

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



28
59

ANALISIS NUMERICO DE INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA UTILIZANDO UN MICROCOMPUTADOR

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE;
INGENIERO CIVIL
PRESENTA

JESUS EDUARDO DOVALI RAMOS

MEXICO, D. F.

1984



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

	Pag.
CAPITULO 1: Introducción	1
CAPITULO 2: Método para el análisis de interacción suelo-estructura:	
2.1) Introducción	2
2.2) Análisis conjunto de la estructura y el suelo	6
2.3) Análisis Estructural:	
2.3.1) Matriz de rigidez de la estructura	9
2.3.2) Desplazamiento vertical de la cimentación a la mitad del entre-eje	13
2.3.3) Vector de cargas	14
2.4) Análisis de asentamientos	17
2.5) Compatibilidad de desplazamientos	20
2.6) Ejemplo de cálculo manual	21
CAPITULO 3: Programa del computador:	
3.1) Descripción	30
3.2) Instructivo para el usuario:	
3.2.1) Objetivo del Programa	31
3.2.2) Alcances del Programa	31
3.2.3) Utilización del Programa	33
CAPITULO 4: Ejemplos de Aplicación:	
4.1) Ejemplo de aplicación #1 (cálculo manual)	54
4.2) Ejemplo de aplicación #2	58
4.3) Ejemplo de aplicación #3	64
CAPITULO 5: Conclusiones	70
APENDICE I: Estructura de los diferentes archivos de información en disco	73

APENDICE II: Diagramas de flujo de los programas del computador . . .	75
APENDICE III: Listado de los programas del computador	83
BIBLIOGRAFIA:	91

CAPITULO 1: INTRODUCCION

Tradicionalmente en el análisis de estructuras, se supone una reacción uniforme del terreno sobre la cimentación y de esta forma se obtienen los elementos mecánicos en la estructura; para posteriormente diseñar las piezas estructurales con un amplio factor de seguridad.

Como se puede ver; en el análisis tradicional de estructuras no se toma en cuenta el comportamiento del suelo. En la realidad las reacciones del terreno dependerán del comportamiento del mismo y los elementos mecánicos en la estructura y cimentación serán afectados por dichas reacciones; lo cual repercute; finalmente; en el diseño de los elementos de la estructura.

De lo anterior la gran importancia de realizar un análisis conjunto de estructura y suelo.

En los últimos años este problema a ocupado la atención de muchos investigadores y se han desarrollado varios métodos de análisis; algunos con procesos que requieren de realizar iteraciones.

En este trabajo se desarrolla un programa de computador que realiza el análisis conjunto de estructura y suelo con un método de cálculo directo que no presenta el inconveniente de realizar iteraciones.

Por otro lado se puede observar el gran incremento en el uso de computadores electrónicos en la vida diaria y en todas las ramas del saber humano.

Este incremento en el uso de esta herramienta se debe a la posibilidad que se tiene de automatizar totalmente procesos en los que se manejan grandes volúmenes de información o que encierran cálculos matemáticos muy complejos o elaborados; y a que cada vez es más factible el hacerse de un computador electrónico.

Considerando lo anterior; el potencial de utilización de un computador en la ingeniería es increíblemente grande; sin embargo; muchas veces el ingeniero no está lo suficientemente capacitado para utilizarlo.

De aquí la importancia y la necesidad; de que poco a poco los ingenieros se vayan introduciendo en este campo.

En particular; el problema del análisis conjunto de estructura y suelo; encierra un proceso de cálculo muy elaborado y complejo; que manualmente practicamente resulta imposible de realizar; por lo que resulta obligado el utilizar un computador electrónico como herramienta de cálculo.

Este trabajo proporciona un programa de computador que permite realizar el análisis conjunto de estructura y suelo con relativa facilidad. Se pretende con este trabajo dar un impulso a la investigación de este problema de análisis y en un futuro modificar los métodos de análisis estructural.

Además se pretende motivar a los ingenieros de la práctica a utilizar el computador electrónico como una herramienta de cálculo.

CAPITULO # 2: METODO PARA EL ANALISIS DE INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA.

2.1) INTRODUCCION:

La cimentación de estructuras sobre suelos de mediana a alta compresibilidad, plantea el problema de determinar los hundimientos totales y diferenciales, así como los elementos mecánicos (momento flexionante, fuerza cortante y fuerza normal), tanto en la subestructura como en la superestructura, ocasionados por los hundimientos de la cimentación. Estos valores dependen por un lado, de la compresibilidad del suelo y por otro, de la rigidez de la estructura (Deméneghi 1982).

Tomando en cuenta que en los análisis estructurales convencionales, se considera en general que la estructura está empotrada o articulada en su cimentación, o se supone una presión de contacto uniforme, y que, también en general, el cálculo de hundimientos del terreno se realiza considerando la cimentación cien por ciento flexible o totalmente rígida, lo cual en ambos casos (estructural y de mecánica de suelos), dista bastante de la realidad, se ve clara la necesidad de desarrollar métodos de análisis estructural que tomen en cuenta los efectos de los hundimientos y que, al mismo tiempo, permitan calcular los valores de estos últimos.

Para ilustrar lo anterior, hagamos algunas consideraciones sobre la distribución de asentamientos y de esfuerzos, en algunos casos sencillos (Juárez Badillo y Rico 1976; Pozas 1980):

Veamos en primer lugar, el caso de un área uniformemente cargada y totalmente flexible. Debido a su flexibilidad, las presiones que el área cargada transmite al suelo serán idénticas a la presión uniforme sobre el área. Por otra parte, el asentamiento no será uniforme, sino que tendrá un valor máximo al centro del área cargada y menor en la periferia, adoptando una ley similar a la que se muestra en la fig. 2.1.a (si es que el medio cargado se supone linealmente elástico).

En la práctica, el asentamiento inmediato debido exclusivamente a cambio de forma (es decir, excluyendo el asentamiento por consolidación) de áreas flexibles con carga uniforme, apoyadas en arcillas saturadas, adopta un perfil similar al mostrado en la fig. 2.1.a.

En cambio, cuando el área flexible se apoya sobre arenas o gravas, el perfil se parece a los mostrados en la parte b de la figura 2.1, ya que los materiales gruesos poseen la propiedad de que su rigidez aumenta con el confinamiento, el cual obviamente será máximo en la zona que está bajo el centro del área cargada.

Considérese ahora en cambio, que la carga se transmite al suelo por medio de una placa infinitamente rígida. En este caso es obvio que, debido a su rigidez, la placa se asentará uniformemente, por lo que la presión de contacto entre placa y medio, en general no podrá ser uniforme (fig. 2.2).

Comparando este caso con el de la figura 2.1, es fácil ver que en el medio homogéneo y elástico, la presión es mínima al centro y máxima en las orillas, puesto que para llegar al asentamiento uniforme se deberá disminuir la tendencia al mismo en la parte central (por medio de una disminución de presión) y aumentar dicha tendencia en las orillas (aumentando la presión). Un razonamiento análogo para el caso del medio cuya rigidez aumenta con el confinamiento, conduce a una distribución en la cual la pre-

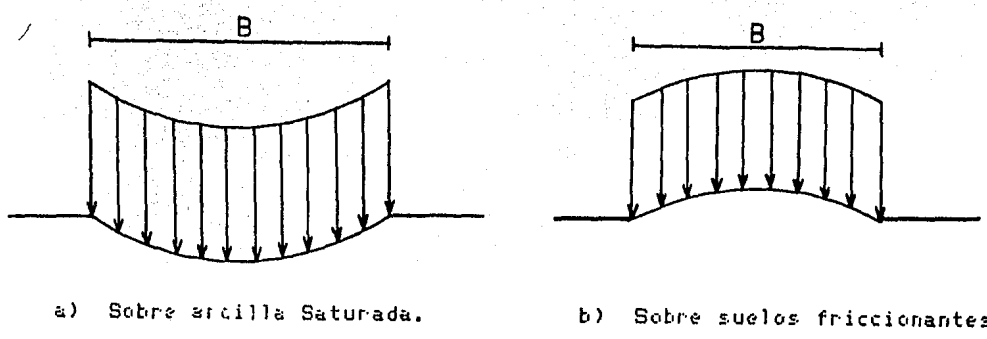


FIG. 2.1: PERFIL DE ASENTAMIENTOS BAJO UN AREA UNIFORMEMENTE CARGADA SOBRE LA SUPERFICIE DE UN MEDIO SEMI-INFINITO.

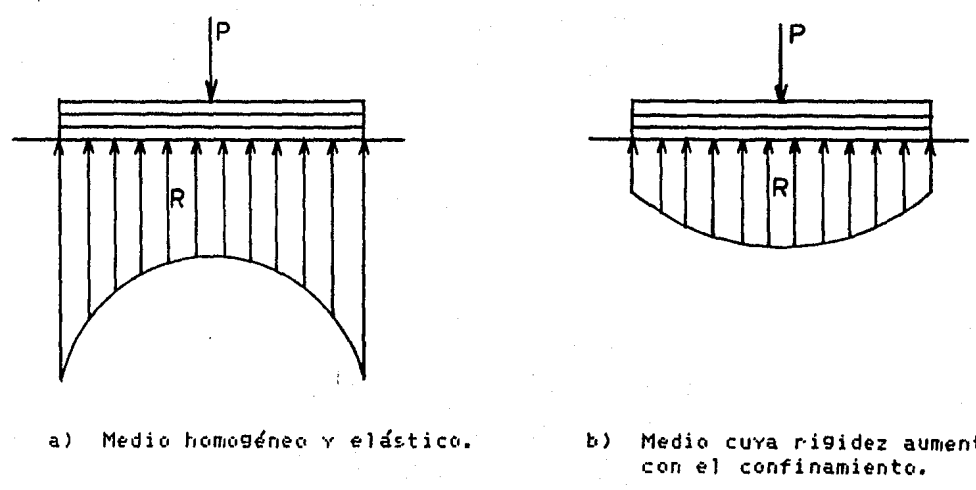


FIG. 2.2: DISTRIBUCION DE PRESIONES BAJO UNA PLACA INFINITAMENTE RIGIDA.

sión es máxima bajo el centro del área cargada y mucho menor bajo la periferia. En la fig. 2.2 se muestran ambas distribuciones.

En la práctica, el caso de la fig. 2.2.a se parece a la distribución de presiones que se presenta en una arcilla saturada en condiciones iniciales. A pesar de que teóricamente la presión es infinita en la periferia de la placa y es igual a la mitad de la presión media bajo el centro de la misma, es evidente que la primera condición no se puede satisfacer, ya que el valor de la presión en la periferia estará limitado a un máximo que dependerá de la resistencia del material.

En el caso (b) de la figura 2.2 está representada, aproximadamente, la distribución real de presiones bajo una placa rígida colocada sobre arena o grava.

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

El análisis de estructuras reales da lugar a resultados similares a los que hemos observado en los párrafos anteriores. En la fig. 2.3 se presenta una cimentación semiflexible de tipo cajón, con la geometría y cargas indicadas en la misma figura, apoyada sobre una serie de estratos de suelo compresible. En la figura 2.4 aparecen los resultados de un análisis de interacción suelo-estructura tomando en cuenta las rigideces de la estructura y del suelo (Zeevaert 1973), en la cual se observa que la presión de contacto tiende a concentrarse en los extremos de la cimentación. En la parte (b) de dicha figura, se muestra el diagrama de momento flexionante (DMF) para este análisis. Por otra parte, para efectos comparativos, se presenta el DMF considerando una presión de contacto uniforme; en esta figura 2.4.b, puede verse la gran diferencia entre los momentos flexionantes en uno y en otro caso; en el centro del claro el momento flexionante, tomando en cuenta la rigidez de la estructura, resulta del orden de la mitad del momento para una reacción uniforme; además, en algunos puntos se presenta incluso cambio de signo de momentos.

De lo anterior 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 la cimentación.

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. Por ejemplo, en zapatas aisladas de dimensiones usuales en ingeniería, la discrepancia entre la reacción uniforme y la reacción real es pequeña y queda cubierta con los factores de seguridad empleados en la práctica al diseñar la pieza estructural. Por lo que respecta a toda la estructura, en suelos muy rígidos, los asentamientos totales y diferenciales son muy pequeños y no se requiere tomarlos en cuenta en el análisis estructural. Por lo tanto, en este trabajo se considera solo el caso de estructuras cimentadas sobre suelos de mediana a alta compresibilidad, en las cuales, los asentamientos diferenciales tienen importancia en su comportamiento.

En el siguiente inciso, se presenta un procedimiento para analizar en forma conjunta la estructura y el suelo, que tiene la ventaja de que es relativamente sencillo de utilizar y que no presenta el inconveniente de efectuar iteraciones para realizarlo (Deméneghi 1982).

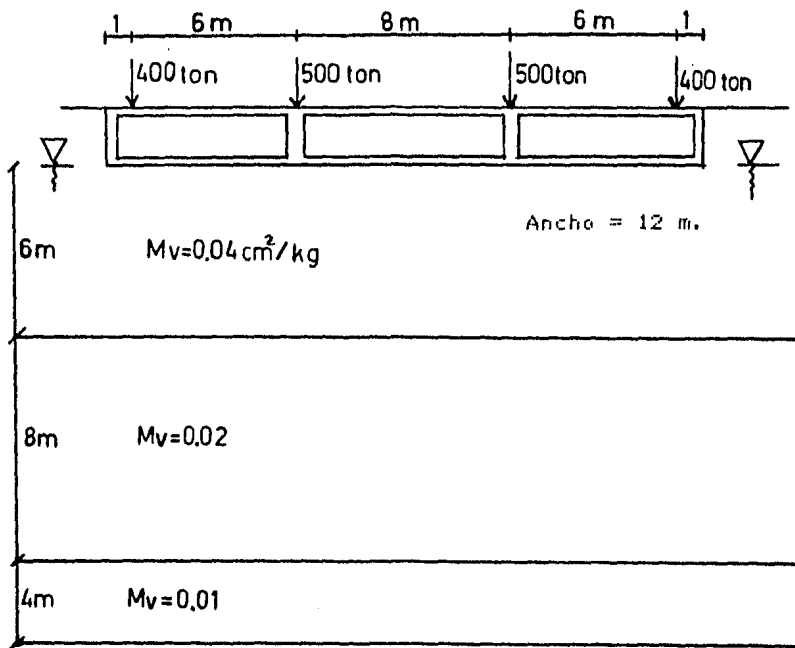


FIG. 2.3: SECCION TRANSVERSAL DE CIMENTACION TIPO CAJON.

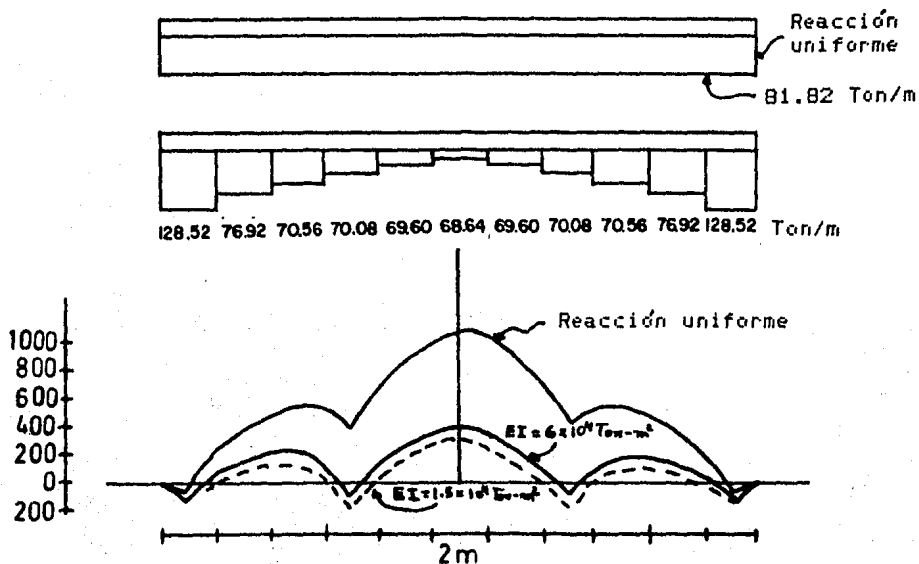


FIG. 2.4: DIAGRAMAS COMPARATIVOS DE MOMENTOS FLEXIONANTE CON REACCION UNIFORME Y NO-UNIFORME DEL TERRENO.

