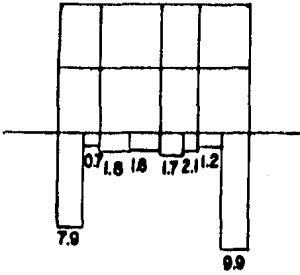
Grado de libertad	Desplazamiento	Reacción del Terreno
1	0.01326553	9.80424118
2	0.01348324	1.03864455
3	0.01370116	2.26817489
4	0.01402548	1.86233044
5	0.01435027	2.23302555
6	0.01454425	2.13113809
7	0.01473803	2.03899550
8	0.01500930	2.16073203
9	0.01528137	10.87425232
10	-0.00072248	
11	-0.00144408	
12	-0.00028924	
13	-0.00028919	
14	-0.00028837	
15	-0.00028666	
16	-0.00028768	
17	-0.00028981	
18	-0.00028938	
19	-0.00028792	
20	-0.00028799	
21	-0.00028749	
22	-0.00029019	
23	-0.00028952	
24	-0.00028772	
25	-0.00028712	
26	-0.00028670	

Barra	Mom. Inicio	Mom. Final	Cortante Inicio	Cortante Final
1	.124964	.73292	2.39105	1.41509
2	-.620943	.338419	1.32143	1.05562
3	-.779122	.171369	1.24018	.29015
4	-1.25114	6.77407E-05	2.22777	4.05872
5	.549651	.24301	-1.2783	-.221703
6	.406096	.138029	-1.11277	-.38723
7	.230175	-.381397	-1.05779	-1.19221
8	.216747	-.34087	-1.06999	-1.18001
9	-.600553	-.931647	.460304	-1.8103
10	-.151335	-.242194	-.383446	-.966554
11	-1.10064	-1.57535	.458471	-2.35847
12	-.46392	-.961582	-1.199732	-1.70027
13	-.179611	-.124946	.121823	-.121823
14	-.138687	-.111724	.100169	-.10169
15	.527727	.440507	-.387306	.387306

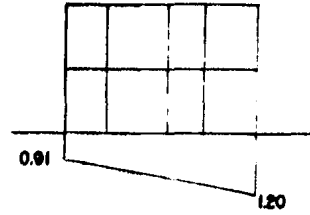
LISTADO 4

16	.825471	1.08013	-.762245	.762245
17	.667314	.763795	-.572441	.572441
18	-.40606	-.369775	.310329	-.310329
19	-.354775	-.334634	.275777	-.275777
20	.492034	.454268	-.378533	.378533
21	.706572	.539458	-.498421	.498421
22	.961379	.811614	-.709191	.709191

Casa habitación sobre suelo con estratos horizontales.

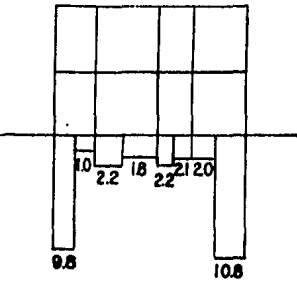


a) Reacciones del terreno (ton/m).

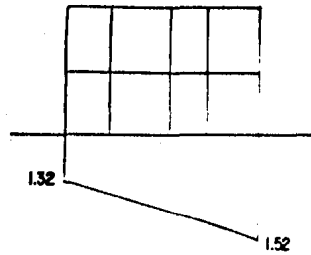


b) Hundimientos del terreno (cm).

Casa habitación sobre suelo con estratos inclinados.



a) Reacciones del terreno (ton/m).



b) Hundimientos del terreno (cm).

FIG. 4.8 RESULTADOS DE LA CASA HABITACION.

CAPITULO V. COCLUSIONES.

***** ** *****

**Soñemos, quizá entonces
hallaremos la verdad... pero abstengámonos
de publicar nuestros sueños antes de
haberlos puesto a prueba con la mente despierta.**
Friederich August Kekulé
(1829 - 1896)

5. CONCLUSIONES.

== =====

El estudio llamado Interacción Suelo-Estructura ha sido investigado desde hace muchos años, este método es extenso y no es fácil su aplicación para resolución manual, por lo que es necesario contar con programas de computadora para su solución siendo estos últimos muy escasos, además son recientes por lo que es necesario calibrar a ambos en la práctica (método y programas).

Tradicionalmente se han diseñado las piezas estructurales considerando reacción uniforme del terreno y factor de seguridad amplio; con el método propuesto en la tesis es posible obtener la configuración de la reacción del terreno y un factor de seguridad más ajustado a la realidad, sin embargo es recomendable no utilizar estructuras continuas de gran longitud, para lograr esto hay que emplear juntas constructivas, y de esta manera la aplicación del método Interacción Suelo-Estructura será óptima.

El método de Interacción Suelo Estructura adaptado en un sistema de cómputo, nos permite analizar estructuras de gran magnitud, lo que era imposible hacer en cálculos manuales, no queremos decir con esto que la computadora vaya a resultar un sustituto del ingeniero, sino una herramienta para reforzar sus decisiones como tal.

Actualmente existen varias tendencias hacia el uso de la computadora; los que creen ciegamente en los resultados vertidos por la máquina, los que no creen en ella por no conocerla y los que están dispuestos al cambio, aceptándola como un auxiliar en sus actividades. El ingeniero debe interesarse al último, por su capacidad reflexiva hacia la solución de problemas.

Las principales razones por las que la computadora ha tenido su origen, han sido las de proporcionarnos resultados a problemas planteados en ingeniería bajo diferentes condiciones. Esta tesis pretende dar a conocer unas aplicaciones del programa realizado (Tesis) Análisis Numérico de Interacción Suelo-Estructura Utilizando un Microcomputador, año 1984, autor: Jesús Eduardo Dovalí Ramos).

Nuestra primera consideración es no confiar en este por lo que procedimos a probarlo con un ejemplo de cálculo manual (Capítulo 4 inciso 4.1), al final comprobamos que los resultados obtenidos son bastante

aceptables, procediendo a trabajarlo exhaustivamente con estructuras actualmente en servicio.

Los resultados obtenidos son interesantes; como tenemos el caso del edificio de apartamentos, estructura de 11 niveles, azotea y cubo de elevadores, ubicado en la zona de laso, con cimentación semicompensada. (Capítulo 4, inciso 4.2), este fue corrido de dos maneras, llevando a los siguientes resultados:

1o., cuando el edificio transmite toda la carga al terreno (listado 2), sección de 'Reacciones' vemos la acción del suelo sobre la cimentación.

y 2o., cuando el edificio transmite por incremento de presión, los resultados serán los hundimientos, mucho menores a los aceptados por el reglamento de construcción (listado 2').