2.2) ANALISIS CONJUNTO DE LA ESTRUCTURA Y EL SUELO:

El método de análisis que se presenta en este trabajo, y que se detalla en este capítulo, fue desarrollado por el Ing. Agustín Deméneghi C. Profesor de la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M..

Consideremos una estructura reticular apoyada sobre un suelo de mediana a alta compresibilidad (fig. 2.5.a), en la que la cimentación puede ser resuelta a base de zapatas corridas o mediante una losa con contratrabes de concreto armado. Queremos determinar los hundimientos totales y diferenciales, así como los elementos mecánicos, tanto en la cimentación como en la superestructura.

El problema se plantea de la siguiente forma: Se supone la reacción del terreno como incógnita al principio del análisis y se supone 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 las contratrabes, tal como se ilustra en la fig. 2.5.a.

Como consecuencia de lo anterior, quedarán definidos los desplazamientos lineales o asentamientos de la cimentación, los cuales se localizarán bajo las columnas y bajo los puntos medios de las contratrabes.

LA PRIMERA ETAPA para realizar el análisis de interacción suelo-estructura (I. S. E.) es el Análisis Estructural, para el cual conviene utilizar el método de rigideces.

Este análisis estructural se realiza en forma tradicional, pero introduciendo como cargas en la estructura las reacciones del terreno, como se definieron anteriormente. Cabe aclarar que en esta etapa del análisis estructural, el valor de dichas reacciones no se conoce (fig. 2.5.a).

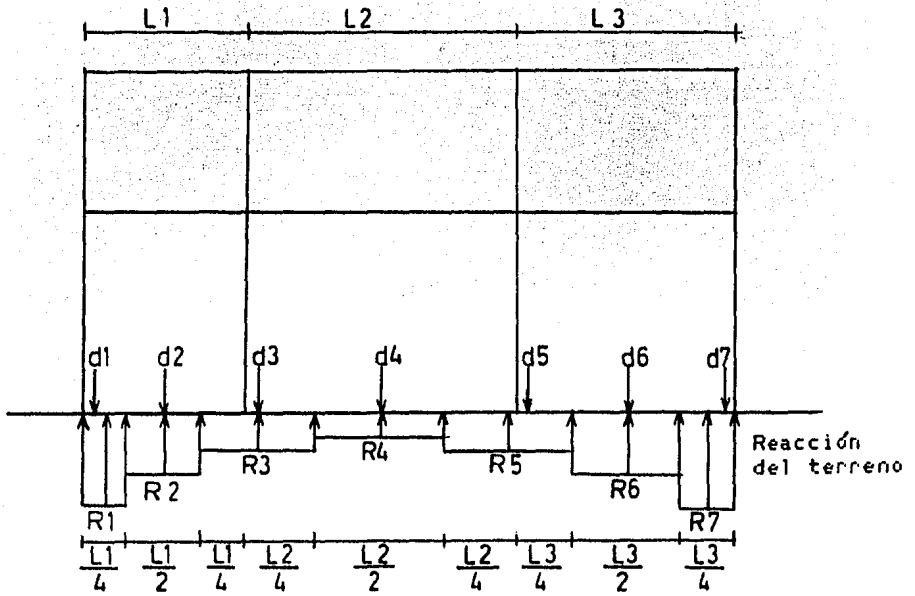
Como es bien sabido, al utilizar el método de rigideces, se conocen la matriz de rigidez y el vector de cargas de la estructura y se desconoce el vector de desplazamientos (al hablar de desplazamientos nos referimos a los desplazamientos angulares o giros y a los desplazamientos lineales, tanto en la estructura como en la cimentación). Sin embargo en nuestro caso tampoco conocemos el vector de cargas completo, ya que las reacciones del terreno también son incógnitas.

LA SEGUNDA ETAPA para el análisis de I.S.E. es el Análisis de Hundimientos del Terreno.

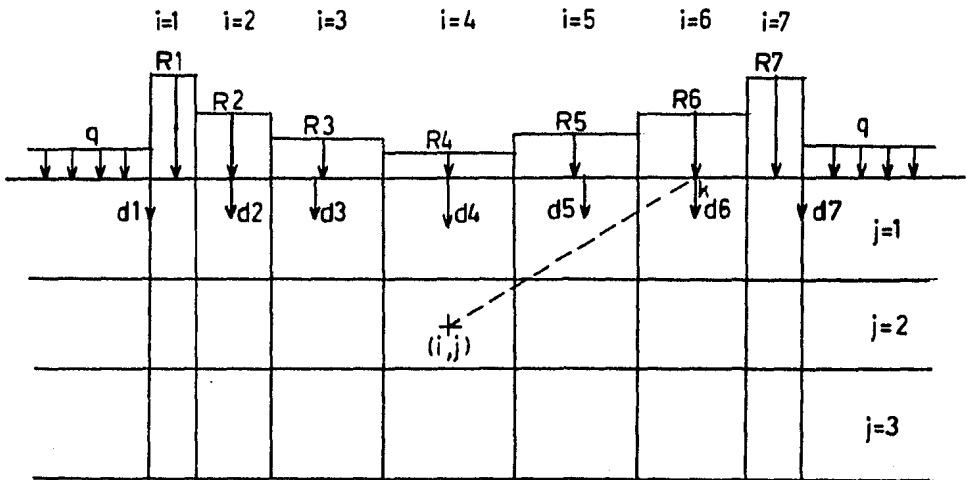
Para este análisis se consideran las reacciones del terreno, como cargas rectangulares uniformemente repartidas en la superficie del mismo (fig. 2.5.b).

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

Resumiendo un poco, hasta este momento se tiene un sistema de ecuaciones resultante de la aplicación del método de rigideces, en el que se tienen como incógnitas los giros $t(i)$, los desplazamientos lineales $d(i)$, tanto de la superestructura como de la cimentación y las reacciones $r(i)$ del terreno.



a) Análisis Estructural



b) Análisis de Asentamientos

FIG. 2.5: PLANTEAMIENTO GENERAL DEL ANALISIS DE INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA.

Por otro lado tenemos como resultado del análisis de asentamientos, una serie de ecuaciones que nos representan los desplazamientos lineales $d(i)$ de la cimentación, en función de las reacciones $r(i)$ del terreno. Cabe aclarar que aparte de los desplazamientos lineales de la cimentación, pueden existir otros desplazamientos lineales en la superestructura.

LA TERCERA ETAPA del análisis de I.S.E. reúne los resultados de las dos etapas anteriores. Esta tercera etapa se denomina Compatibilidad de Desplazamientos y como su nombre lo indica, consiste en establecer que los desplazamientos de la cimentación y los asentamientos del terreno sean compatibles, es decir, que sean iguales.

Esta compatibilidad de desplazamientos se logra al sustituir las ecuaciones que resultan del análisis de asentamientos, en el sistema de ecuaciones que se obtuvo en el análisis estructural. De esta sustitución, se obtiene un nuevo sistema de ecuaciones, con las siguientes incógnitas: desplazamientos lineales de la superestructura (se eliminan las incógnitas que representan a los desplazamientos lineales de la cimentación), los giros y las reacciones del terreno. Como se demostrará posteriormente, el número de ecuaciones en este sistema es igual al número de incógnitas.

Resolviendo este último sistema de ecuaciones, determinamos los desplazamientos lineales de la superestructura, los giros y las reacciones del terreno. Como se tienen los desplazamientos lineales de la cimentación, en función de las reacciones del terreno (resultado del análisis de asentamientos), en este momento también podremos calcularlos.

Conocidos giros y desplazamientos lineales de la estructura y cimentación, es fácil, a partir de ellos, calcular los momentos flexionantes, las fuerzas cortantes y las fuerzas normales en toda la estructura.

Vemos pues, que para resolver el problema se requiere atacarlo en tres etapas: efectuar el análisis estructural, realizar un análisis de asentamientos del suelo y finalmente establecer la compatibilidad de desplazamientos entre estructura y suelo (que implica el sustituir las ecuaciones resultantes del análisis de asentamientos en las ecuaciones del análisis estructural y resolver el sistema de ecuaciones resultante).

En los incisos siguientes, se detallan cada una de las tres etapas en que se realiza el análisis de interacción suelo-estructura.

Dado que la formación de la matriz de rigideces depende del tipo de estructura, en este trabajo presentamos, a manera de ilustración, la forma de analizar una estructura reticular continua junto con el suelo. Para analizar otro tipo de estructura (armaduras planas o espaciales, mallas, etc.), se puede proceder en forma análoga a la aquí expuesta.

2.3) ANALISIS ESTRUCTURAL:

Como se mencionó con anterioridad, para el 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).

$$\text{es decir: } K d = Q \quad (2.1)$$

Para realizar el análisis estructural es necesario formar la matriz de rigidez K de la estructura y el vector de cargas Q , para posteriormente

determinar los desplazamientos d_i mediante la solución del sistema de ecuaciones resultante.

2.3.1) MATRIZ DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA:

La determinación de la matriz de rigidez de la estructura se puede llevar a cabo empleando alguno de los métodos que se conocen actualmente en análisis estructural. En términos generales, conviene que sea un método que sea susceptible de ser programado en un computador electrónico. Por esta razón se utiliza el método directo de rigideces tratado por Beaufait (1970).

El planteamiento general consiste en hallar la matriz de rigidez de cada una de las barras de la estructura; 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 $k(l,m)$ de la matriz de rigidez de una barra, representa la fuerza generada en el grado de libertad l 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 las matrices de rigidez de las barras, que contribuyan a la rigidez que representa dicho elemento $K(i,j)$.

Visto desde otro punto de vista, un elemento $k(l,m)$ de la matriz de rigidez de una barra, se colocará dentro de la matriz de rigidez de la estructura, en la posición en que los grados de libertad asociados al elemento de la matriz de rigidez de la barra, coinciden con los grados de libertad del elemento de la matriz de rigidez de toda la estructura.

Para ejemplificar lo anterior, es necesario definir primeramente lo que se considera un elemento-barra y su matriz de rigidez.

Beaufait propone que los grados de libertad que existen en una barra, al despreciar la deformación axial de la misma, son los mostrados en la fig. 2.6.

Como se puede apreciar en dicha figura, 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 Q . Por esta razón la matriz de rigidez de una barra con sus apoyos completos es una matriz de 4×4 :

$$k = \begin{matrix} & \begin{matrix} t_P & t_Q & d_P & d_Q \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} k(1,1) & k(1,2) & k(1,3) & k(1,4) \\ k(2,1) & k(2,2) & k(2,3) & k(2,4) \\ k(3,1) & k(3,2) & k(3,3) & k(3,4) \\ k(4,1) & k(4,2) & k(4,3) & k(4,4) \end{bmatrix} & \begin{matrix} t_P \\ t_Q \\ d_P \\ d_Q \end{matrix} \end{matrix} \quad (2.2)$$

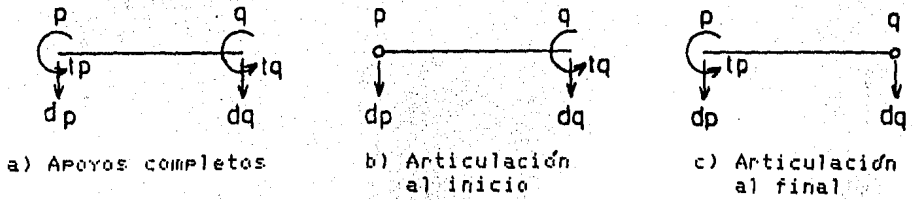


FIG. 2.6: GRADOS DE LIBERTAD EN BARRAS NORMALES.

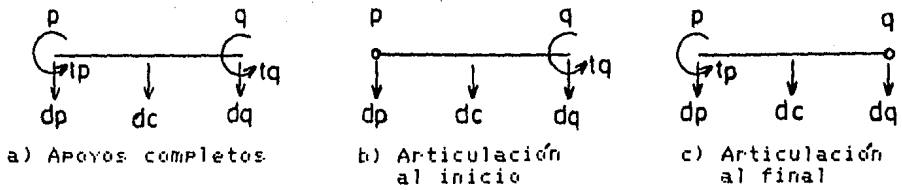


FIG. 2.7: GRADOS DE LIBERTAD EN BARRAS DE CIMENTACION.

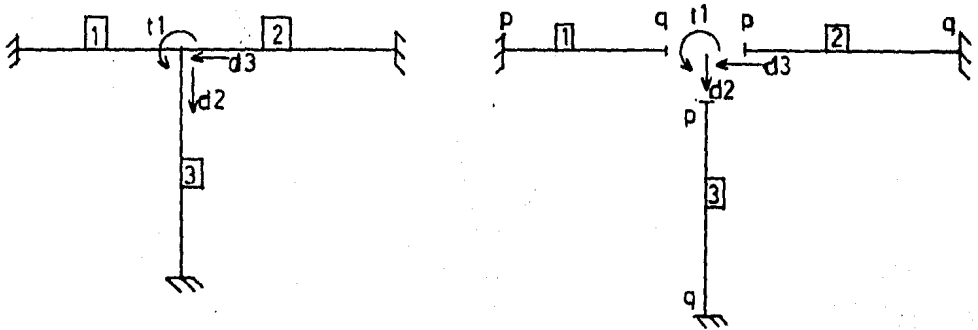


FIG. 2.8: GRADOS DE LIBERTAD EN UNA ESTRUCTURA Y SU CORRESPONDENCIA EN CADA BARRA.

Supongamos una estructura como la que se muestra en la fig 2.8. En dicha figura, se puede observar que los posibles grados de libertad son tres: un giro y dos desplazamientos lineales. Por lo tanto la matriz de rigidez de esta estructura será una matriz de 3×3 :

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

Establezcamos que el elemento $k(i,j;n)$ representa la fuerza en el grado de libertad i al haber un desplazamiento unitario en el grado de libertad j y que es de la barra n .

De acuerdo con lo anterior, calcularemos cada elemento de la matriz de rigidez de toda la estructura, como la suma de los elementos de las matrices de rigidez de las barras, que contribuyen a la rigidez del elemento que se está formando:

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. Al haber un desplazamiento unitario en el grado de libertad 1 de la estructura, en la barra 1 habrá un desplazamiento unitario en el grado de libertad t_1 , y la fuerza que aparece en ese mismo grado de libertad es la que representa el elemento $k(2,2;1)$ (ver ec. 2.2). Por lo tanto la barra 1 contribuye con el elemento $k(2,2;1)$ en el elemento $K(1,1)$.

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 que la barra 3 contribuye con el elemento $k(1,1;3)$ en el elemento $K(1,1)$.

$$\text{finalmente: } K(1,1) = k(2,2;1) + k(1,1;2) + k(1,1;3).$$

Ahora veamos 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_1 ; por lo tanto la barra 1 contribuye con el elemento $k(2,4;1)$ en el elemento $K(1,2)$ (ver ec. 2.2).

Para la barra 2 los grados de libertad 1 y 2 son el giro t_1 y el desplazamiento lineal d_1 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 t_1 ; sin embargo el grado de libertad 2 no está definido en esta barra (al desprejiciarse la deformación axial); por lo que esta barra no contribuye a la rigidez que representa el elemento $K(1,2)$.

$$\text{finalmente: } K(1,2) = k(2,4;1) + k(1,3;2).$$

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

$$k = \begin{bmatrix} k(2,2,1)+k(1,1,2)+k(1,1,3) & k(2,4,1)+k(1,3,2) & k(1,3,3) & t1 \\ k(4,2,1)+k(3,1,2) & k(4,4,1)+k(3,3,2) & 0 & d2 \\ k(3,1,3) & 0 & k(3,3,3) & d3 \end{bmatrix}$$

(2.4)

Una forma de sistematizar el proceso anterior es colocar un indicador, en los renglones y columnas de la matriz de rigidez de cada barra, que nos muestre los grados de libertad de la estructura que se asocian a dicha barra. Para el ejemplo que se está tratando se tiene:

Para n=1 - 1 - 2

 n=2 1 - 2 -

 n=3 1 - 3 -

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

(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 que se va a colocar. El signo - indica que en esa barra no existe ese grado de libertad; es decir, que no tiene desplazamiento la estructura en esa dirección; ésto se debe a las condiciones de apoyo (condiciones de frontera). Este acomodo se puede verificar en la ecuación (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 (articulación al inicio o articulación al final (fig. 2.6)).