En el caso de la casa habitación, estructura de un nivel y planta baja, asimétrica, con transmisión de cargas de 1Ton/m, estratigrafía del suelo inclinada y horizontal (Capítulo 4, inciso 4.3), también fue corrido de dos maneras, en las cuales podemos ver:

1o. Los hundimientos diferenciales son muy pequeños y de un orden relativamente semejante entre uno y otro (listado 3).

2o. En el caso de las 'Reacciones del Terreno' hay que hacer notar, las reacciones del suelo varían notablemente por la diferencia de estratigrafía y así nos damos cuenta de la gran importancia que tiene el suelo para una estructura, pero la necesidad de calibrar estos resultados con la práctica, nos es necesaria la instrumentación de las estructuras (listado 4).

Como el método propuesto no requiere de iteraciones pero si es laborioso, es necesaria su sistematización. En la tesis se pretende mostrar en forma clara, sencilla y concreta el análisis de diferentes estructuras en donde lo más difícil es entender el método de Interacción Suelo-Estructura, han surgido pocos programas de computadora, siendo este uno de los más accesibles para el usuario, ya que al correrlo nos lleva paso a paso de una forma fácil y ordenada en la introducción de los datos y ejecución del análisis, quedando el procesamiento (cálculos intermedios), a cargo de la computadora.

El uso de este programa nos presenta las siguientes ventajas:

- 1.- No es necesario tener conocimientos de programación o computación alguno.
- 2.- El programa mantiene un diálogo entre el usuario y la computadora (Sistema Interactivo).
- 3.- Emplea la nomenclatura utilizada en el análisis estructural y de la mecánica de suelos, facilitando de esta manera su operación.
- 4.- Por el lenguaje y máquina utilizados es factible la adaptación de éste a otros sistemas (Microcomputadoras).
- 5.- Permite especificar sobrecargas rectangulares en cualquier punto del terreno, con lo que es posible simular un análisis tridimensional de asentamientos del suelo (Bastante complejo en su cálculo manual).
- 6.- Con los resultados obtenidos se facilita el diseño de las piezas estructurales.

Para emplear este programa eficientemente es necesario conocer a fondo el método Interacción Suelo-Estructura (Tener las bases teóricas).

Las estructuras muy grandes que se quieran analizar con este programa es necesario modificarlas, para que:

- 1.- Los tiempos de máquina no sean excesivos.
- 2.- Debido a la característica de almacenamiento de la microcomputadora de truncar y no redondeo los valores numéricos, pierden precisión en los resultados.
- 3.- No se sobrepase la capacidad de memoria de la máquina y en los diskettes.

En los problemas resueltos con este método se anexan tiempos, el rango de estos va desde 00:03:47 hasta 1:58:48, de ninguna manera se pueden comparar estos con los cálculos manuales, dejándonos únicamente la interpretación de resultados (i.e. criterio del ingeniero).

Para emplear este Programa eficientemente es necesario conocer a fondo el método Interacción Suelo-Estructura (Tener las bases teóricas).

Los métodos de cálculo existentes en ingeniería se complican más día a día, por lo que estamos en los inicios de una nueva era de la educación tanto para los estudiantes como para los Ingenieros Civiles, donde será de vital importancia entender los alcances y limitaciones que encierran las microcomputadoras. Con la conjunción de los métodos y sistemas de computación nos ofrecen posibilidades insospechadas para investigación y estudio tanto de las estructuras como del suelo, ya que nos permiten de una manera relativamente fácil calcular y calibrar en la práctica con ejemplos reales, y no como se venía haciendo en el pasado, idealizandolas para poder explicar el comportamiento tanto de las estructuras como del suelo.

Para finalizar, hay que estar conscientes de; tanto el Programa como la computadora son HERRAMIENTAS AUXILIARES para el ingeniero, pero de ninguna manera lo sustituyen en sus actividades como tal.

BIBLIOGRAFIA.

Los libros son buenos amigos.
Samuel Johnson

La lectura es el alimento del saber, y cualquier
cosa que se haga con comida debe ser buena.
Snoopy.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- BEAUFIT F. W., Rovay W. H., Hoadley P. G., Hackett R. H., 'Computer Methods of structural Analysis', Ed. Prentice-Hall, 1970.
- 2.- DEMENEGHI C. A., 'Un método para el Análisis conjunto de la Estructura y el Suelo', Revista de Ingeniería, Nueva Época, Vol XLII, No. 3, pp 56-64, 1979.
- 3.- DEMENEGHI C. A., 'Apuntes del Curso de Diseño y Construcción de Cimentaciones', División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1982.
- 4.- DEMENEGHI C. A., 'Interacción Suelo-Estructura', Revista de Ingeniería, Nueva Época, Vol LII, No.4, pp 80-90.
- 5.- DOVALI R. J. E., Tesis 'Análisis Numérico de Interacción Suelo-Estructura utilizando un Microcomputador', 1984.
- 6.- FORSYTE G. E., Moler C. B., 'Solución Mediante computadoras de Sistemas Algebraicos Lineales', Ed. Universitaria de Buenos Aires.
- 7.- JUAREZ B. E. y Rico R. A., 'Mecánica de Suelos', tomo II, Ed. Limusa, 1975.
- 8.- KARDESTUNCER H., 'Introducción al Análisis Estructural con Matrices', 1975
- 9.- REGLAMENTO DE CONSTRUCCION PARA EL DISTRITO FEDERAL, Edición 1976, Publicado en el 'Diario Oficial de la Nación', 1966.
- 10.- WHITE, Gersely y Sexsmith, 'Estructuras Estaticamente Indeterminadas', Vol. 2, Ed. Limusa. 1977.
- 11.- ZEEVAERT L., 'Interacción Suelo-Estructura de cimentaciones superficiales y profundidad, sujetas a cargas estáticas y sísmicas', Ed. Limusa, 1980.

APENDICES.

=====


```

470 J=-1:IN-NG+2*NC+1:BGX=0:SHX=0:IFR/NG:INR:NGX=(N+1)*NG:GHX=NG:N=2*NC+1
480 REG=F 1:(BGX*(R-1-SHX)*(N+1))/32+1:PO=(BGX*(R-1-GHX)*(N+1)+J)MOD32:GOSUB440:IFPO=0:THENPO=32
490 RR(LJ)+CVD(RR(PO)):J=J+1:IFJ=N+1:THENRETURN:ELSEPO=PO+1:IFPO>32:THENREG=REG+1:PO=1:GOSUB440
500 GOTO440
510 'GRAVA EN RIGIDEZ REGISTRO REG
520 IFREG<LOF(1)+1:THENFORBX=1:TO32:LBETR0(BX)=MKD*(0) :INEXT:FORSZ=LOF(1)+1:TOREG-1:PUTI,BX:INEXT
530 RETURN
540 'GRAVA RENGLON R EN RIGIDEZ
550 N=NG+2*NC+1:BGX=0:SHX=0:IFR/NG:THENNGX=(N+1)*NG:SHX=NG:N=2*NC+1
560 REG=F 1:(BGX*(R-1-SHX)*(N+1))/32+1:PO=(BGX*(R-1-GHX)*(N+1)+1)MOD32:GOSUB510:GOSUB440:IFPO=0:THENPO=32
570 FORSZ=1:TO N+1:LBETR0(PO)=MKD*(RR(SZX)):PO=PO+1:IFPO>32:THENPUTI,REG:PO=1:REG=REG+1:GOSUB440
580 NEXT:PUTI,REG:RETURN
590 'INPUT
600 W0="" :QB0="" :IN0="" :IFFL=0:THENFL=1
610 WL=ABB(FL)
620 W0=INKEY$:IFW0="" :THEN620
624 IFW0=CHR0(26):THENCLS:PRINT0(12,15),"COPIANDO MATRIZ DE RIGIDEZ":CLOSE:GOSUB120:R=VAL(WZ0):GOSUB170:R=1:GOSUB140:P1=VAL(WZ0):GOSU
B170:CLOSE:OPENR"1," :COPRIG"1,1:FIELD1,1:ASH0:IN0=CHR0(20B)+ "COPY RIG" *WZ0+ " RIG" *WZ0+ "/BAC:0 (ABB)" *CHR0(13)+ "BASIC 15E1 -
F14"
625 IFW0=CHR0(26):THENIN0=IN0+CHR0(13)
626 IFW0=CHR0(26):THENIFLEN(IN0)<LOF(1):THENIN0=LEFT$(IN0+ " ",LOF(1)):GOTO625
627 IFW0=CHR0(26):THENFORX=1:TOLEN(IN0):LSE:IFX=LEN(IN0):PUTI,BX:INEXT:CLOSE:SYSTEM "DO COPRIG"
628 IFW0=CHR0(1):THENSYSMTEM "SCREEN" :GOTO620
640 IF W0=CHR0(30):THENQB0="" :GOTO 730
650 IF W0=CHR0(13):THENQB0="" :GOTO 730
660 IFFL<0:THEN670ELSE680
670 IF(W0<"*" ORW0="9" ORW0="/*")ANDW0<"E" :THEN620ELSE690
680 IFW0="*" ORW0="9" :THEN620
690 PRINT0(11,0):IN0=IN0+W0
700 WL=WL+1:GOTO620
710 IFABS(FL)=WL:THEN620
720 PRINTCHR0(10):CHR0(66):CHR0(28):WL=WL+1:IN0=LEFT$(IN0,LEN(IN0)-1):GOTO620
730 RETURN
740 MENU
750 CLS:PRINT0(0,36),"M E N U":PRINT0(3,10),"(1) DATOS ESTRUCTURA":PRINT0(5,10),"(2) DATOS DEL SUELO":PRINT0(7,10),"(3) CARGAS EN LA
ESTRUCTURA Y SOBRECARGAS EN EL TERRENO":PRINT0(9,10),"(4) ANALISIS ESTRUCTURAL"
760 PRINT0(11,10),"(5) ANALISIS DE ASENTAMIENTOS DEL SUELO":PRINT0(13,10),"(6) COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS":PRINT0(15,10),"(7)
IMPRESION DE DATOS":PRINT0(17,10),"(8) IMPRESION DE RESULTADOS":PRINT0(19,10),"(9) FIN"
770 PRINT0(23,10),"(7) QUE OPCION QUIERE":PRINT0(23,11):IFFL=-1:GOSUB590:IFIN0="1" ORIN0="9" :GOTO770ELSEONVAL(IN0):GOTO790,1100,1200,1
530,1700,1910,2120,2350,780
780 CLS:PRINT0(10,35),"F I N":CLOSE:GOSUB120:R=VAL(WZ0):GOSUB170:CLOSE:END
790 'DATOS ESTRUCTURA
800 CLS:DIMHLX(250)
810 PRINT0(0,32),"DATOS DE ESTRUCTURA":PRINT0(0,0)," GRADOS DE LIBERTAD EN LAS BARRAS:" :TAB(50)1 " TIPOS DE BARRA":PRINT0(9,3)
:STRING$(35," ") :TAB(53):STRING$(17,"*") :PRINT0(10,0),"1" GIRO AL INICIO DE LA BARRA :TAB(50)1 "0" DOBLEMENTE EMPOTRADA"
820 PRINT0(11,0),"2" GIRO AL FINAL DE LA BARRA :TAB(50)1 "1" ARTICULADA AL INICIO :PRINT0(12,0),"3" DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL AL INI
CIO :TAB(50)1 "2" ARTICULADA AL FINAL :PRINT0(13,0),"4" DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL AL FINAL"
830 PRINT0(14,0),"5" DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL AL CENTRO"
840 PRINT0(15,0):BPC(40)1 "GRADOS DE LIBERTAD":PRINT0(17,0)," 0 " :SPC(6)1 "E" :SPC(15)1 "1" :SPC(12)1 "L" 1 2 3 4 5 1
A.C.M.
850 PRINT0(21,7),CHR0(23),"NOMBRE" :IN0:PRINT0(3,7),CHR0(23),"# DE BARRAS DE CIMENTACION":INC:PRINT0(4,7),CHR0(23),"# TOTAL DE BARRA
S":INC
860 PRINT0(2,24),"IFL=30:GOSUB590:IFQB0="" :GOTO680ELSEIFIN0<"*":THENNO0=IN0:PRINT0(2,24),NO0:CHR0(23)
870 PRINT0(3,44),"IFFL=2:GOSUB590:IFQB0="" :GOTO680ELSEIFIN0<"*":THENNC=VAL(IN0):IF1=1:IF2=1:PRINT0(3,43),NC:CHR0(23)
880 INC:INC:ORNC:GOTO870
890 PRINT0(4,35),"IFL=-3:GOSUB590:IFQB0="" :GOTO670ELSEIFIN0<"*":ANDVAL(IN0)<ND:THENNB=VAL(IN0):IF1=1:IF2=1:PRINT0(4,34),NB:CHR0(23)
900 INB=NCGOTO890