Caso 1: Barra con apoyos completos.

$$k = \begin{bmatrix} 4 EI/L & 2 EI/L & -6 EI/L^2 & 6 EI/L^2 & tP \\ 2 EI/L & 4 EI/L & -6 EI/L^2 & 6 EI/L^2 & tQ \\ -6 EI/L^2 & -6 EI/L^2 & 12 EI/L^3 & -12 EI/L^3 & dP \\ 6 EI/L^2 & 6 EI/L^2 & -12 EI/L^3 & 12 EI/L^3 & dQ \end{bmatrix}$$

(2.6)

$$k = \begin{matrix} & \begin{matrix} t_p & t_q & d_p & d_q \end{matrix} \\ \begin{matrix} t_p \\ t_q \\ d_p \\ d_q \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 3 EI/L & -3 EI/L^2 & 3 EI/L^2 \\ 0 & -3 EI/L^2 & 3 EI/L^3 & -3 EI/L^3 \\ 0 & 3 EI/L^2 & -3 EI/L^3 & 3 EI/L^3 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \begin{matrix} t_p \\ t_q \\ d_p \\ d_q \end{matrix}$$

(2.7)

Caso 3: Barra con articulación al final.

$$k = \begin{matrix} & \begin{matrix} t_p & t_q & d_p & d_q \end{matrix} \\ \begin{matrix} t_p \\ t_q \\ d_p \\ d_q \end{matrix} & \begin{bmatrix} 3 EI/L & 0 & -3 EI/L^2 & 3 EI/L^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -3 EI/L^2 & 0 & 3 EI/L^3 & -3 EI/L^3 \\ 3 EI/L^2 & 0 & -3 EI/L^3 & 3 EI/L^3 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \begin{matrix} t_p \\ t_q \\ d_p \\ d_q \end{matrix}$$

(2.8)

en 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_q = Giro en el nudo q.
 d_p = Desplazamiento lineal en el nudo p.
 d_q = Desplazamiento lineal en el nudo q.

2.3.2) DESPLAZAMIENTO VERTICAL EN LA CIMENTACION A LA MITAD DEL ENTREEJE.

Como se puede apreciar en la fig. 2.5, en las barras que son de cimentación, se definió un grado de libertad adicional que es el desplazamiento lineal a la mitad del entreeje (d_c) (fig. 2.7).

Este grado de libertad representa una incógnita extra en el vector de desplazamientos en el análisis estructural, por lo que es necesario establecer una ecuación adicional en la que intervenga esta variable.

Esta ecuación adicional se puede plantear al obtener el desplazamiento a la mitad del entreje, empleando el método de la viga conjugada; este método conduce a las siguientes expresiones (fig 2.7 y 2.11):

Caso 1: Barra con apoyos completos.

$$(EI/L)t_p - (EI/L)t_q - 8(EI/L^2)d_p + 16(EI/L^2)d_c - 8(EI/L^2)d_q + \\ + (L^2 r_p)/256 + 13(L^2 r_c)/384 + (L^2 r_q)/256 = (w L^2)/24 \\ (2.9)$$

Caso 2: Barra con articulación al inicio.

$$-3(EI/L)t_q - 5(EI/L^2)d_p + 16(EI/L^2)d_c - 11(EI/L^2)d_q + \\ + 41(L^2 r_p)/6144 + 3(L^2 r_c)/48 + 37(L^2 r_q)/6144 = (w L^2)/12 \\ (2.10)$$

Caso 3: Barra con articulación a la derecha.

$$3(EI/L)t_p - 11(EI/L^2)d_p + 16(EI/L^2)d_c - 5(EI/L^2)d_q + \\ + 37(L^2 r_p)/6144 + 3(L^2 r_c)/48 + 41(L^2 r_q)/6144 = (w L^2)/12 \\ (2.11)$$

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 i y que hace que se satisfaga la condición de equilibrio que representa la ecuación:

$$K d = Q \\ \text{Fuerzas internas} = \text{Fuerzas externas aplicadas.}$$

Las cargas aplicadas en las barras es necesario que se expresen como cargas equivalentes aplicadas en los nudos; por lo que el análisis se descompone en dos fases como se muestra en la fig. 2.9.

Es decir, primeramente se restringe la estructura de desplazamientos (giros y desplazamientos lineales); lo cual genera momentos y cortantes de empotramiento (fig. 2.9.a).

Posteriormente estos cortantes y momentos de empotramiento, se aplican en los nudos correspondientes con signo contrario. Estas se designan como fuerzas equivalentes en los nudos (fig. 2.9.b).

El resultado final del análisis será la superposición de los resultados obtenidos en las fases (a) y (b). Los desplazamientos serán los que se obtengan en la fase (b); ya que en la fase (a) se restringen los desplazamientos de la estructura. Los elementos mecánicos en las barras serán la suma de los obtenidos en la etapa (a) (momentos y cortantes de empotramiento) y los obtenidos en la etapa (b) (momentos y cortantes adicionales debidos a los desplazamientos de los nudos).

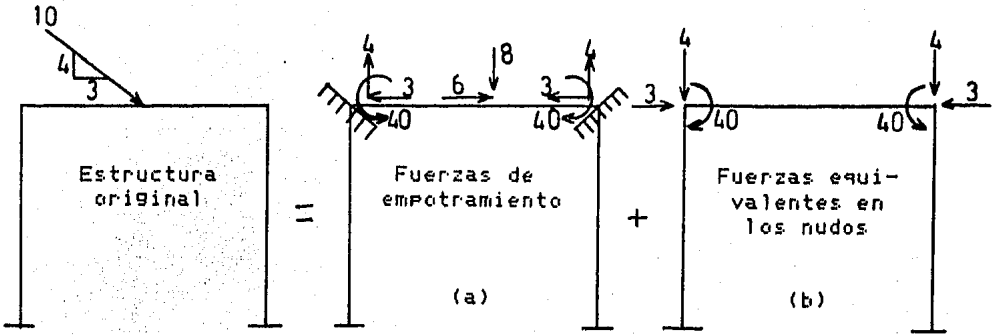


FIG. 2.9: FUERZAS DE EMPOTRAMIENTO Y FUERZAS EQUIVALENTES EN LOS NUDOS.

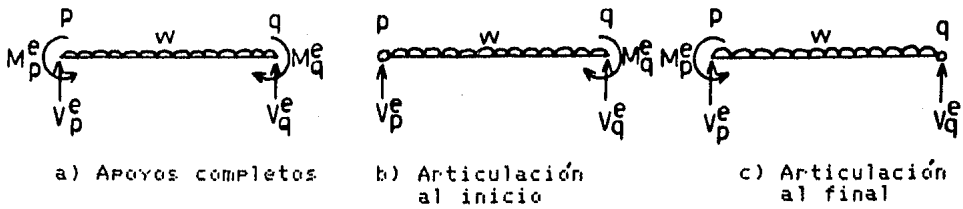


FIG. 2.10: MOMENTOS Y CORTANTES DE EMPOTRAMIENTO EN BARRAS NORMALES.

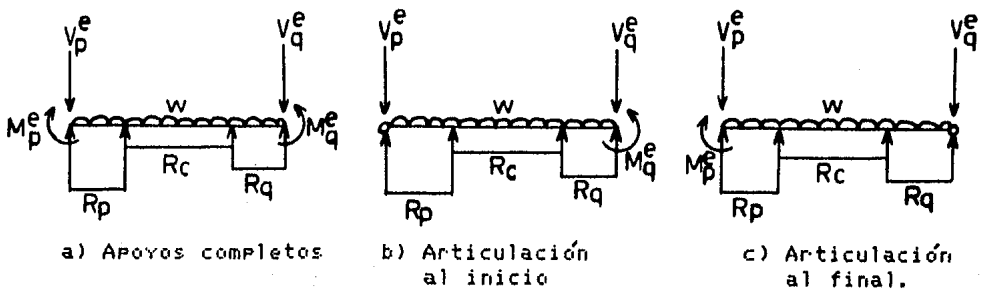


FIG. 2.11: MOMENTOS Y CORTANTES DE EMPOTRAMIENTO EN BARRAS DE CIMENTACION.

Se presentan a continuación los momentos y cortantes de empotramiento, debidos a carga uniformemente repartida (w) a lo largo de toda la barra, para los tres tipos de barra considerados (fig. 2.10).

Caso 1: Barra con apoyos completos:

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

Caso 2: Barra con articulación al inicio.

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

Caso 3: Barra con articulación al final.

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

Para las barras de cimentación es necesario conocer los momentos y cortantes de empotramiento debidos a las reacciones del terreno $r(i)$ (fig. 2.11). Estos momentos y cortantes de empotramiento, se presentan a continuación:

Caso 1: Barra con apoyos completos:

$$\begin{aligned} M_e P &= -67(L^2 r_P)/3072 - 11(L^2 r_C)/192 - 13(L^2 r_q)/3072 \\ M_e q &= 13(L^2 r_P)/3072 + 11(L^2 r_C)/192 + 67(L^2 r_q)/3072 \\ V_e P &= 121(L r_P)/512 + (L r_C)/4 + 7(L r_q)/512 \\ V_e q &= 7(L r_P)/512 + (L r_C)/4 + 121(L r_q)/512 \end{aligned} \quad (2.15)$$

Caso 2: Barra con articulación al inicio.

$$\begin{aligned} M_e P &= 0 \\ M_e q &= 31(L^2 r_P)/2048 + 11(L^2 r_C)/128 + 49(L^2 r_q)/2048 \\ V_e P &= 479(L r_P)/2048 + 43(L r_C)/128 + 113(L r_q)/2048 \\ V_e q &= 33(L r_P)/2048 + 21(L r_C)/128 + 399(L r_q)/2048 \end{aligned} \quad (2.16)$$

Caso 3: Barra con articulación al final.

$$\begin{aligned} M_e q &= -49(L^2 r_P)/2048 - 11(L^2 r_C)/128 - 31(L^2 r_q)/2048 \\ M_e P &= 0 \\ V_e q &= 399(L r_P)/2048 + 21(L r_C)/128 + 33(L r_q)/2048 \\ V_e P &= 113(L r_P)/2048 + 43(L r_C)/128 + 479(L r_q)/2048 \end{aligned} \quad (2.17)$$

Como resultado del análisis estructural se obtiene un sistema de ecuaciones del siguiente tipo:

$$\begin{aligned}
K(1,1)d(1)+K(1,2)d(2)+\dots+K(1,n)t(n)+K(1,n+1)t(n+1)+\dots &= Q(1)+A(1,1)r(1)+\dots \\
K(2,1)d(1)+K(2,2)d(2)+\dots+K(2,n)t(n)+K(2,n+1)t(n+1)+\dots &= Q(2)+A(2,1)r(1)+\dots \\
\vdots & \vdots \\
K(m,1)d(1)+K(m,2)d(2)+\dots+K(m,n)t(n)+K(m,n+1)t(n+1)+\dots &= Q(m)+A(m,1)r(1)+\dots
\end{aligned}$$

(2.18)

Sin embargo, como se había expresado anteriormente, el vector de cargas no se conoce totalmente, ya que las reacciones del terreno r(i) en este momento del análisis son incógnitas. Por esta razón, los elementos A(i,J)r(J) del vector de cargas, se pasan al lado izquierdo de la igualdad, por lo que, finalmente, se obtiene un sistema de ecuaciones del siguiente tipo:

$$\begin{aligned}
K(1,1)d(1)+K(1,2)d(2)+\dots+K(1,n)t(n)+K(1,n+1)t(n+1)+\dots -A(1,1)r(1)-\dots &= Q(1) \\
K(2,1)d(1)+K(2,2)d(2)+\dots+K(2,n)t(n)+K(2,n+1)t(n+1)+\dots -A(2,1)r(1)-\dots &= Q(2) \\
\vdots & \vdots \\
K(m,1)d(1)+K(m,2)d(2)+\dots+K(m,n)t(n)+K(m,n+1)t(n+1)+\dots -A(m,1)r(1)-\dots &= Q(m)
\end{aligned}$$

(2.19)

En este sistema de ecuaciones se tienen tres tipos de incógnitas: los desplazamientos lineales d(i) (en cimentación y superestructura), los giros t(i) y las reacciones r(i).

Lo que procede a continuación es obtener los desplazamientos del suelo d(i), en función de las reacciones del terreno r(i) mediante un análisis de hundimientos del terreno, el cual se explica en el inciso siguiente.

2.4) ANALISIS DE ASENTAMIENTOS DEL TERRENO:

Obtenemos ahora los desplazamientos verticales d(i) en función de las reacciones del terreno r(i), dejando las r(i) como incógnitas, para la estratigrafía y propiedades del subsuelo de la fig 2.5.b.

El asentamiento del estrato j bajo el tramo i, es decir, el asentamiento del cuadro ij debido a una carga r(k) colocada en k, valdrá:

- en donde:
- 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.

$\text{SIGMA}(i,j,k)$ = 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 $r(k)$.

pero: $\text{SIGMA}(i,j,k) = I(i,j,k) r(k)/b(k)$

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

El valor de $I(i,j,k)$ se puede determinar calculando el esfuerzo normal vertical en el cuadro (i,j) , producido por una presión unitaria en el punto k (fig 2.5.b) (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 R.), se puede calcular con la expresión, (fig. 2.12.a):

$$f(a,c,z) = (w/4 \text{ PI}) 2acz (a^2+c^2+2z^2) / (z^2(a^2+c^2+z^2)+a^2+c^2) + (w/4 \text{ PI}) a^2c \tan (2acz (a^2+c^2+z^2) / (z^2(a^2+c^2+z^2)-a^2c^2))$$

(2.20)

El incremento de esfuerzo a la profundidad z , bajo cualquier punto del medio $(X_2,0,z)$, debido a una sobrecarga rectangular en la superficie del mismo (fig. 2.12.b), al ser válido el principio de superposición será:

$$\text{Si: } X_2 < X_1 \quad \text{SIGMA} = f(X_1+a-X_2, Y_1+c) - f(X_1+a-X_2, Y_1) + f(X_1-X_2, Y_1) - f(X_1-X_2, Y_1+c) \quad \textcircled{1}$$

$$X_1 \leq X_2 \leq (X_1+a) \quad \text{SIGMA} = f(X_1+a-X_2, Y_1+c) - f(X_1+a-X_2, Y_1) + f(X_2-X_1, Y_1+c) - f(X_2-X_1, Y_1) \quad \textcircled{2}$$

$$X_2 > (X_1+a) \quad \text{SIGMA} = f(X_2-X_1-a, Y_1) - f(X_2-X_1-a, Y_1+c) + f(X_2-X_1, Y_1+c) - f(X_2-X_1, Y_1) \quad \textcircled{3}$$

(2.21)

Cabe aclarar que el punto bajo el que se quiere calcular el incremento de esfuerzo, deberá estar bajo el eje X ($Y=0$), y que éste a su vez, deberá ser paralelo a la sobrecarga.