```

```
910 NG=0:EA=0:IA=0:ILA=0:FORIX=1:TONB=1:RX=1:GOBUS230:IFE=ANDR>LOF(2)THEN=EA:FIX=1
920 IF1=0ANDR>LOF(2)THENI=1A:FIX=1
930 IFL=0ANDR>LOF(3)THENL=1A:FIX=1
940 RZ=(IX-1)MOD4+1:IFIX=N:NCHENGX(3)=(IX-1)*2+1:GX(0)=GX(3)+1:GX(4)=GX(0)+1
950 PRINT(RZ,0):IX:ITAB(3):IE:ITAB(35):IL:IFORIX=1:ITAB(19):IL:IFORIX=1:ITAB(143)+1:IX:IGX(IIX):INEXT:PRINTTAB(63):GX(0):ITAB(60):IX:ITAB(73)
:IL
960 PRINT(RZ,52):IE:ITAB(35):IGBUSUR590:IFGB=""*GOTO97ELSE:SEFIN=""*ANDVAL(IN0)<>I:THENI=VAL(IN0):FIX=1:PRINT(RZ,53):FNCZ(9):PRINT
(RZ,19):I
970 PRINT(RZ,20):IFL=-1:GOSUB590:IFGB=""*GOTO96ELSE:IFIN<>""*ANDVAL(IN0)<>I:THENI=VAL(IN0):FIX=1:PRINT(RZ,19):FNCZ(9):PRINT
(RZ,19):I
980 PRINT(RZ,38):IFL=-1:GOSUB590:IFGB=""*GOTO97ELSE:IFIN<>""*ANDVAL(IN0)<>I:THENI=VAL(IN0):FIX=1:PRINT(RZ,35):FNCZ(9):PRINT
(RZ,35):I
990 PRINT(RZ,48):IFL=-3:GOSUB590:IFGB=""*GOTO109ELSE:IFIN<>""*ANDVAL(IN0)<>GX(1)THENGX(1)=VAL(IN0):FIX=1:PRINT(RZ,47):FNCZ(4):I
:PRINT(RZ,47):GX(1)
1000 PRINT(RZ,52):IFL=-3:GOSUB590:IFGB=""*GOTO98ELSE:IFIN<>""*ANDVAL(IN0)<>GX(2)THENGX(2)=VAL(IN0):FIX=1:PRINT(RZ,51):FNCZ(4)
:PRINT(RZ,51):GX(2)
1010 IFIX=N:THENPRINT(RZ,56):IFL=-3:GOSUB590:IFGB=""*GOTO100ELSE:IFIN<>""*ANDVAL(IN0)<>GX(3)THENGX(3)=VAL(IN0):FIX=1:PRINT(RZ,55)
:PRINT(RZ,55):FNCZ(4):PRINT(RZ,55):GX(3)
1020 IFIX=N:THENPRINT(RZ,60):IFL=-3:GOSUB590:IFGB=""*GOTO101ELSE:IFIN<>""*ANDVAL(IN0)<>GX(4)THENGX(4)=VAL(IN0):FIX=1:PRINT(RZ,59)
:FNCZ(4):PRINT(RZ,59):GX(4)
1030 PRINT(RZ,69):IFL=-1:GOSUB590:IFGB=""*GOTO102ELSE:IFIN<>""*ANDVAL(IN0)<>IX:THENIX=VAL(IN0):FIX=1:PRINT
(RZ,60):FNCZ(2):PRINT(RZ,60):IX:IFTX=0:WRTX>GOTO1030
1040 IFIX=N:THENPRINT(RZ,74):IFL=-4:GOSUB590:IFGB=""*GOTO103ELSE:IFIN<>""*ANDVAL(IN0)<>IX:THENI=VAL(IN0):FIX=1:PRINT(RZ,73):FNC
Z(4):PRINT(RZ,73):I
1050 IFGB=""*GOTO99:IFL=-2:FIX=0:THENIX=NB:NEXT:GOTO990
1060 IFGB=""*GOTO99:IFL=1:GOSUB250:FORIX=0:GLX(0)=1:IX:IFL=1:IFGLX(1):NG:THENNG=GX(1):INEXT:ELBENEXT
1070 EA=ET:IA=ILA
1080 NEXT:CLS:FORIX=1:TONB=1:IFGLX(1)>0:THENPRINT"ERROR: EL GRADO DE LIBERTAD"IX: NO ESTA EN NINGUNA BARRA Y ESTA ESPECIFICADO MBTA
EL"ING:1:GOSUB1090:CLS:NEXT:ERASEGLX:GOTO740ELSE:NEXT:ERASEGLX:GOTO740
1090 PRINT(23,0),CHR(23)"PARA CONTINUAR PRESIONE "CHR(134)"ENTER"CHR(134):IFL=1:GOSUB590:PRINT(23,0),CHR(23):RETURN
1100 "DATOS DEL SUELO
1110 JX=0:N=2:NCL=1:CLS:PRINT(0,32)"DATOS DEL SUELO"
1120 JX=JX+1:R=JX:GOSUB300:PRINT(2,10),CHR(24)"RESTRATO: JX:PRINT(4,10)"MODULO DE DEFORMACION BAJO EL GRADO DE LIBERTAD:"
1130 PRINT(2,30),E=ESPESOR:CHR(23):I=I(0):PRINT(2,39):IFL=-1:GOSUB590:IFGB=""*GOTO112ELSE:GOTO112ELSE
SEFIN<>""*ANDVAL(IN0)<>E(0)THENB(0)=VAL(IN0):FZ=1:PRINT(2,38),S(0),CHR(23)
1140 IFS(0)=0:GOTO1190
1150 FORIX=1:TONB=1:IFL=1:IFL=1:STHENRZX=40
1160 IFS(0)=0:ANDIX=1:ANDJX=LOF(3)THENB(1X)-5:(IX-1):FZ=1
1170 PRINT((IX-1)MOD15+6,RZ),IX:ITAB(RZ+4)IS(IX):PRINT((IX-1)MOD15+6,RZ+5):IFL=-1:GOSUB590:IFGB=""*GOTO114ELSE:IFL=1:IFL=1:IFL=1:IFL=1
NIX=0:GOTO118ELSE:GOTO118ELSE:IFIN<>""*ANDVAL(IN0)<>B(1X)THENB(1X)=VAL(IN0):FZ=1
1180 NEXT:IA=N:JX:GOSUB300:GOTO1120
1190 NE=IX-1:GOTO740
1200 "CARGAS EN LA ESTRUCTURA
1210 CLS:PRINT(0,49)"CARGAS EN LA ESTRUCTURA"JX=0:PRINT(3,5)"TIPO 1: CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA EN UNA BARRA."PRINT(4,0)
"TIPO 2: CARGA CONCENTRADA EN UN NUDO, ASOCIADA A UN GRADO DE LIBERTAD."
1220 PRINT(5,5)"TIPO 3: SOBRECARGA RECTANGULAR EN LA SUPERFICIE DEL TERRENO."PRINT(6,0),STRING$(79,"")
1230 JX=JX+1:JX:GOSUB370:JX=(JX-1)MOD15+7:PRINT(RZ,0)"TIPO:ITX:CHR(23):IFITX<0:THENPRINT((14,7):I(0):ITX)"*BA:PRINT(RZ,1)
(0),I(0):ITX)"*BA:IFITX=3:THENPRINT(RZ,40),I(0):ITX)"*BA:PRINT(RZ,52),I(0):ITX)"*BA:PRINT(RZ,63),I(0):ITX)"*BA
:IL
1240 PRINT(RZ,5):IFL=-1:GOSUB590:IFGB=""*GOTO123ELSE:GOTO123ELSE:IFIN<>""*ANDVAL(IN0)<>IX:THENIX=VAL
(IN0):FZ=1:IFITX=0:WRTIX>GOTO1240
1250 IFITX=0:THENIFJX=LOF(4)GOTO1240ELSE:GOTO740
1260 PRINT(RZ,7),CHR(23):I(1):IX:ITAB(RZ, ) ,I(0):ITX)"*BA:PRINT(RZ, ) ,I(0):ITX)"*BA:PRINT(RZ,52) ,I(0):ITX)"*BA:PRINT(RZ,63) ,I(0):ITX)"*BA
:IL
1270 PRINT(RZ,19):IFL=-9:GOSUB590:IFGB=""*GOTO124ELSE:IFIN<>""*ANDVAL(IN0)<>I:THENI=VAL(IN0):FIX=1
1280 IFITX=1:ANDBA=NB:WRTIX=2:ANDBA=NG:GOTO1270
1290 PRINT(RZ,31):IFL=-9:GOSUB590:IFGB=""*GOTO1270ELSE:IFIN<>""*ANDVAL(IN0)<>I:THENI=VAL(IN0):FIX=1
```



```
1300 IFIX=3THENPRINT(RZ,X3) ,11FL=-9*GOSUB590;IF0B=1*GOTO1290ELSEIFIN0<>*ANDVAL(IN0)>0BTHENB=VAL(IN0)*F3;=1
1310 IFIX=3THENPRINT(RZ,X5) ,11FL=-9*GOSUB590;IF0B=1*GOTO1300ELSEIFIN0<>*ANDVAL(IN0)>0LATHENLA=VAL(IN0)*F3;=1
1320 IFIX=3THENPRINT(RZ,X6) ,11FL=-9*GOSUB590;IF0B=1*GOTO1310ELSEIFIN0<>*ANDVAL(IN0)>0LBTHENLB=VAL(IN0)*F3;=1
1330 R=JX;GOSUB590;GOTO1230
1340 'RIG., EMPOT EN CIMENT Y VIGA CONJ. BARRA DOBLEMENTE EMPOTRADA (TX=0)
1350 ERASEB=EC;VCDIMK(4,4);EC(4,3);VC(7)*K(1,1)+9E*I/L/K(1,2)+2E*I/L/K(1,3)-K(1,2)*J/L/K(1,4)-K(1,3)*K(2,1)+K(1,2)*K(2,2)+K(1,2)
+2*K(2,3)+K(1,1)*K(4,2)+K(1,4)*K(3,1)+K(1,3)*K(3,2)+K(2,3)*K(3,3)+2E*I/L/K(3,4)-K(3,3)
1360 N(1,1)*K(1,1)+K(1,2)+K(2,4)+K(4,3)+K(4,4)+K(4,1)+K(3,1)+K(3,2)+K(3,3);IFIX>NCTHENRETURN
1370 EC(1,1)=67/3072*L*EC(1,2)=11/128*L*LEC(1,3)=49/2048*L*EC(1,4)=1/32*L*IFIX>NCTHENRETURN
1380 L*EC(3,2)=L*74*EC(3,3)=7/512*L*EC(4,1)+EC(4,3);EC(4,2)=EC(3,2)
1390 EC(4,3);EC(3,1);VC(8)=16E*I/L*IVC(1)=E*I/L*IVC(2)=VC(1);VC(3)=VC(8)/2;VC(4)=VC(3);VC(5)=1/256*L*IVC(6)=1/32*L*IVC(7)=VC(
3);RETURN
1390 'RIG., EMPOT EN CIMENT Y VIGA CONJ. BARRA ARTICULADA IZQUIERDA (TX=1)
1400 ERASEB=EC;VCDIMK(4,4);EC(4,3);VC(7)*K(2,2)+3E*I/L/K(2,3)-K(2,2)*L/K(2,4)-K(2,3)*K(3,2)+K(2,3)*K(3,3)-K(3,2)*L/K(3,4)-K(3,