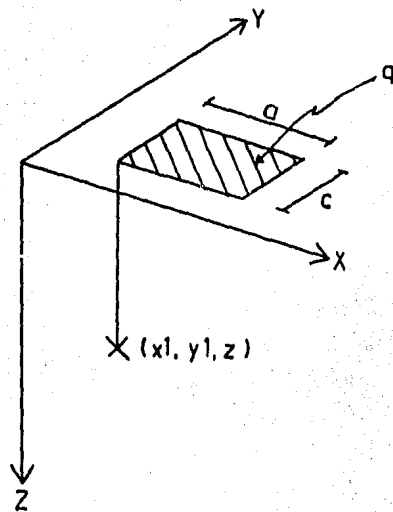
El asentamiento en el cuadro ij debido a todas las cargas $r(i)$ y a la carga q (fig. 2.5.b), valdrá:

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

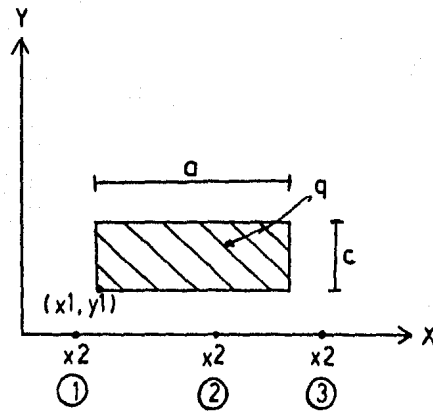
en la cual: $m = 2 \text{ NC} + 1$ = Número total de reacciones aplicadas en la superficie.

NC = Número de barras de cimentación de la estructura.

$q(i,j)$ = Incremento de esfuerzo normal vertical en el cuadro (i,j) , debido a la sobrecarga q aplicada en la periferia de la estructura (fig. 2.5.b).



a) Bajo una esquina del área cargada (X_1, Y_1, Z)



b) Bajo cualquier punto del medio ($X_2, 0, Z$)

FIG. 2.12: INCREMENTO DE ESFUERZO NORMAL VERTICAL, DEBIDO A UNA SOBRECARGA RECTANGULAR EN LA SUPERFICIE DEL TERRENO.

El asentamiento bajo el punto i será:

20

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

en donde: P = Número de estratos del subsuelo

Por lo tanto:

$$d(i) = \sum_{j=1}^P Mv(i,j) H(j) a(i,j) + \sum_{j=1}^P [Mv(i,j) H(j) \sum_{k=1}^{NC} (I(i,j,k) r(k)/b(k))] \quad (2.22)$$

En esta ecuación los desplazamientos verticales del suelo, quedan en función de las reacciones $r(i)$ del terreno.

Es importante en este momento hacer una aclaración: los valores del módulo de deformación del suelo $Mv(i,j)$ dependen del esfuerzo de confinamiento, el cual no se conoce a priori. Por esta razón, los $Mv(i,j)$ deben determinarse para un nivel de esfuerzos lo más cercano posible a la realidad (Zeevaert 1973), dependiendo este nivel de la experiencia del ingeniero que realiza el análisis.

Si posteriormente, se ve que el nivel de presiones considerado en el primer análisis, está muy alejado de la magnitud de los esfuerzos obtenidos después de resolver todo 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.

Con la aclaración anterior, empleando la ecuación (2.22) los valores de $d(i)$ son una función lineal de las reacciones del terreno $r(i)$.

$$d(i) = B(i) + c(i,1) r(1) + c(i,2) r(2) + \dots + c(i,2NC+1) r(2NC+1) \quad (2.23)$$

en 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) COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS:

Una vez realizado el análisis de la estructura y el de asentamientos, se establece la condición de compatibilidad de desplazamientos entre ellos de la siguiente manera: los asentamientos del suelo determinados por medio de la ecuación (2.22), se sustituyen en el sistema de ecuaciones (2.19) de la matriz de rigideces de la estructura.

De esta manera desaparecen como incógnitas los desplazamientos $d(i)$ de la cimentación y quedan únicamente como incógnitas los desplazamientos lineales de la superestructura ($d(i)$ para $i > 2NC + 1$), los giros y las reacciones del terreno.

Como se verá a continuación, 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 de los nudos de la estructura.

Para demostrar que el número de ecuaciones es igual al número de incógnitas en el sistema de ecuaciones resultante de la compatibilidad de desplazamientos, se tiene:

si: NG = Número de Grados de libertad en toda la estructura.
 NC = Número de barras de cimentación de la estructura.

se tiene que: $NR = 2NC + 1$ = Número de reacciones del terreno = Número de desplazamientos lineales de la cimentación.

Por lo tanto del análisis estructural se tiene un sistema con NG ecuaciones y $NG + NR$ incógnitas.

Del análisis de asentamientos se obtienen NR ecuaciones con NR incógnitas ($r(i)$).

Al sustituir estas ecuaciones en las primeras, se eliminan NR incógnitas ($d(i)$ desplazamientos lineales de la cimentación), del primer sistema de ecuaciones. Por esta razón, finalmente queda un sistema con NG ecuaciones y NG incógnitas, que se puede resolver fácilmente con algún método conocido para resolver sistemas de ecuaciones lineales.

2.6) EJEMPLO DE CALCULO MANUAL:

Con objeto de ilustrar todo el proceso de cálculo del análisis de interacción suelo-estructura, se presenta como ejemplo la estructura de la figura 2.13. En la parte a) de dicha figura se presentan las propiedades y cargas sobre la estructura y una sobrecarga en la superficie del terreno.

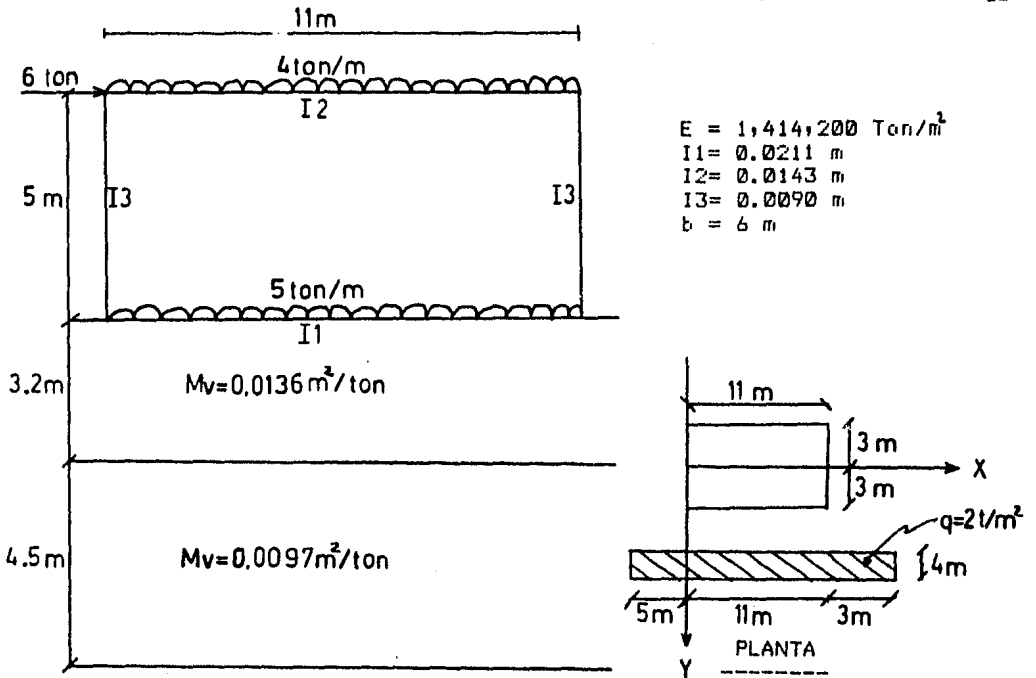
En la parte b) de la misma figura, se presenta la numeración de los posibles grados de libertad y de las barras.

2.6.1) ANALISIS ESTRUCTURAL:

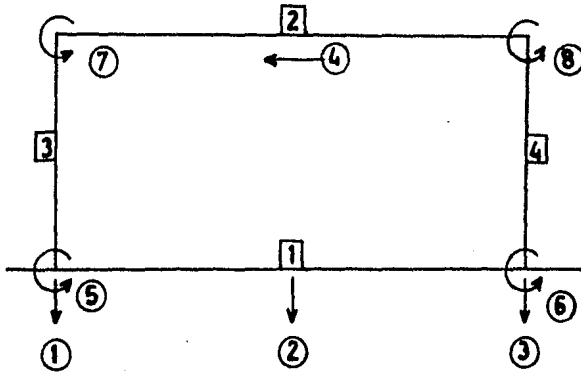
A) Matriz de rigidez de la estructura.- Para obtener la matriz de rigidez de la estructura es necesario calcular las matrices de rigidez de cada una de las barras a partir de las ec. (2.2):

- Barra 1: $E=1414200$, $I=0.0211$, $L=11$ m.

t_p (5)	t_q (6)	d_p (1)	d_q (3)	
10850.80	5425.39	-1479.65	1479.65	t_p (5)
5425.39	10850.80	-1479.65	1479.65	t_q (6)
-1479.65	-1479.65	269.03	-269.03	d_p (1)
1479.65	1479.65	-269.03	269.03	d_p (3)



a) Dimensiones y cargas en la estructura



b) Numeración de barras y grados de libertad

FIG. 2.13: ESTRUCTURA DEL EJEMPLO DE CALCULO MANUAL.

- Barra 2: $E=1414200$, $I=0.0143$, $L=11$ m.

23

t_p (7)	t_q (8)	d_p (1)	d_q (3)	
7353.84	3676.92	-1002.80	1002.80	t_p (7)
3676.92	7353.84	-1002.80	1002.80	t_q (8)
-1002.80	-1002.80	182.33	-182.33	d_p (1)
1002.80	1002.80	-182.33	182.33	d_q (3)

- BARRA 3: $E=1414200$, $I=0.0090$, $L=5$ m.

t_p (7)	t_q (5)	d_p (4)	d_q (-)	
10182.20	5091.12	-3054.67	3054.67	t_p (7)
5091.12	10182.20	-3054.67	3054.67	t_q (5)
-3054.67	-3054.67	1221.87	-1221.87	d_p (4)
3054.67	3054.67	-1221.87	1221.87	d_q (-)

- BARRA 4: $E=1414200$, $I=0.0090$, $L=5$ m.

t_p (8)	t_q (6)	d_p (4)	d_q (-)	
10182.20	5091.12	-3054.67	3054.67	t_p (8)
5091.12	10182.20	-3054.67	3054.67	t_q (6)
-3054.67	-3054.67	1221.87	-1221.87	d_p (4)
3054.67	3054.67	-1221.87	1221.87	d_q (-)

Aparecen en la parte superior y a la derecha de cada matriz de rigidez de las barras, unos indicadores (i) que muestran 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 rigidez de las barras, en el renglón y columna de la matriz de rigidez de la estructura, que muestran los indicadores nombrados en el párrafo anterior.

El resultado de este acomodo se puede apreciar en la fig. 2.14.

B) Desplazamiento a la mitad del entreeje en las barras de cimentación.- Al aplicar la ec. (2.9) para la barra 1 se tiene:

$$3945.73 d(2) + 2712.69 t(5) - 2712.69 t(6) - 1972.87 d(1) - 1972.87 d(3) + 0.47266 r(1) + 4.09635 r(2) + 0.47266 r(3) = 25.2083$$

En la figura 2.14 este resultado aparece como la segunda ecuación del sistema.

	d(1)	d(2)	d(3)	d(4)	t(5)	t(6)	t(7)	t(8)	r(1)	r(2)	r(3)	Q
++	269.03	0.00	-269.03	0.00	-1479.65	-1479.65	-1002.80	-1002.80	2.5996	2.7500	0.1504	-27.5000
	182.33		-182.33									22.0000
	451.36	0.00	-451.36	0.00	-1479.65	-1479.65	-1002.80	-1002.80	2.5996	2.7500	0.1504	49.5000
(2)	-1972.87	3945.73	-1972.87	0.00	2712.69	-2712.69	0.00	0.00	0.4727	4.0964	0.4727	25.2083
	-1972.87	3945.73	-1972.87	0.00	2712.69	-2712.69	0.00	0.00	0.4727	4.0964	0.4727	25.2083
(3)	-269.03	0.00	269.03	0.00	1479.65	1479.65	1002.80	1002.80	0.1504	2.7500	2.5996	27.5000
	-182.33		182.33									22.0000
	-451.36	0.00	451.36	0.00	1479.65	1479.65	1002.80	1002.80	0.1504	2.7500	2.5996	49.5000
(4)	0.00	0.00	0.00	1221.87	-3054.67	-3054.67	-3054.67	-3054.67	0.0000	0.0000	0.0000	-6.0000
				1221.87								
	0.00	0.00	0.00	2443.74	-3054.67	-3054.67	-3054.67	-3054.67	0.0000	0.0000	0.0000	-6.0000
(5)	-1479.65	0.00	1479.65	-3054.67	10850.80	5425.39	5091.12	0.00	-2.6390	-6.9323	-0.5120	-50.4167
					10182.20							
	-1479.65	0.00	1479.65	-3054.67	21033.00	5425.39	5091.12	0.00	-2.6390	-6.9323	-0.5120	-50.4167
(6)	-1479.65	0.00	1479.65	-3054.67	5425.39	10850.80	0.00	5091.12	0.5120	6.9323	2.6390	50.4167
						10182.20						
	-1479.65	0.00	1479.65	-3054.67	5425.39	21033.00	0.00	5091.12	0.5120	6.9323	2.6390	50.4167
(7)	-1002.80	0.00	1002.80	-3054.67	5091.12	0.00	7353.84	3676.92	0.0000	0.0000	0.0000	-40.3333
							10182.20					
	-1002.80	0.00	1002.80	-3054.67	5091.12	0.00	17536.04	3676.92	0.0000	0.0000	0.0000	-40.3333
(8)	-1002.80	0.00	1002.80	-3054.67	0.00	5091.12	3676.92	7353.84	0.0000	0.0000	0.0000	40.3333
								10182.20				
	-1002.80	0.00	1002.80	-3054.67	0.00	5091.12	3676.92	17536.04	0.0000	0.0000	0.0000	40.3333

FIG. 2.14: SISTEMA DE ECUACIONES RESULTANTE DEL ANALISIS ESTRUCTURAL.

C) Vector de cargas.-

- Para carga uniforme (aplicando la ec 2.12), se tiene:

$$\begin{array}{ll} \text{Barra 1:} & (5) M_P = 50.4167 & (1) V_P = -27.5 \\ & (6) M_q = -50.4167 & (3) V_q = -27.5 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Barra 2:} & (7) M_P = 40.3333 & (1) V_P = -22.0 \\ & (8) M_q = -40.3333 & (3) V_q = -22.0 \end{array}$$

- Para las reacciones del terreno (aplicando la ec 2.15):

$$\begin{array}{l} \text{Barra 1:} \\ (5) M_P = -2.6390 r(1) - 6.9323 r(2) - 0.5120 r(3) \\ (6) M_q = 0.5120 r(1) + 6.9323 r(2) + 2.6390 r(3) \\ (1) V_P = 2.5996 r(1) + 2.7500 r(2) + 0.1504 r(3) \\ (3) V_q = 0.1504 r(1) + 2.7500 r(2) + 2.5996 r(3) \end{array}$$

A la izquierda de los momentos y cortantes de empotramiento se presenta el grado de libertad de la estructura que se le asocia y que será el renglón en el que quedarán dentro del vector de cargas.

La carga asociada al grado de libertad 4 (-6 ton), pasa directamente al renglón 4 del vector de cargas por estar aplicada sobre el nudo.

El vector de cargas se puede apreciar en la parte derecha de la figura 2.14.

Cabe aclarar que los momentos y cortantes de empotramiento debidos a las cargas uniformes, quedan con signo cambiado en el vector de cargas, ya que en éste quedan como cargas equivalentes en los nudos (ver fig. 2.9). Los momentos y cortantes de empotramiento debidos a las reacciones del terreno quedan del lado izquierdo de la igualdad (con su signo), ya que las reacciones del terreno son incógnitas.