3)+K(4,2)+K(2,4)*K(4,3)+K(3,4)*K(4,4)+K(3,3);IFIX>NCTHENRETURN
1410 EC(2,1)+31/2048*L*EC(2,2)=11/128*L*LEC(2,3)=49/2048*L*EC(3,1)=479/2048*L*EC(3,2)=43/128*L*EC(3,3)=11/2048*L*EC(4,1)=33/20
48*L*EC(4,2)=21/128*L*EC(4,3)=399/2048*L
1420 VC(8)=16E*I/L*IVC(1)=8V*I/L*IVC(3)=-3E*I/L*IVC(4)=-11E*I/L*IVC(5)=41/6144*L*IVC(6)=L*L/16;IVC(7)=37/6144*L*RET
URN
1430 'RIG., EMPOT EN CIMENT Y VIGA CONJ. BARRA ARTICULADA DERECHA (TX=2)
1440 ERASEB=EC;VCDIMK(4,4);EC(4,3);VC(7)*K(1,1)+3E*I/L/K(1,3)-K(1,1)*K(1,4)-K(1,3)*K(1,3)+K(1,3)*K(3,3)+K(1,1)*L/K(1,4)-K(1,
3)*K(4,1)+K(1,4)*K(4,3)+K(3,4)*K(4,4)+K(3,3);IFIX>NCTHENRETURN
1450 EC(1,1)=49/2048*L*EC(1,2)=11/128*L*LEC(1,3)=31/2048*L*LEC(3,1)=399/2048*L*EC(3,2)=21/128*L*EC(3,3)=33/2048*L*EC(4,1)=11
3/2048*L*EC(4,2)=43/128*L*EC(4,3)=479/2048*L
1460 VC(8)=16E*I/L*IVC(1)=3E*I/L*IVC(2)=8V*I/L*IVC(3)=-11E*I/L*IVC(4)=-5E*I/L*IVC(5)=37/6144*L*IVC(6)=L*L/16;IVC(7)=41/6144*L*RETU
RN
1470 'EMPOTRIAMIENTOS POR CARGA UNIFORME TX=0
1480 ERASEDIM(4,4);E(1)=HA*L/12;E(2)=E(1);E(3)=HA*L/2;E(4)=E(3);IFIX>NCTHENRETURNSEE(8)=-HA*L/24;RETURN
1490 'EMPOTRIAMIENTOS POR CARGA UNIFORME TX=1
1500 ERASEDIM(4,4);E(2)=HA*L/8;E(3)=3*HA*L/8;E(4)=3*HA*L/8;IFIX>NCTHENRETURNSEE(8)=-HA*L/12;RETURN
1510 'EMPOTRIAMIENTOS POR CARGA UNIFORME TX=2
1520 ERASEDIM(4,4);E(1)=HA*L/8;E(3)=3*HA*L/8;E(4)=3*HA*L/8;IFIX>NCTHENRETURNSEE(8)=-HA*L/12;RETURN
1330 'ANALISIS ESTRUCTURAL
1540 CLS;PRINT(0,30);'ANALISIS ESTRUCTURAL';*IFABS(FX2)=1ANDFIX=2ANDF0X=2THENPRINT(0,0);**YA SE CORRIO EL ANALISIS ESTRUCTURAL**
1550 1;GOSUB590;GOTO700ELSEPRINT(0,23);**ENSAMBLANDO MATRIZ DE RIGIDEDES*;PRINT(0,11,35);'BARRA'
1560 1;FIX=3THENPRINT(0,24);CHR(23);'ERROR: FALTAN DATOS DE ESTRUCTURA';FL=1;GOSUB570;GOTO740
1570 1;FIX=3THENPRINT(0,15);CHR(23);'ERROR: FALTA ESPECIFICAR CARGAS EN LA ESTRUCTURA';FL=1;GOSUB570;GOTO740
1570 1;FABS(FX2);3THENERASEB=DIRM(258);FORR=1TONG;GOSUB540;NEXT
1580 FORIX=1TON8;PRINT(11,40);IX;CHR(23);R=1;GOSUB230;ONTX;GOSUB1340;1390;1430
1590 IFIX>NCTHEN=GX(8);GOSUB460;FORX=8TOD4;R(GX(5X))+R(N(GX(5X)));NEXT;5X=NG+2;IX=1+R(GX)+R(GX)+CDBL(VC(3))+R(IX);
1600 FORIX=1TOD4;IFGX(IX)>0THENR(GX(JJX))+R(GX(JJX));CDBL(R(11,12));INTELBLEAT;ENSAMBLA RIGIDEZ DE BARRA EN MATRIZ DE RIGIDE
ZES DE TODA LA ESTRUCTURA
1610 ERASEDIM(4,4);GOTO1;R=NG+2;IX=1;FORR=1TONG;FORX=2TOD4;FORJX=1TONG;CDBL(LE(11,JJX));NEXT;ENSAMBLA EMPOTRIAMIENTOS EN CIMENTACION
1630 GOSUB540;'GRAVA REGLONES GX(1X) EN MATRIZ DE RIGIDEDES
1640 NEXTIX;NEXTIX;PRINT(11,35);'CARGA';PRINT(0,24);CHR(23);**ENSAMBLANDO VECTOR DE CARGAS*
1650 FORIX=1TOD4;PRINT(11,40);IX;CHR(23);R=1;GOSUB370;IFFIX=2ORBA=-90;HA=0;GOTO1600ELSEIFFIX=1THENH=BA*GOSUB530;N(IX);
GOSUB1470;1690;1610ELSEB=BA;GOSUB460;RR(ING+2)+RR(ING+2)+21*HA;GOSUB530;GOTO1680
1660 JJX=1;IFBA>NCTHENJJX=8
1670 FORIX=JXXTOD4;IFGX(IX)>0THEN=GX(1X);GOSUB460;R(ING+2)+R(ING+2)+21*HA;GOSUB530;CDBL(E(11,IX));GOSUB540;NEXTIX;ELBLEAT;IX
1680 NEXTIX
1690 F1X=2;F3X=2;F4X=1;GOTO740
1700 'SIGN F1(X);F2
1710 R=1/24*H^2;SIGMA=ATN(2*H*H/50R*(H*H*H*H+1)/(H*H*H*H+1-H*H*H*H));SIGHA=BT;ENSIGA=SIGHA*.3;14159264
1720 SIGMA=SIGHA*(H*H*H*H+2)*2*H*H/50R*(H*H*H*H+1)/(H*H*H*H+1-H*H*H*H);SIGMA=SIGHA*.4/3;14159264;RETURN
1730 'SIGN 2 (X);Y1;A;B;X;2
```

```

1740 IFX2<X1THENX-A1+A-X2Y=ABS(Y1)+B1G0SUB170015P+51Y+ABS(Y1):G0SUB170015P=5P-BI-X-X1-X2:G0SUB170015P=5P+51Y+ABS(Y1)+B1G0SUB170015P=5P-B1:G0T01770
1750 IFX2>(X1+A)THENX=X2-X1-A1Y=ABS(Y1):G0SUB170015P=51Y+Y+B1G0SUB170015P=5P-51X=X2-X1:G0SUB170015P=5P+51Y+ABS(Y1):G0SUB170015P=5P-P-51:G0T01770
1760 X=X1+A-X2Y=ABS(Y1)+B1G0SUB170015P=51Y+ABS(Y1):G0SUB170015P=5P-BI-X=X2-X1:G0SUB170015P=5P-51Y+Y+B1G0SUB170015P=5P+51
1770 51-9P:RETURN
1780 *ANALISIS DE ASENTAMIENTOS
1790 CLS:PRINT(10,27); *ANALISIS DE ASENTAMIENTOS*:PRINT(10,27); *BAJO EL GRADO DE LIBERTAD*
1800 IFFX2<2ANDF2<2ANDF3<2THENPRINT(10,23); CHR$(23); *YA SE CORRIO EL ANALISIS DEL SUELO*:IFL=1:G0SUB5901G0T0740
1810 IFF2>3THENPRINT(10,25); CHR$(23); *ERROR! FALTAN DATOS DEL SUELO*:IFL=1:G0SUB5901G0T0740
1820 ERASEL:DIMHL(NC+1),B(NC+1):FORIX=1TONG1R=IX:G0SUB2301L1X1=L1B1(L1X)=B1L2+L1L:NEXT
1830 IFFX2>THENERASER:DIMHR(25):FORR=NG+1TONG+2NC+1:G0SUB3401NEXT
1840 ERASEH:V=BOX(DIMH(NC)):HV(NC)=2NC+1:BOX(L0F(4)):FORIX=1TONG1R=IX:G0SUB3001H1X1=B(0):FORJX=1T02NC+1:HV(XJ)=9JX:INEXTJX:NC
XTIX=NS:FORIX=1T0F(4):IR=IX:G0SUB3701FTIX=3THENNS=NS+1:BOX(NS)=IX:INEXTXELSENEXT
1850 FORIX=1T02NC+1:PRINT(10,53); IX=IR+NG+IX:G0SUB4601I=FIX(IL/2):I2=I2L+(11)/2:AI=0IA2=0IY1=0:IFIX=1THENX2=0
1860 FORIX=1T02NC+1:I=FIX(IL/2):I2=FIX(IK/2)+.5:XI=X1+AI:A2IA1=L(11)/4IA2=L(12)/4IB1=B(11)/2IB2=B(12)/2I2-0:IFNXT=1THENXI=0IB1=B2EL
SEIFKX=2NC+1THENR2=B1
1870 FORJX=1TONG1R=2+H(JX-1)/2+H(JX)/2:IFB1<B2THENA=A1IB=B1:G0SUB17301R(KX)=R(KX)+2:SIGMAHV(JX,IX)+H(JX)/(2*B):AA=2:B-B2:G0SUB17
30:R(KX)=R(KX)+2+51*HV(JX,IX)+H(JX)/(2*B):ELGEA-A1+A2IB-B1:G0SUB17301R(KX)=R(KX)+2+51*HV(JX,IX)+H(JX)/(2*B)
1880 NEXTJX:NEXTIX:IFNS>0THENFORIX=1TONG1R=BOX(KX):G0SUB3701FBA<0THENX=0XI=HA1Y=WB1A=LA:BL=BFORJX=1TONG1R=2+H(JX-1)/2+H(JX)/2:IG
0SUB17301R(KX)=R(KX)+2:R(KX)=2-B1+HV(JX,IX)+H(JX):0A1:NEXTJX:INEXTXELSENEXTIX
1890 R=NG+IX:G0SUB5401NEXTIX
1900 FX=1:IFX2<2:G0T0740
1910 *COMPARIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS
1920 *DEPLAZAMIENTOS DE DESPLAZAMIENTOS:PRINT(10,28); *DEPLAZAMIENTOS DE DESPLAZAMIENTOS:PRINT(10,28); *DEPLAZAMIENTOS DE DESPLAZAMIENTOS:PRINT(10,28)
1930 IFABS(FAX)>2ANDABS(F3X)>2ANDF1X>2ANDF2X>2ANDF3X>2THENPRINT(10,35); *YA SE CORRIO LA COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS*:IFL=1:G0
SUB5901G0T0740