2.6.2) ANALISIS DE ASENTAMIENTOS:

De la ecuación 2.22 se tiene:

$$d(i) = \sum_{J=1}^P Mv(i,J) H(J) q(i,J) + \sum_{J=1}^P Mv(i,J) H(J) \left(\sum_{K=1}^M I(i,J,K) r(K)/b(K) \right)$$

$$d(i) = \text{asentamiento debido a sobrecargas} + \text{asentamiento debido a las reacciones del terreno}$$

Con ayuda de las ecuaciones (2.20) y (2.21) se pueden calcular los valores de $q(i,J)$ y de $I(i,J,K)$:

$$\begin{array}{lll} q(1,1) = 0.001451 & q(2,1) = 0.001579 & q(3,1) = 0.001275 \\ q(1,2) = 0.028605 & q(2,2) = 0.031393 & q(3,2) = 0.025167 \end{array}$$

Para $k = 1$ se tiene:

$$I(i,J,1) = \begin{array}{lll} 0.454146 & 0.019619 & 0.000371 \\ 0.180536 & 0.077316 & 0.007656 \end{array}$$

Para $k = 2$ se tiene:

26

$$I(i,j,2) = \begin{array}{ccc} 0.021509 & 0.908293 & 0.021509 \\ 0.101144 & 0.361071 & 0.101144 \end{array}$$

Para $k = 3$ se tiene:

$$I(i,j,k) = \begin{array}{ccc} 0.000371 & 0.019619 & 0.454146 \\ 0.007656 & 0.077316 & 0.180536 \end{array}$$

$$\begin{aligned} \text{Por lo que: } d(1) &= (.0136)(3.2)(.00145)(2) + (.0097)(4.5)(.028605)(2) \\ &+ (.0136)(3.2)(.454146) r(1)/6 + (.021509) r(2)/6 \\ &+ (.000371) r(3)/6 \\ &+ (.0097)(4.5)(.180536) r(1)/6 + (.101144) r(2)/6 \\ &+ (.007656) r(3)/6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d(2) &= (.0136)(3.2)(.00158)(2) + (.0097)(4.5)(.031393)(2) \\ &+ (.0136)(3.2)(.019619) r(1)/6 + (.908293) r(2)/6 \\ &+ (.019619) r(3)/6 \\ &+ (.0097)(4.5)(.077316) r(1)/6 + (.361071) r(2)/6 \\ &+ (.077316) r(3)/6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d(3) &= (.0136)(3.2)(.00128)(2) + (.0097)(4.5)(.025167)(2) \\ &+ (.0136)(3.2)(.000371) r(1)/6 + (.021509) r(2)/6 \\ &+ (.454146) r(3)/6 \\ &+ (.0097)(4.5)(.007656) r(1)/6 + (.101144) r(2)/6 \\ &+ (.180536) r(3)/6 \end{aligned}$$

$$\text{y finalmente: } d(1) = 0.002624 + 0.004607 r(1) + 0.000892 r(2) + 0.000058 r(3)$$

$$d(2) = 0.002878 + 0.000705 r(1) + 0.009215 r(2) + 0.000705 r(3)$$

$$d(3) = 0.002308 + 0.000058 r(1) + 0.000892 r(2) + 0.004607 r(3)$$

2.6.3) COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTO:

Al sustituir estas últimas ecuaciones en las ecuaciones del análisis estructural (fig. 2.14) se obtiene el sistema de la figura 2.15.

$$\begin{aligned} \text{La solución de este sistema es: } d(4) &= -0.011058 \\ t(5) &= 0.001088 \\ t(6) &= -0.004496 \\ t(7) &= -0.005673 \\ t(8) &= 0.002199 \\ r(1) &= 12.119406 \\ r(2) &= 4.558224 \\ r(3) &= 14.764147 \end{aligned}$$

A partir de las ecuaciones finales del análisis de asentamientos se obtienen los valores de los desplazamientos de la cimentación:

$$\begin{aligned} d(1) &= 0.063380 \\ d(2) &= 0.063835 \\ d(3) &= 0.075095 \end{aligned}$$

	d(4)	t(5)	t(6)	t(7)	t(8)	r(1)	r(2)	r(3)	Q	
(1)	0.00	-1479.65	-1479.65	-1002.80	-1002.80	2.5996 2.0794 -0.0262	2.7500 0.4026 -0.4026	0.1504 0.0262 -2.0794	49.5000 -1.1844 1.0417	(1)
						4.6528	2.7500	-1.9028	49.3573	
(2)	0.00	2712.69	-2712.69	0.00	0.00	0.4727 -9.0890 2.7817 -0.1144	4.0964 -1.7598 36.3599 -1.7598	0.4727 -0.1144 2.7817 -9.0890	25.2083 5.1768 -11.3558 4.5534	(2)
						-5.9490	36.9367	-5.9490	23.5827	
(3)	0.00	1479.65	1479.65	1002.80	1002.80	0.1504 -2.0794 0.0262	2.7500 -0.4026 0.4026	2.5996 -0.0262 2.0794	49.5000 1.1844 -1.0417	(3)
						-1.9028	2.7500	4.6528	49.6427	
(4)	2443.74	-3054.67	-3054.67	-3054.67	-3054.67	0.0000	0.0000	0.0000	-6.0000	(4)
(5)	-3054.67	21033.00	5425.39	5091.12	0.00	-2.6390 -6.8167 0.0858	-6.9323 -1.3198 1.3198	-0.5120 -0.0858 6.8167	-50.4167 3.8826 -3.4150	(5)
						-9.3699	-6.9323	6.2189	-49.9491	
(6)	-3054.67	5425.39	21033.00	0.00	5091.12	0.5120 -6.8167 0.0858	6.9323 -1.3198 1.3198	2.6390 -0.0858 6.8167	50.4167 3.8826 -3.4150	(6)
						-6.2189	6.9323	9.3699	50.8843	
(7)	-3054.67	5091.12	0.00	17536.04	3676.92	-4.6199 0.0582	-0.8945 0.8945	-0.0582 4.6199	-40.3333 2.6313 -2.3145	(7)
						-4.5617	0.0000	4.5617	-40.0165	
(8)	-3054.67	0.00	5091.12	3676.92	17536.04	-4.6199 0.0582	-0.8945 0.8945	-0.0582 4.6199	40.3333 2.6313 -2.3145	(8)
						-4.5617	0.0000	4.5617	40.6501	

FIG. 2.15: SISTEMA DE ECUACIONES RESULTANTE DE LA COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS.

A continuación se calculan los momentos y cortantes finales en los extremos de las barras como la suma de los momentos y cortantes de empotramiento y los momentos y cortantes debidos a los desplazamientos de los nudos (ver fig. 2.9).

$$\text{Barra 1} \quad \begin{matrix} M_P \\ M_q \\ V_P \\ V_q \end{matrix} = \begin{bmatrix} 50.4167 \\ -50.4167 \\ -27.5000 \\ -27.5000 \end{bmatrix} + k_1 \begin{bmatrix} 0.001088 \\ -0.004496 \\ 0.063380 \\ 0.075095 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2.639 & -6.9323 & -0.512 \\ 0.512 & 6.9323 & 2.639 \\ 2.600 & 2.7500 & 0.150 \\ 0.150 & 2.7500 & 2.600 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 12.1194 \\ 4.5582 \\ 14.7641 \end{bmatrix}$$

$$\begin{matrix} M_P \\ M_q \\ V_P \\ V_q \end{matrix} = \begin{bmatrix} 50.4167 \\ -50.4167 \\ -27.5000 \\ -27.5000 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 4.7422 \\ -25.5483 \\ 1.8910 \\ -1.8910 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -71.1411 \\ 76.7664 \\ 45.5968 \\ 52.7386 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -15.98 \\ 0.81 \\ 20.65 \\ 23.35 \end{bmatrix}$$

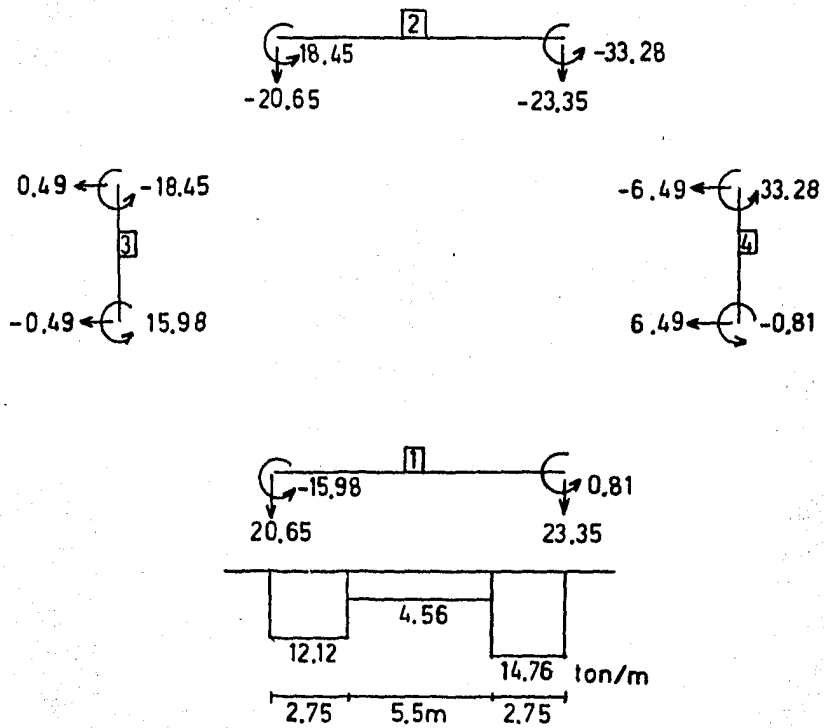
$$\text{Barra 2} \quad \begin{matrix} M_P \\ M_q \\ V_P \\ V_q \end{matrix} = \begin{bmatrix} 40.3333 \\ -40.3333 \\ -22.0000 \\ -22.0000 \end{bmatrix} + k_2 \begin{bmatrix} -0.005673 \\ 0.002199 \\ 0.063380 \\ 0.075095 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 18.45 \\ -33.28 \\ -20.65 \\ -23.35 \end{bmatrix}$$

$$\text{Barra 3} \quad \begin{matrix} M_P \\ M_q \\ V_P \\ V_q \end{matrix} = \begin{bmatrix} 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \end{bmatrix} + k_3 \begin{bmatrix} -0.005673 \\ 0.001088 \\ -0.011058 \\ 0.000000 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -18.45 \\ 15.98 \\ 0.49 \\ -0.49 \end{bmatrix}$$

$$\text{Barra 4} \quad \begin{matrix} M_P \\ M_q \\ V_P \\ V_q \end{matrix} = \begin{bmatrix} 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \\ 0.0000 \end{bmatrix} + k_4 \begin{bmatrix} 0.002199 \\ -0.004496 \\ -0.011058 \\ 0.000000 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 33.28 \\ -0.81 \\ -6.49 \\ 6.49 \end{bmatrix}$$

En la figura 2.16 se pueden apreciar gráficamente estos resultados.

En el capítulo 4 de este trabajo, se presentan los resultados obtenidos por medio del programa para este problema y para dos estructuras más.



Fuerzas en ton.
 Momentos en ton-m.
 Reacciones del terreno en ton/m.

FIG. 2.16: MOMENTOS Y CORTANTES EN LOS EXTREMOS DE LAS BARRAS EN EL EJEMPLO DE CALCULO MANUAL.

CAPITULO # 3: PROGRAMA DE COMPUTADOR

3.1) DESCRIPCION:

El programa de computador se codificó en lenguaje BASIC, por ser el lenguaje más común y de más fácil acceso en los pequeños computadores.

En particular se eligió un computador RADIO-SHAC TRS-80 modelo II * con una capacidad de 64 K bytes en memoria central y hasta 1850 K bytes de almacenamiento en 4 discos. El programa en particular, unicamente utiliza dos discos, es decir, la mitad de la capacidad total de almacenamiento en este dispositivo.

Al observar con detenimiento los números anteriores, resulta evidente que la capacidad de almacenamiento de información en la memoria central del computador, no tiene comparación con la capacidad de almacenamiento de información en disco. Por lo anterior, resulta imperativo almacenar la información inicial, parcial y final del análisis de interacción suelo-estructura en disco, teniendo en memoria el mínimo indispensable.

Manejando la información de esta forma, se logra que con el programa se puedan realizar análisis de estructuras, de los que resulten sistemas de ecuaciones que se representen con un máximo de 60,000 elementos.

Si se almacenara toda la información en memoria, este máximo de elementos, sería aproximadamente de 3660. En el anexo I se puede consultar la forma en que están estructurados los diferentes archivos en los que se guarda la información en disco.

El número de elementos, del sistema de ecuaciones resultante del análisis de interacción suelo-estructura, se puede calcular con la expresión:

$$N = NG(NG + 2(NC) + 2) + (2(NC) + 2)(2(NC) + 1) < 60,000 \quad \text{en donde:}$$

NG = Número total de grados de libertad en toda la estructura.
 NC = Número de barras que son de cimentación.

El primer sumando de esta expresión representa el número de elementos de las ecuaciones resultantes del análisis estructural, mientras que el segundo sumando representa el número de elementos de las ecuaciones obtenidas en el análisis de asentamientos del suelo.

Como desventaja al almacenar de esta forma la información, se tiene un gran incremento en los tiempos de procesamiento, debido a que el acceso a la información de disco es muy lento. Sin embargo considero que es más importante, en un momento dado, poder realizar un gran análisis, aunque éste se realice en mucho tiempo, que no poder realizarlo. Además los costos de procesamiento en estos pequeños computadores son realmente bajos.

Por otro lado, el decir que el análisis se realiza en mucho tiempo, es relativo, ya que dicho análisis en el computador es infinitamente más rápido que el cálculo a mano, si no es que este último prácticamente resulta imposible.

* Pudiéndose traducir con relativa facilidad a un computador de otra marca y/o a otro lenguaje.

El programa en el computador, se hizo en forma tal, que el usuario no pierde la secuencia del proceso que está realizando, sino que ejecuta paso a paso las etapas que llevaría a cabo en el cálculo a mano. Esto es con el objeto de que el usuario no llegue a utilizar el computador como "caja negra" sin tener idea del cálculo que está realizando.

Para lograr ésto, durante la ejecución de un análisis, en el programa se indican los diferentes procesos que se deben realizar y durante cada uno de éstos, el avance que va teniendo.

Los diferentes procesos y la secuencia de éstos, se muestran en la figura 3.1. El detalle de cada proceso se puede consultar en el anexo II.

En el programa se implementó el método de análisis de interacción suelo-estructura que propone el Ing. Agustín Deméneghi C. que se explica en forma detallada en el capítulo 2 de este trabajo.

3.2) Instructivo para el usuario:

3.2.1) Objetivo:

El programa tiene por objeto la realización del análisis de interacción suelo-estructura de estructuras de tipo marco rígido en dos dimensiones. Entendiéndose por dicho análisis la determinación de los desplazamientos en los diferentes grados de libertad de la estructura, los elementos mecánicos en los extremos de las barras y las reacciones del terreno.

3.2.2) Alcances:

- Como se explica en el capítulo 2 de este trabajo, el análisis de interacción suelo-estructura, se aplica a estructuras cuya cimentación esté resuelta a base de losa o zapatas corridas y que se encuentren sobre un suelo de mediana a alta compresibilidad.
- Se pueden analizar estructuras de tipo marco rígido empotradas o articuladas a su cimentación.
- Las barras de la estructura deben ser de eje recto y deben ser horizontales o verticales (no es posible incluir barras inclinadas).
- El número de elementos del sistema de ecuaciones resultante debe ser como máximo 60,000. Este número de elementos se puede calcular por medio de la siguiente expresión:

$$N = (NG(NG+2(NC)+2)) + (2(NC+1)(2(NC+2))) < 60,000. \text{ en donde:}$$

NG= # de grados de libertad en toda la estructura.
 NC= # de barras de cimentación.

- El número máximo de barras de cimentación es de 30 (NC).
- Tomando en cuenta los dos puntos anteriores se puede llegar a los dos casos extremos siguientes:
 - para NC= 1 el valor máximo de NG es 242.
 - y para NC=30 el valor máximo de NG es 208.

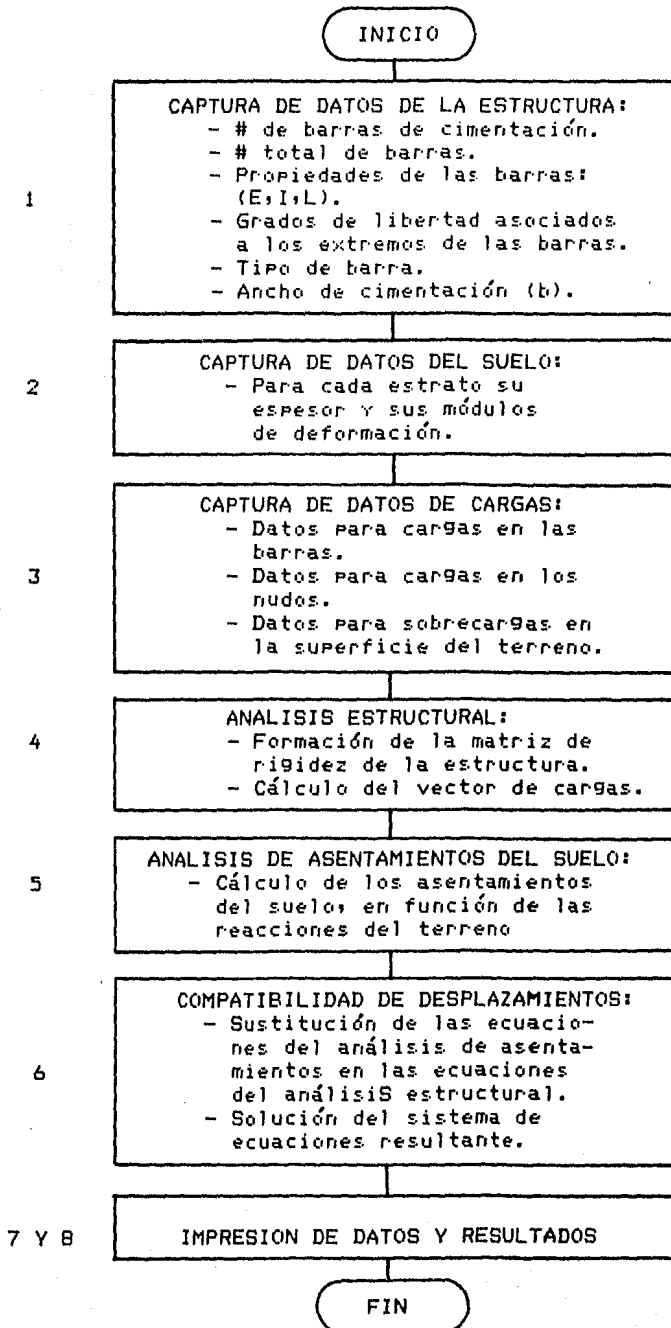


FIG. 3.1: DIAGRAMA DE FLUJO GENERAL DEL PROGRAMA DE ANALISIS DE I.S.E.

- Únicamente se pueden establecer cargas uniformemente repartidas en las barras y/o cargas en los nudos, asociadas a un grado de libertad.
- Para el análisis de asentamientos del suelo se pueden especificar sobrecargas rectangulares en la superficie del terreno, pudiendo estar localizadas en cualquier posición de dicha superficie. Con ésto se tiene la posibilidad de realizar el análisis de asentamientos en tres dimensiones.

3.2.3) Utilización del Programa:

Para la utilización del programa, el usuario tendrá que realizar los siguientes pasos preliminares:

- I.- Primeramente el usuario deberá situar la estructura que se va a analizar en un sistema de ejes X-Y-Z ortogonales como se muestra en la figura 3.2. El inicio de la primera barra de cimentación debe coincidir con el origen del sistema de ejes. Como se puede observar en la figura, la estructura se localizará en el plano X-Z y la superficie del terreno estará representada por el plano X-Y. La dirección positiva del eje X es aquélla en la que se localiza la estructura. La dirección positiva del eje Y es distinta. Finalmente la dirección positiva del eje Z es hacia el interior del suelo.
- II.- A continuación el usuario deberá trazar una retícula en el perfil del suelo como se muestra en la figura 3.2. En dicha figura, las líneas horizontales representan los límites entre los diferentes estratos del suelo y las líneas verticales se trazan partiendo de puntos localizados a un cuarto de la longitud de cada barra de cimentación, partiendo de sus extremos y hacia el centro de la misma. El usuario deberá definir, para cada cuadro de la retícula, su módulo de deformación.
- III.- En seguida el usuario tendrá que identificar todos los grados de libertad que se presenten en la estructura, debiendo considerar para cada barra los 4 grados de libertad que se muestran en la fig. 3.3.a, y añadir un grado de libertad adicional a la mitad de la barra a aquellas que sean de cimentación (fig. 3.3.b).
- IV.- Numerar los grados de libertad de la estructura EMPEZANDO POR LOS DESPLAZAMIENTOS LINEALES DE LAS BARRAS DE CIMENTACIÓN.
- V.- 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 que le corresponden a cada barra tengan las direcciones positivas que se muestran en la figura 3.3. En la fig. 3.4 se presentan dos posibilidades para ejemplificar este punto.
- VI.- Hacer una pequeña tabla que contenga, para cada barra, los números de los grados de libertad de la estructura que se le asocian a sus extremos en el siguiente orden: giro en su extremo inicial, giro en su extremo final, desplazamiento

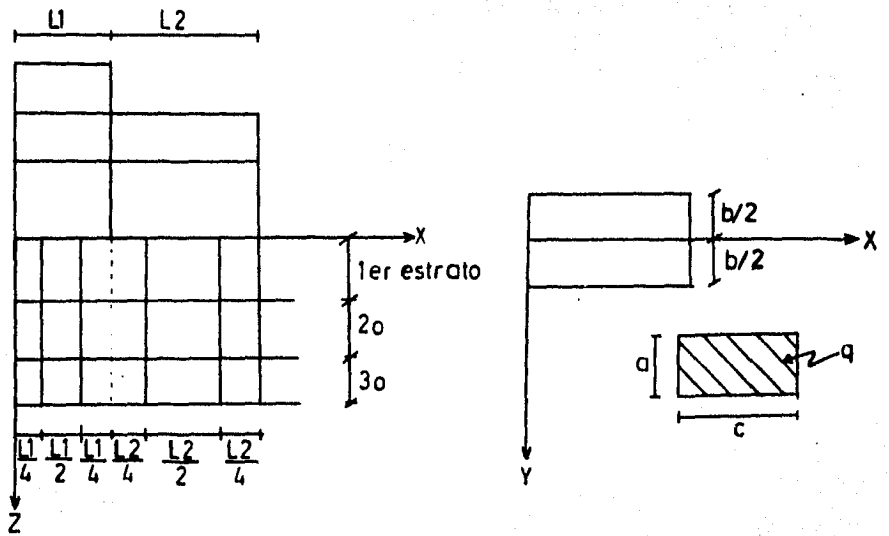
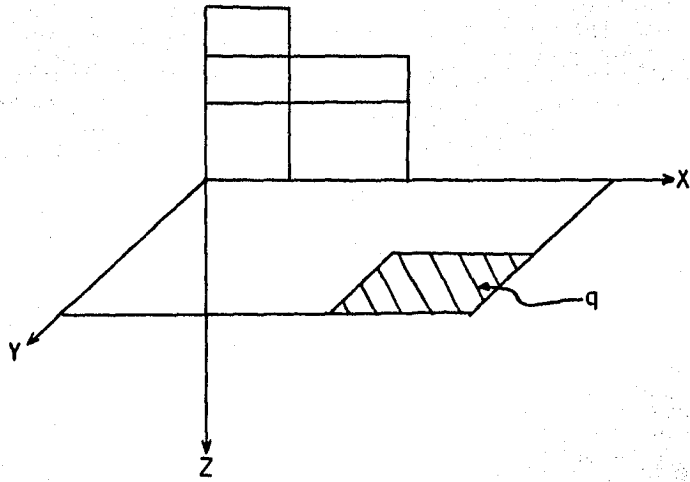
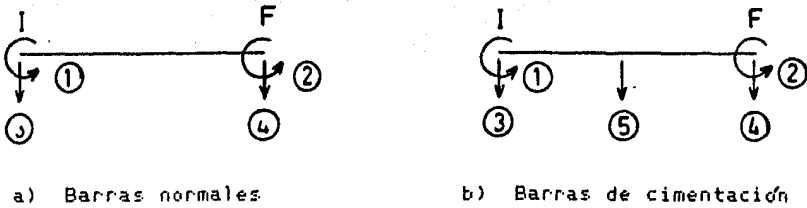
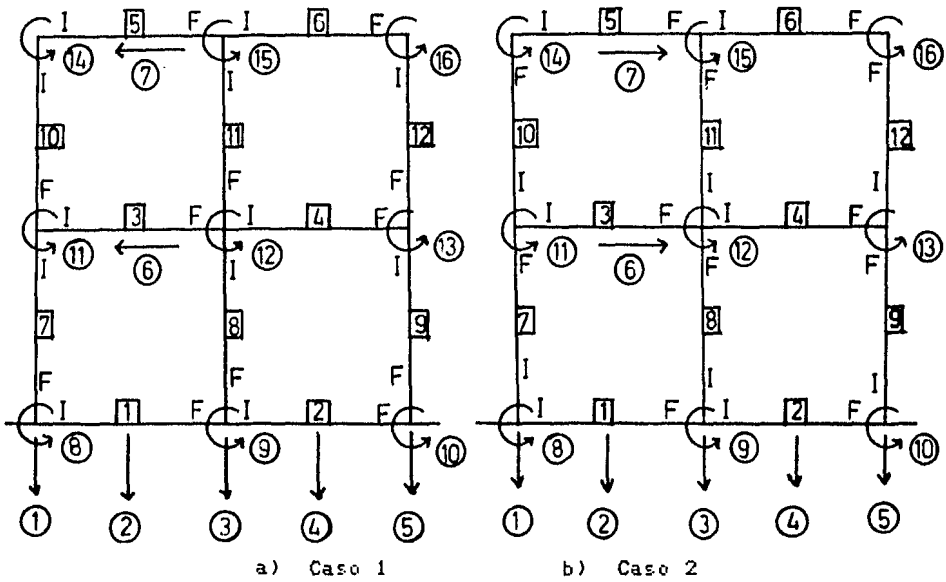


FIG. 3.2: UBICACION DE LA ESTRUCTURA EN EL SISTEMA DE EJES X-Y-Z.



- 1 Giro al inicio
- 2 Giro al final
- 3 Desplazamiento transversal al inicio
- 4 Desplazamiento transversal al final
- 5 Desplazamiento trnsversal al centro
(solo barras de cimentación).

FIG. 3.3: GRADOS DE LIBERTAD EN LAS BARRAS.



BARRA	GIRO AL INICIO	GIRO AL FINAL	DESP. TRANS. AL INICIO	DESP. TRANS. 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

CASO 1/CASO 2

FIG. 3.4: DOS POSIBILIDADES EN LA NUMERACION DE LOS G. DE LIBERTAD Y EN LA SELECCION DE LOS EXTREMOS INICIAL Y FINAL EN CADA BARRA.

transversal en su extremo inicial y desplazamiento transversal en su extremo final.

VII.- A continuación el usuario deberá encender el computador (ver el instructivo que proporciona el fabricante) e incertar los dos discos de que se compone el sistema. Deberá insertar los discos 1 y 2 en las lectoras de disco 0 y 1 respectivamente.

VIII.- En este momento se deberá proporcionar al computador las respuestas relativas a la fecha y hora, pudiéndose presionar la tecla "ENTER" como respuesta a esta última.

IX.- Encender la impresora y contestar las preguntas correspondientes para establecer comunicación entre ésta y el computador (Printer is ready?, etc).

Prácticamente a partir de este momento empieza la utilización del programa para la realización del análisis de interacción suelo-estructura. Cabe en este momento hacer unas pequeñas observaciones:

- Para proporcionar datos o respuestas al computador se tecléa el dato y posteriormente se presiona la tecla "ENTER".
- En caso de que en la pantalla se proporcione algún dato y éste esté correcto, bastará con presionar la tecla "ENTER". Esto se presentará cuando se esté verificando información previamente gravada y en otros casos que se expondrán más adelante.
- La tecla ↑ durante la ejecución del programa nos "regresa" a preguntar el dato inmediato anterior o a la pantalla anterior, según sea el caso.

Al iniciar la ejecución del programa se presentará la PANTALLA 1 o la pantalla 3 en caso de ser el primer análisis que se almacena en el disco.

A continuación se explican los pasos a seguir para realizar los procesos de que se compone el análisis de I.S.E.

A) Selección de la estructura:

Esta selección se realiza al presentarse la PANTALLA 1 y se lleva a cabo proporcionando al computador el número de la estructura con la que se quiere trabajar. En caso de que se quiera realizar el análisis de una estructura nueva, se deberá teclear el número inmediato superior al último, como se muestra en el ejemplo de la PANTALLA 2.

Como se puede ver, en un disco se puede gravar la información de varias estructuras, sin embargo, el usuario deberá cuidar que no se llegue a sobrepasar la capacidad de los discos. (Consultar en el manual del computador las instrucciones DIR Y FREE).

B) Menú Principal:

Este se presenta por medio de la PANTALLA 3 y en el se especifican todas las opciones que se tienen en el programa y que representan las diferentes etapas o procesos de que se compone un análisis de interacción suelo-estructura.

ESTRUCTURAS EN ESTE DISCO:

- (1) EJEMPLO #1: CALCULO MANUAL.
- (2) EJEMPLO DE APLICACION #2.
- (3) EJEMPLO DE APLICACION #3.
- (?) CON CUAL QUIERE TRABAJAR

PANTALLA 1: Selección de estructura.

ESTRUCTURAS EN ESTE DISCO:

- (1) EJEMPLO #1: CALCULO MANUAL.
- (2) EJEMPLO DE APLICACION #2.
- (3) EJEMPLO DE APLICACION #3.
- (4) CON CUAL QUIERE TRABAJAR

PANTALLA 2: Selección de estructura nueva.

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: Menú principal.

Para seleccionar algún Proceso se teclea su número y se Presiona la tecla "ENTER".

Los Procesos 1,2 y 3 se refieren a la captura de datos y deberán ejecutarse antes de los Procesos 4,5 y 6 que representan el análisis de interacción suelo estructura.

Los Procesos 1,2 y 3 al igual que los Procesos 4 y 5 Podrán ejecutarse en cualquier orden entre sí; sin embargo, todos éstos deberán preceder al Proceso 6 .

Si se llegara a cometer algún error en esta secuencia el Programa lo indicará.

Los Procesos 7 y 8 se refieren a la impresión de datos y resultados respectivamente.

Al terminar cada proceso, el programa regresará automáticamente a la pantalla de menú.

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

Al elegir este proceso en el menú, aparecerá la PANTALLA 4. Como se ve en esta pantalla, se deben proporcionar los siguientes datos:

- Nombre de la estructura.
- Número de barras de cimentación (NC).
- Número total de barras en la estructura (incluyendo las de cimentación).
- Para cada barra se deberá proporcionar sus propiedades físicas y geométricas; es decir, su módulo de elasticidad (E), el momento de inercia de su sección (I) y su longitud (L). Para agilizar la captura de estos datos, el programa tomará los datos (E,I,L) de la barra anterior; en caso de que éstos sean los correctos para la barra en curso, bastará con presionar la tecla "ENTER" en cada caso.
- Para cada barra se deberán proporcionar los cuatro grados de libertad asociados a sus extremos (fig.3.3.a) y un quinto grado de libertad para aquellas barras que son de cimentación (fig. 3.3.b). Para la 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 III del inciso 3.2.3.
El número de grados de libertad asociados a los desplazamientos lineales de las barras de cimentación debe ser:

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

DATOS 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

#	E	I	L	GRADOS DE LIBERTAD					T	A.CIM.
				1	2	3	4	5		

PANTALLA 4: Captura de datos de estructura.