```

```

1940 IFFAX<0THENPRINT(10,30); *ERROR! FALTA CERRER ANALISIS ESTRUCTURAL*:IFL=1:G0SUB5901G0T0740
1950 IFF3X<0THENPRINT(10,31); *ERROR! FALTA CERRER ANALISIS DEL SUELO*:IFL=1:G0SUB5901G0T0740
1960 IFF1X=1THENPRINT(10,2); *SE CAMBIARON DATOS DE LA ESTRUCTURA! HAY QUE CORRER EL ANALISIS ESTRUCTURAL*:IFL=1:G0SUB5901G0T0740
1970 IFF2X=1THENPRINT(10,7); *SE CAMBIARON DATOS DEL SUELO! HAY QUE CORRER EL ANALISIS DEL SUELO*:IFL=1:G0SUB5901G0T0740
1980 IFF3X=1THENPRINT(10,0); *SE CAMBIO LA ESPECIFICACION DE CARGAS! HAY QUE CORRER EL ANALISIS ESTRUCTURAL*:IFL=1:G0SUB5901G0T0740
1990 FORIX=1TONG1R=IX:G0SUB4601PRINT(3,36); IX:FORJX=1TONG+2NC+2:RI=(JZ)=R(JZ):NEXTJX:FORJX=1T02NC+1:IR=NG+IX:G0SUB4601FAR=R(IJ)(JZ)
+HFAR<0THENFORIX=1T02NC+2:RI=(NG+KZ)=RI+(NG+KZ)+FAR+R(KX):INEXTKX
2000 NEXTJX:FORJX=1TONG+2NC+2:RI=(JZ)=R(IJ):NEXTJX:R=IX:G0SUB5401NEXTIX
2010 *GAUS JORDAN A PARTIR DE LA COLUMNA N1
2020 IFNG=C<0THENFAX=2:IF5%>2:CLOSE:G0SUB1201R=VAL(W2):G0SUB1701R=1:G0SUB1401P=VAL(W2):G0SUB1701C=15BYTEN *BASIC IBEZ -F12*
2030 CLS:PRINT(3,24); *SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES*:PRINT(3,30); *COLUMNA DE1*:MINERASER:DIMHR(NG):FORIX=1TONG1R=IX)-
IX:INEXT
2040 FORIX=1TONG1PRINT(3,39); IX:G0SUB2090:R=R(X):G0SUB4601D1R=R(I)+N1:IFD1=0THENPRINT(5,10); *HAY UN CERO EN LA DIAGONAL:PRINC
IPAL EN EL RENGLO:ND:
2050 FORIX=1TONG+NC+1:R=RI(X):D1=NEXT:G0SUB3401FORJX=N1+1TONG+NC+1:RI=(JZ)=R(JZ):R=(JZ):INEXT
2060 IFIX=NNTHENF=JZ:IX=1TONG+R(X):G0SUB4601FACB=-R(X)(N1):FACB<0THENFORX=N1+1TONG+NC+1:R(KX)=R(KX)+FACB(NKX)+
G0SUB5401NEXTJX:ELSENEXTJX
2070 NEXTIX:PRINT(2,28); *SUBSTITUCION HACIA ATRAS*:CHR$(23):PRINT(3,30); *RENGLO DE1*:INGICH(24):ERASEDND:DIMD(NG):D(NG)=R(
NG+NC+1)
2080 FORIX=NN+1TOSTEP-1:R=R(X):IX:G0SUB4601PRINT(3,31); IX:FORJX=1X=1TONG+R(NN+NC+1)+R(NN+NC+1)-R(JX+NC+1):D(JX)=D(JX)+D(IX)-R
(NN+NC+1):NEXTIX:IX=NG+1:FORY=1TONG1:G0SUB2112:GETJ1:REG1=SE(R(PO)):MDD(DD(YZ)):PUTI:REG1:NEXT FAX=2:IF5%>2:G0T0740*A MENU
2090 MAX=C:MAX=0:FORJX=1TONG1YX=R(X):G0SUB2112
2100 GET1:REG1Y=CVD(R(PO)):IFABS(Y):MANTENMAN=ABS(Y):MAX=JX:INEXTYX:ELSENEXT
2110 IFMAX<0MANTENMAN<1XTHENRETURNELSEBMAPR(IX):R(X)=MAX:RETURN
2112 REG=(NN+NC+1)+(YZ-1)+IX+NC+PO=REGPDJ2:IFPO=0THENPO=32
2114 REG=REG/32:IFREG<FIX(REG)>0THENREG=FIX(REG)+1:RETURNELSERETURN
2120 *IMPRESION DE DATOS
2130 *CHR$(14) SEI DUAL:CHR$(15) RESET DUAL
2140 PRINTCHR$(15); CLS:PRINT(2,0,30); *IMPRESION DE DATOS*:PRINT(3,10); *(1) DATOS ESTRUCTURA*:PRINT(5,10); *(2) DATOS DEL SUELO*:PRIN
T(7,10); *(3) CARGAS EN LA ESTRUCTURA*:PRINT(9,10); *(4) MENU PRINCIPAL*