DATOS DE ESTRUCTURA

NOMBRE: EJEMPLO #1: CALCULO MANUAL.
 # DE BARRAS DE CIMENTACION: 1
 # TOTAL DE BARRAS: 4

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

#	E	I	L	GRADOS DE LIBERTAD					T	A.CIM.
				1	2	3	4	5		
1	1.4142E+06	.0211	11	5	6	1	3	2	0	6
2	1.4142E+06	.0143	11	7	8	1	3	0	0	0
3	1.4142E+06	9E-03	5	7	5	4	0	0	0	0
4	1.4142E+06	9E-03	5	8	6	4	0	0	0	0

PANTALLA 5: Ejemplo avanzado de captura de datos de estructura.

- Además para cada barra se deberá proporcionar su tipo, el cual está representado por un número comprendido entre 0 y 2, con la siguiente interpretación:

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

Con este dato se puede proporcionar la característica de empotramiento o articulación de la estructura con su cimentación.

- Finalmente, para las barras que son de cimentación se deberá proporcionar su ancho b.

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

Al terminar de dar los datos de la última barra, el programa regresará en forma automática a la pantalla de menú.

Como se dijo anteriormente, para proporcionar al computador un dato, es necesario teclearlo y luego presionar la tecla "ENTER".

También como se dijo anteriormente, la tecla ↑ nos "regresa" al dato o a la pregunta anterior.

NOTA: El programa no tiene restricción alguna en cuanto a unidades se refiere; el usuario deberá tener cuidado de que todos los datos que proporcione estén en unidades congruentes. Los resultados que se obtengan del análisis estarán en las unidades en que el usuario haya proporcionado los datos.

D) PROCESO 2: Captura de datos del suelo.

Al elegir este proceso en el menú principal, se llegará a la PANTALLA 6; en la que primeramente se deberá proporcionar el espesor del estrato que se esté indicando. Posteriormente se deberán proporcionar los módulos de deformación del estrato, bajo los grados de libertad que se indiquen en la pantalla. Un ejemplo avanzado de este caso se presenta en la PANTALLA 7.

Para agilizar la captura de los módulos de deformación, el programa tomará como dato el módulo de deformación bajo el grado de libertad anterior. En caso de que éste sea el correcto para el módulo de deformación que se esté preguntando, bastará con presionar la tecla "ENTER".

Al terminar con todos los módulos de deformación de un estrato, el programa preguntará por el espesor del estrato siguiente y se repite el procedimiento anterior. En caso de que se hayan proporcionado los datos de todos los estratos, se deberá responder con un cero cuando el programa pregunte el espesor del siguiente estrato; con esto el programa regresará a la pantalla de menú.

DATOS DEL SUELO

ESTRATO: 2

ESPESOR: 0

MODULO DE DEFORMACION BAJO EL GRADO DE LIBERTAD:

PANTALLA 6: Captura de datos del suelo.

DATOS DEL SUELO

ESTRATO: 1

ESPESOR: 3.2

MODULO DE DEFORMACION BAJO EL GRADO DE LIBERTAD:

1 : .0136

2 : .0136

3 : .0136

PANTALLA 7: Ejemplo avanzado de captura de datos del suelo.

E) PROCESO 3: Cargas sobre la estructura.

44

Al elegir este proceso en el menú, se presenta la PANTALLA B, en la que se pide primeramente que se teclee el tipo de carga, pudiendo ser éste alguno de los siguientes:

- 1.- Carga uniformemente repartida en una barra.
- 2.- Carga concentrada en un nudo, asociada a un grado de libertad.
- 3.- Sobrecarga rectangular en la superficie del terreno.

Dependiendo del tipo que se haya elegido, el programa preguntará diferentes datos; esto se puede observar en la PANTALLA 9, en la que se presenta un ejemplo avanzado de este proceso.

Para el tipo 1 se deberá proporcionar el número de la barra que se va a cargar y el valor (w) de la carga.

Para el tipo 2 se deberá proporcionar el número del grado de libertad al que se asocia la carga y el valor (Q) de la misma.

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 dicha área (a, c) (fig. 3.2).

El sentido positivo de las cargas se puede observar en la fig 3.5

Al proporcionar todos los datos de una carga, nuevamente se preguntará el tipo de carga, repitiéndose el procedimiento anterior. En caso de que ya no se vayan a especificar nuevas cargas, se deberá responder con un cero cuando el programa pregunte por el tipo de carga. Con esto, nuevamente el programa regresará a la pantalla de menú.

Con este proceso se termina la parte correspondiente a captura de datos; a continuación se explicarán los procesos relativos al análisis de interacción suelo-estructura.

F) PROCESO 4: Análisis estructural.

Para elegir este proceso, es necesario que se hayan ejecutado anteriormente los procesos 1 y 3; en caso de que faltase alguno de éstos, el programa lo indicará y regresará a la pantalla de menú.

El análisis estructural se realiza utilizando el método directo de rigideces que utiliza Beaufait et al (1970). Este método se explica en forma detallada en el capítulo 2 de este trabajo.

Con este proceso se coloca la matriz de rigidez de cada barra en la matriz de rigidez de toda la estructura. Como indicador del avance que va teniendo el proceso, en pantalla se muestra el número de la barra cuya matriz de rigidez se está colocando (ver PANTALLA 10).

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

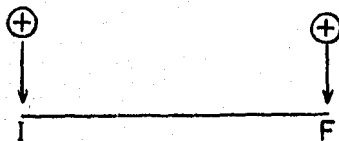
PANTALLA 8: Captura de datos de cargas.

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.

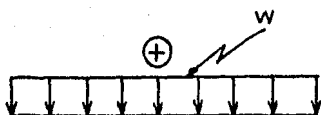
TIPO 1	BARRA= 1	W= 5				
TIPO 1	BARRA= 2	W= 4				
TIPO 2	g. de lib.= 4	Q= -6				
TIPO 3	W= 2	X= -5	Y= 7	a= 19	c= 4	

PANTALLA 9: Ejemplo avanzado de captura de datos de cargas.

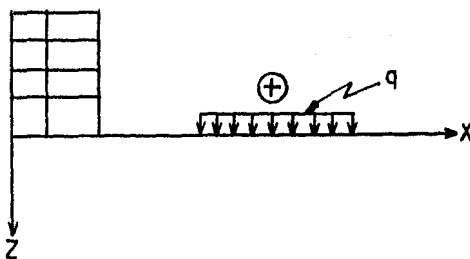


a) Momento concentrado en un nudo

b) Cargas concentradas en los extremos de las 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 EN EL TERRENO.

ANALISIS ESTRUCTURAL

47

ENSAMBLANDO MATRIZ DE RIGIDECES BARRA 3

PANTALLA 10: Indicador de avance del proceso de ensamble de la matriz de rigidez de la estructura.

ANALISIS ESTRUCTURAL

ENSAMBLANDO VECTOR DE CARGAS CARGA 1

PANTALLA 11: Indicador de avance del proceso de cálculo del vector de cargas (análisis estructural).

Además en este proceso se calcula el vector de cargas. De igual forma, en pantalla se muestra el avance de este cálculo como se presenta en la PANTALLA 11.

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

G) PROCESO 5: Análisis de asentamientos.

Para elegir este proceso es necesario que anteriormente se hayan ejecutado los procesos 2 y 3.

En este proceso se calculan los asentamientos bajo los grados de libertad, de desplazamiento lineal de las barras de cimentación, en función de las reacciones del terreno, que en esta etapa del análisis no se conocen. En este cálculo se puede tomar en cuenta el efecto de sobrecargas rectangulares localizadas en la superficie del terreno como se explica anteriormente en el proceso 3.

Este proceso se explica en forma detallada en el capítulo 2 de este trabajo.

Durante el proceso se va indicando en pantalla el grado de libertad bajo el cual se está calculando el asentamiento que va a sufrir el terreno (PANTALLA 12).

Al terminar el proceso el programa regresará en forma automática a la pantalla de menú.

H) PROCESO 6: Compatibilidad de desplazamientos.

Para la realización de este proceso es necesario que anteriormente se hayan ejecutado los procesos 4 y 5.

En este proceso se ejecuta la compatibilidad de desplazamientos, que consiste en fusionar los resultados del análisis estructural y los del análisis de asentamientos. Esto se realiza haciendo una sustitución de las ecuaciones obtenidas en el análisis de asentamientos del suelo en el sistema de ecuaciones resultante del análisis estructural.

Durante la sustitución de ecuaciones, el programa va indicando en pantalla el número de sustitución que se está realizando, con el objeto de observar el avance que va teniendo el proceso como se muestra en la PANTALLA 13.

Además en este proceso se resuelve el sistema de ecuaciones que resulta al realizar la compatibilidad de desplazamientos. Este sistema se resuelve 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 una matriz triangular. Se incluye en estas combinaciones al vector de términos independientes, por lo que al final de éstas, en dicho vector se tiene el valor de la última variable del sistema y a partir de ésta, haciendo sustituciones hacia arriba, se determina el valor de las demás variables.

ANALISIS DE ASENTAMIENTOS**BAJO EL GRADO DE LIBERTAD: 1****PANTALLA 12: Indicador de avance del proceso de análisis de asentamientos del suelo.**

COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS

SUSTITUCION 1 DE: 8

PANTALLA 13: Indicador de avance del proceso de sustitución en la compatibilidad de desplazamientos.

SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES

ELIMINACION DE ELEMENTOS
COLUMNA: 2 DE: 8

PANTALLA 14: Indicador de avance del proceso de solución del sistema de ecuaciones resultante de la compatibilidad de desplazamientos.

Durante la solución del sistema, el programa va indicando la columna sobre la que se está haciendo la eliminación de elementos, con lo que se puede observar el avance del proceso (PANTALLA 14).

De igual forma, al terminar el proceso el programa regresa a la pantalla de menú.

I) PROCESO 7: Impresión de datos.

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

Como se ve en esta pantalla, se tienen tres posibilidades a elegir en cuanto a impresión de datos se refiere.

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

Al seleccionar alguna de estas alternativas, se presenta la PANTALLA 16, en la que se pregunta si el reporte se quiere por impresora. Si se responde "NO" a esta pregunta, el reporte únicamente se presentará por pantalla; en caso de que la respuesta sea "SI", además el reporte se obtendrá por la impresora.

Al terminar un reporte el programa regresa a la pantalla 15 en la que la opción 4 nos regresa a la pantalla de menú.

J) PROCESO 8: Impresión de resultados.

Para elegir este proceso, es necesario que se haya ejecutado la compatibilidad de desplazamientos y por lo tanto los procesos de análisis estructural, análisis de asentamientos y de captura de datos.

Al escoger esta opción del menú se obtendrá un reporte por impresora en el que se presenta para cada barra los desplazamientos en cada uno de sus grados de libertad y las fuerzas o elementos mecánicos asociados a estos grados de libertad.

Además en este reporte se presentan las reacciones que ejerce el terreno sobre la cimentación de la estructura.

El usuario deberá verificar el equilibrio de momentos en cada nodo, 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 llevándonos a una solución errónea del sistema, lo que a su vez nos llevaría a obtener resultados no válidos en todo el análisis.

Al igual que en todos los procesos, al terminar se regresará a la pantalla de menú.

IMPRESION DE DATOS

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

- (?) QUE OPCION QUIERE

PANTALLA 15: Menú secundario para la selección de reportes de datos.

IMPRESION DE DATOS

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

- (1) QUE OPCION QUIERE
POR IMPRESORA (S/N)

PANTALLA 16: Selección de reportes por pantalla y/o impresora.

K) PROCESO 9: Fin.

Al elegir este proceso se da por terminada la sesión de trabajo y se pueden retirar los discos. Posteriormente se puede continuar el análisis en otra sesión, eligiendo el problema adecuado (parte A) y luego escogiendo el proceso que se quiera a partir de la pantalla de menú.

En resumen se tiene que los procesos 1 a 3 nos sirven para captura, consulta y/o modificaciones de datos; es decir, que si ya ejecutamos alguno de los procesos, podemos seleccionarlo nuevamente en el menú, con objeto de consultar y/o modificar los datos ya gravados.

Los procesos 4 a 6 realizan en sí el análisis de interacción suelo-estructura.

Finalmente los procesos 7 y 8 nos generan reportes por impresora de los datos y resultados del análisis.

En el siguiente capítulo se presentan algunos ejemplos de aplicación en los que se puede observar la forma en que se imprimen estos reportes.

CAPITULO 4: EJEMPLOS DE APLICACION

En este capítulo se presenta una serie de ejemplos con objeto de ilustrar la utilización del programa.

En cada ejemplo se puede observar la forma en que se proporcionan los datos de un problema al computador y la forma en que se obtienen los resultados.

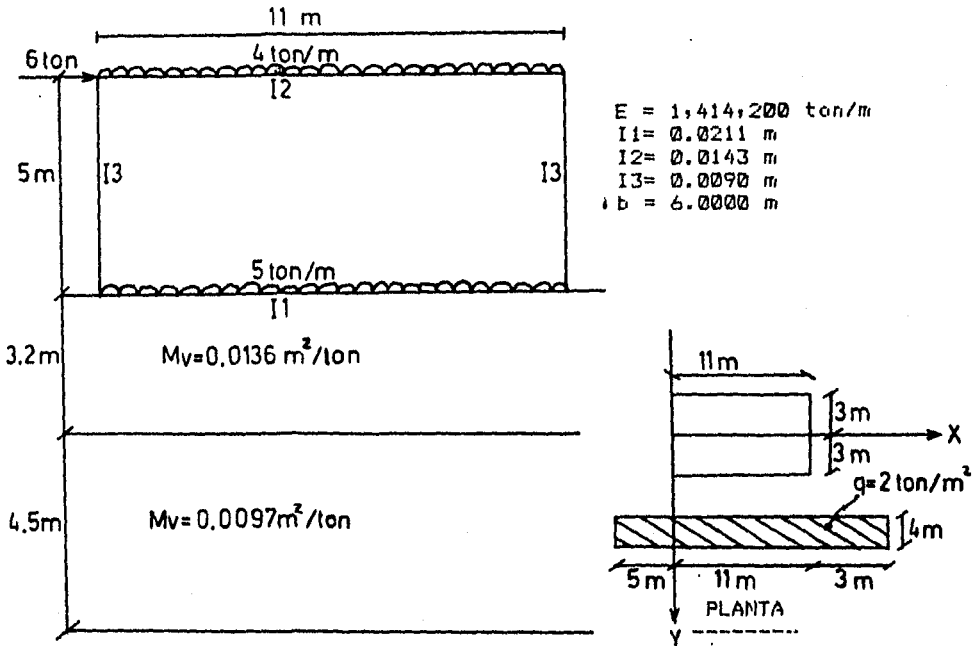
Como resultado del análisis de interacción suelo estructura se obtienen los desplazamientos de la estructura, las reacciones del terreno y los elementos mecánicos en los extremos de las barras.

4.1) EJEMPLO DE APLICACION #1 (CALCULO MANUAL):

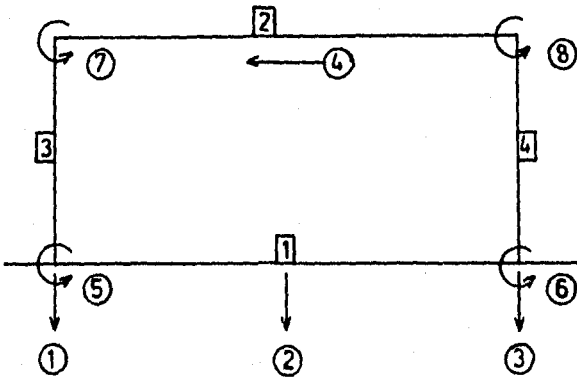
Como primer ejemplo se presenta la estructura de la figura 4.1, que es la estructura cuyo análisis se realizó en forma manual en el capítulo 2.

En este ejemplo se utilizan los tres tipos de carga que se pueden aplicar con el programa: cargas uniformes en las barras, cargas concentradas en los nudos asociadas a un grado de libertad y sobrecargas rectangulares en la superficie del terreno.