```



```
10 *TESIB INTERACCION SUELO ESTRUCTURA *** I B E 2 ***
20 *SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES
30 CLEAR#0:DEFINT N,R:DIR#(32):R#(250)
40 GOSUBB@R#1:GOSUBB@N#P1:WZ#MID$(STR$(W),2):R#N:GOSUBB@GOSUBB@D:K#(NG,NG+1):N2=2*NC+1:FORR=1TONG:GOSUBB@B@FORIZ=1TONG+1:R#(R,
1X)-R#(1X+N2):NEXTIK#(R,0)-R#NEXTIGOTO200
50 OPEN#R#2:GENERAL#0:56:FIELDZ,30A51#,2A5G2#,2A5G3#,2A5G4#,2A5G5#,2A5G6#,2A5G7#,2A5G8#,2A5G9#,2A5G#,4A5G#,4A5G#:RETURN
60 IFR#LOF(2)ANDLOF(2)>0THENGENT1:R#N#G1#INC#CVI(G2#):NG#CVI(G3#):NG#CVI(G4#):NG#CVI(G5#):IF1X#CVI(G6#):IF2X#CVI(G7#):IF3X#CVI(G8#):IF
4X#CVI(G9#):IF5X#CVI(GA#):I1=CVI(GB#):I2=CVI(GC#):RETURN
70 NC#-STRING$(30,""):NC#0:NB#0:NE#0:ING#0:IF1X#0:IF2X#0:IF3X#0:IF4X#0:IF5X#0:I1#0:I2#0:RETURN
80 OPEN#R#1:"RIG#WZ#+"#0:2A:FORBZ=3ZTO1STEP-1:FIELD1,B#(5X-1)A51#,BASR#(5Z):NEXT:RETURN
90 IFR#<LOF(1)ANDLOF(1)>0THENGENT1:REG#RETURNELBEFOR5X#1TO3Z:LBETR#(5Z)#MKD#(0):NEXT:PUT1,LOF(1)+1:RETURN
100 J-1:IN#NG+2*NC+1:SGX#0:SHZ#0:IFR#NGTHENGX#(N+1)*NG:SHX#NG:IN#2*NC+1
110 REG#FIX(1)(SGX+(R-1-SHZ)*(N+1))/32)+1:PO#(SGX+(R-1-SHZ)*(N+1)+J)MOD32:GOSUB1A@:GOSUB9@:IFPO#0THENPO#32
120 R#(J)=CVD(R#(PO)):J=J+1:IFJ>N+1THENRETURNELBEPO#PO+1:IFPO#32THENREG#REG+1:PO#1:GOSUB9@
130 GOTO120
140 IFR#<LOF(1)+1THENFOR5X=1TO3Z:LBETR#(5Z)#MKD#(0):NEXT:IFOR5X#LOF(1)+1TOREG-1:PUT1,5X:NEXT
150 RETURN
160 N#NG+2*NC+1:SGX#0:SHZ#0:IFR#NGTHENGX#(N+1)*NG:SHX#NG:IN#2*NC+1
170 REG#FIX(1)(SGX+(R-1-SHZ)*(N+1))/32)+1:PO#(SGX+(R-1-SHZ)*(N+1)+1)MOD32:GOSUB1A@:GOSUB9@:IFPO#0THENPO#32
180 FORBZ=1TON+1:LBETR#(PO)#MKD#(R#(5Z)):PO#PO+1:IFPO#32THENPUT1,REG:PO#1:(REG#REG+1)GOSUB9@
190 NEXT:PUT1,REG:RETURN
```

E ELEMENTOS*

```
210 FORIX=1TONN:PRINT#(3,3B),1X,1Y#K#(1X,0):GOSUB26@:DIV#K#(Y,1X+N#1):IFDIV#0THENPRINT#(5,1B),"HAY UN CERO EN LA DIAGONAL PRINCIPA
L EN EL REGLON"1X:STOP:CLOSE:END
```

```
220 FORJX=1XNITONN+1:IK#(Y,JZ)=K#(YX,JZ)/DIV#NEXT
230 IF1X#NTHENFORJX=1XNITONN:IZ#K#(JZ,0):FAC#-K#(Z,1X+N#1):IFFAC#<0THENFORKX=N+1TONN+1:IK#(Z,KZ)=K#(Z,1X)+FAC#K#(YX,KZ):NEXT
KZ:NEXTJX:ELBENEXTJX
240 NEXT1X
250 PRINT#(2,5B):SUBSTITUCION HACIA ATRAS:TONR#123:PRINT#(3,3B):RENSCONY DE:INDIC#(24):FORL#N#1TO1STEP-1:Y#R#(1X,0):R#(
NT@3,3B),1X:FORJY=1XNITONN:IZ#K#(JX,0):K#(YX,N#N#1+1)=K#(YX,N#N#1+1)-K#(YX,JZ+1):K#(ZX,N#N#1+1):NEXTJX:NEXT1X:GOTO29@
260 IF1X#NTHENRETURNELBEMAX#1X:MAX#ABS#(K#(YX,1X))
270 FORJZ=1XNITONN:IZ#K#(JZ,0):IFABS#(K#(ZX,1X))>MAX#THENMAX#JZ:MAX#ABS#(K#(ZX,1X)):NEXTJZ:ELBEMEXT
280 IFMAXX=1XTHENRETURNELBEMAPK#(1X,0):K#(MAXX,0):YX#K#(1X,0):RETURN
290 FORR=1TONG:YX#K#(R,0):FOR1X=1TONG+1:R#(1X+N2)=K#(YX,1X):NEXT1X:GOSUB16@:NEXT
300 CLOSE:SYSTEM "BASIC 15E1 -F4"
```