Se puede corroborar que los resultados obtenidos por medio del computador son los mismos que se obtuvieron en el cálculo manual en el capítulo 2.



a) Dimensiones y cargas en la estructura



b) Numeración de barras y grados de libertad

FIG. 4.1: ESTRUCTURA DEL EJEMPLO DE APLICACION # 1 (cálculo manual).

DATOS DE LA ESTRUCTURA

NOMBRE: EJEMPLO #1: CALCULO MANUAL.
 NUMERO DE BARRAS DE CIMENTACION: 1
 NUMERO TOTAL DE BARRAS: 4
 NUMERO DE GRADOS DE LIBERTAD EN LA ESTRUCTURA: 8
 NUMERO DE ESTRATOS: 2

PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS BARRAS

BARRA	E	I	L	TIPO	ANCHO CIMENT.
1	1,414,200.00	0.02110	11.00	0	6.00
2	1,414,200.00	0.01430	11.00	0	
3	1,414,200.00	0.00900	5.00	0	
4	1,414,200.00	0.00900	5.00	0	

BARRA	GRADOS DE LIBERTAD				
	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 DEFORMACION		
1	3.20	0.0136	0.0136	0.0136
2	4.50	0.0097	0.0097	0.0097

CARGAS EN LA ESTRUCTURA

TIPO: 1 BARRA= 1 W= 5
 TIPO: 1 BARRA= 2 W= 4
 TIPO: 2 g. de lib.= 4 Q=-6
 TIPO: 3 W= 2 X=-5 Y= 7 a= 19 c= 4

RESULTADOS

GRADO DE LIBERTAD	DESPLAZAMIENTO	REACCION DEL TERRENO
1	0.06338578	12.11814022
2	0.06383905	4.55954552
3	0.07510094	14.76276875
4	-0.01105790	
5	0.00108848	
6	-0.00449615	
7	-0.00567320	
8	0.00219875	

BARRA	MOM. INICIO	MOM. FINAL	CORTANTE INICIO	CORTANTE FINAL
1	-15.9785	.808479	20.6518	23.3482
2	18.4461	-33.276	-20.6518	-23.3482
3	-18.4461	15.9785	.493514	-.493514
4	33.2761	-.808482	-6.49352	6.49352

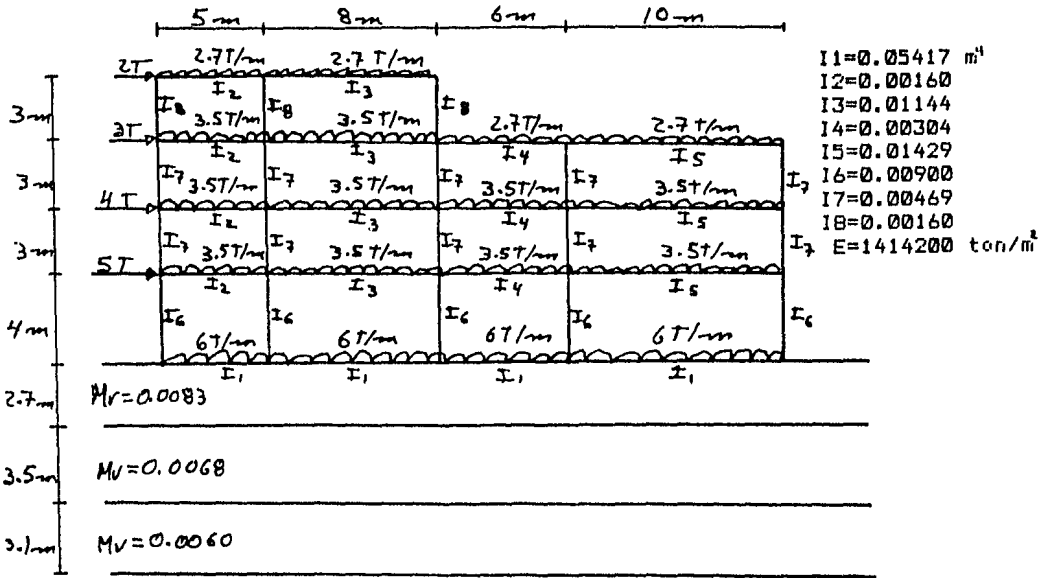
Como segundo ejemplo se realiza el análisis de la estructura que se muestra en la figura 4.2.a.

En la parte (b) de esta figura se puede observar la numeración de los posibles grados de libertad o desplazamientos de la estructura y la numeración de las barras.

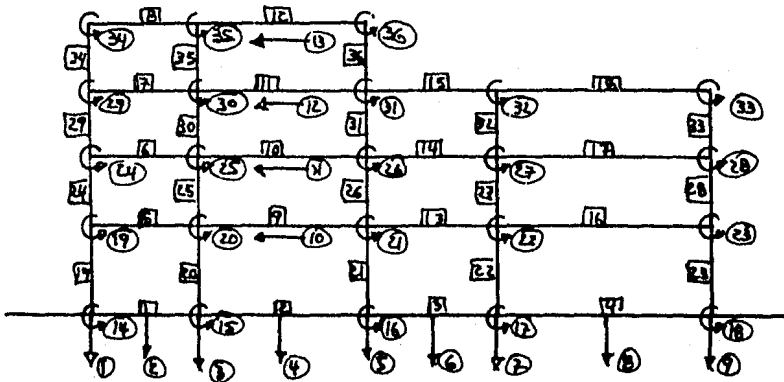
Como se puede ver en dicha figura, las primeras barras en la numeración son las barras de cimentación y están numeradas de izquierda a derecha. Además los primeros grados de libertad en la numeración son los desplazamientos lineales o asentamientos de la cimentación.

Estas dos condiciones en la numeración de las barras y de los grados de libertad son necesarias en la utilización del programa (inciso 3.2.3).

Como se puede observar en los resultados de este análisis, los desplazamientos lineales o asentamientos de la cimentación son mayores al centro de la estructura y las reacciones del terreno son mayores en los extremos y distan bastante de ser uniformes, con lo que se ve la importancia de tomar en cuenta la interacción suelo-estructura.



a) Dimensiones y cargas en la estructura



b) Numeración de barras y grados de libertad

FIG. 4.2: ESTRUCTURA DEL EJEMPLO DE APLICACION # 2.

DATOS DE LA ESTRUCTURA

60

NOMBRE: EJEMPLO DE APLICACION #2.
 NUMERO DE BARRAS DE CIMENTACION: 4
 NUMERO TOTAL DE BARRAS: 36
 NUMERO DE GRADOS DE LIBERTAD EN LA ESTRUCTURA: 36
 NUMERO DE ESTRATOS: 3

PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS BARRAS

BARRA	E	I	L	TIPO	ANCHO CIMENT.
1	1,414,200.00	0.05417	5.00	0	8.00
2	1,414,200.00	0.05417	8.00	0	8.00
3	1,414,200.00	0.05417	6.00	0	8.00
4	1,414,200.00	0.05417	10.00	0	8.00
5	1,414,200.00	0.00160	5.00	0	
6	1,414,200.00	0.00160	5.00	0	
7	1,414,200.00	0.00160	5.00	0	
8	1,414,200.00	0.00160	5.00	0	
9	1,414,200.00	0.01144	8.00	0	
10	1,414,200.00	0.01144	8.00	0	
11	1,414,200.00	0.01144	8.00	0	
12	1,414,200.00	0.01144	8.00	0	
13	1,414,200.00	0.00304	6.00	0	
14	1,414,200.00	0.00304	6.00	0	
15	1,414,200.00	0.00304	6.00	0	
16	1,414,200.00	0.01429	10.00	0	
17	1,414,200.00	0.01429	10.00	0	
18	1,414,200.00	0.01429	10.00	0	
19	1,414,200.00	0.00900	4.00	0	
20	1,414,200.00	0.00900	4.00	0	
21	1,414,200.00	0.00900	4.00	0	
22	1,414,200.00	0.00900	4.00	0	
23	1,414,200.00	0.00900	4.00	0	
24	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
25	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
26	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
27	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
28	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
29	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
30	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
31	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
32	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
33	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
34	1,414,200.00	0.00160	3.00	0	
35	1,414,200.00	0.00160	3.00	0	
36	1,414,200.00	0.00160	3.00	0	

BARRA	GRADOS DE LIBERTAD				
	1	2	3	4	5
1	14	15	1	3	2
2	15	16	3	5	4
3	16	17	5	7	6
4	17	18	7	9	8
5	19	20	1	3	0
6	24	25	1	3	0
7	29	30	1	3	0

8	34	35	1	3	0
9	20	21	3	5	0
10	25	26	3	5	0
11	30	31	3	5	0
12	35	36	3	5	0
13	21	22	5	7	0
14	26	27	5	7	0
15	31	32	5	7	0
16	22	23	7	9	0
17	27	28	7	9	0
18	32	33	7	9	0
19	19	14	10	0	0
20	20	15	10	0	0
21	21	16	10	0	0
22	22	17	10	0	0
23	23	18	10	0	0
24	24	19	11	10	0
25	25	20	11	10	0
26	26	21	11	10	0
27	27	22	11	10	0
28	28	23	11	10	0
29	29	24	12	11	0
30	30	25	12	11	0
31	31	26	12	11	0
32	32	27	12	11	0
33	33	28	12	11	0
34	34	29	13	12	0
35	35	30	13	12	0
36	36	31	13	12	0

DATOS DEL SUELO

ESTRATO	ESPESOR	MODULOS DE DEFORMACION							
1	2.70	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083
		0.0083	0.0083						
2	3.50	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068	0.0068
		0.0068	0.0068						
3	3.10	0.0060	0.0060	0.0060	0.0060	0.0060	0.0060	0.0060	0.0060
		0.0060	0.0060						

CARGAS EN LA ESTRUCTURA

TIPO: 1	BARRA= 1	W= 6
TIPO: 1	BARRA= 2	W= 6
TIPO: 1	BARRA= 3	W= 6
TIPO: 1	BARRA= 4	W= 6
TIPO: 1	BARRA= 5	W= 3.5
TIPO: 1	BARRA= 6	W= 3.5
TIPO: 1	BARRA= 7	W= 3.5
TIPO: 1	BARRA= 8	W= 2.7
TIPO: 1	BARRA= 9	W= 3.5
TIPO: 1	BARRA= 10	W= 3.5
TIPO: 1	BARRA= 11	W= 3.5
TIPO: 1	BARRA= 12	W= 2.7
TIPO: 1	BARRA= 13	W= 3.5

TIPO: 1	BARRA= 14	W= 3.5
TIPO: 1	BARRA= 15	W= 2.7
TIPO: 1	BARRA= 16	W= 3.5
TIPO: 1	BARRA= 17	W= 3.5
TIPO: 1	BARRA= 18	W= 2.7
TIPO: 2 g. de lib.= 10		Q=-5
TIPO: 2 g. de lib.= 11		Q=-4
TIPO: 2 g. de lib.= 12		Q=-3
TIPO: 2 g. de lib.= 13		Q=-2

RESULTADOS

GRADO DE LIBERTAD	DESPLAZAMIENTO	REACCION DEL TERRENO
1	0.09552040	43.83016205
2	0.09891247	13.26863384
3	0.10255307	16.67592239
4	0.10264411	16.00773430
5	0.10468643	16.80510330
6	0.10076043	15.88724995
7	0.09586305	15.27141762
8	0.08130016	11.32899094
9	0.07634592	28.16111946
10	-0.00107656	
11	-0.00108132	
12	-0.00028368	
13	-0.00259481	
14	-0.00104739	
15	-0.00073434	
16	0.00013956	
17	0.00259964	
18	-0.00112953	
19	-0.00035336	
20	-0.00056105	
21	0.00019589	
22	-0.00058696	
23	0.00171937	
24	-0.00018878	
25	-0.00039162	
26	0.00043976	
27	0.00033383	
28	0.00141248	
29	-0.00045395	
30	-0.00073443	
31	0.00054338	
32	0.00034446	
33	0.00248445	
34	-0.00223065	
35	-0.00163299	
36	0.00121222	

BARRA	MOM. INICIO	MOM. FINAL	CORTANTE INICIO	CORTANTE FINAL
1	10.4414	72.4354	35.5553	43.2489
2	-64.6567	61.2719	41.8227	41.1703
3	-69.4331	52.9936	33.4909	26.2857
4	-87.4843	-1.70372	49.4479	55.7784
5	9.96333	-4.80798	-9.78107	-7.71893
6	10.4146	-4.35232	-9.96246	-7.53755

7	9.62433	-5.21287	-9.63229	-7.86771
8	3.92825	-6.78081	-6.17949	-7.32051
9	18.1562	-16.1156	-14.2551	-13.7449
10	20.5131	-13.4576	-14.8819	-13.1181
11	18.1592	-14.0059	-14.5192	-13.4809
12	9.32906	-7.96319	-10.9707	-10.6293
13	3.89808	-18.2238	-8.11238	-12.8876
14	5.91661	-15.2352	-8.9469	-12.0531
15	3.8288	-12.6562	-6.62876	-9.57124
16	7.70599	-41.3057	-14.14	-20.86
17	13.909	-40.0647	-14.8844	-20.1156
18	11.6609	-24.6898	-12.1971	-14.8029
19	-6.02468	-10.4414	4.11652	-4.11652
20	-6.67591	-7.77867	3.61364	-3.61364
21	8.51969	8.16123	-4.17023	4.17023
22	14.2114	34.4907	-12.1755	12.1755
23	19.8339	1.70375	-5.3844	5.3844
24	-3.21092	-3.93865	2.38319	-2.38319
25	-5.9231	-6.67228	4.19846	-4.19846
26	4.77622	3.69787	-2.8247	2.8247
27	.37786	-3.69365	1.10526	-1.10526
28	20.1149	21.4718	-13.8622	13.8622
29	-8.37618	-7.20368	5.19329	-5.19329
30	-11.7535	-10.2377	7.3304	-7.3304
31	3.2229	2.76475	-1.99588	1.99588
32	.995395	.948391	-.647928	.647928
33	24.6898	19.9499	-14.8799	14.8799
34	-3.92825	-1.24814	1.72547	-1.72547
35	-2.54824	-1.19279	1.24701	-1.24701
36	7.96318	6.95424	-4.97248	4.97248

4.3) EJEMPLO DE APLICACION # 3:

Como tercer ejemplo se presenta el análisis de la estructura que se muestra en la figura 4.3.a.

En la parte (b) de esta figura se presenta la numeración de grados de libertad y barras para efectos del programa.

En este ejemplo se ilustra el análisis de una estructura con cargas horizontales, uniformes en las barras y concentradas en los nudos, que pueden representar los efectos de viento y sismo respectivamente.

En los resultados se puede apreciar que los hundimientos son mayores hacia el extremo derecho de la estructura y las reacciones del terreno se concentran hacia ese lado, lo cual era de esperarse por las cargas aplicadas.

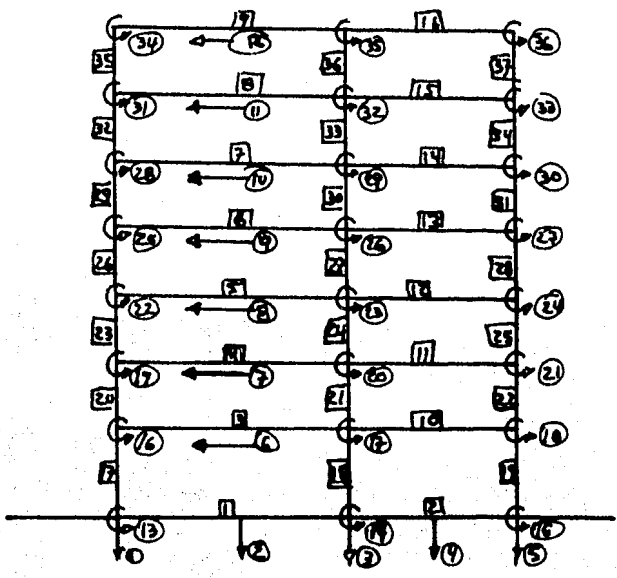
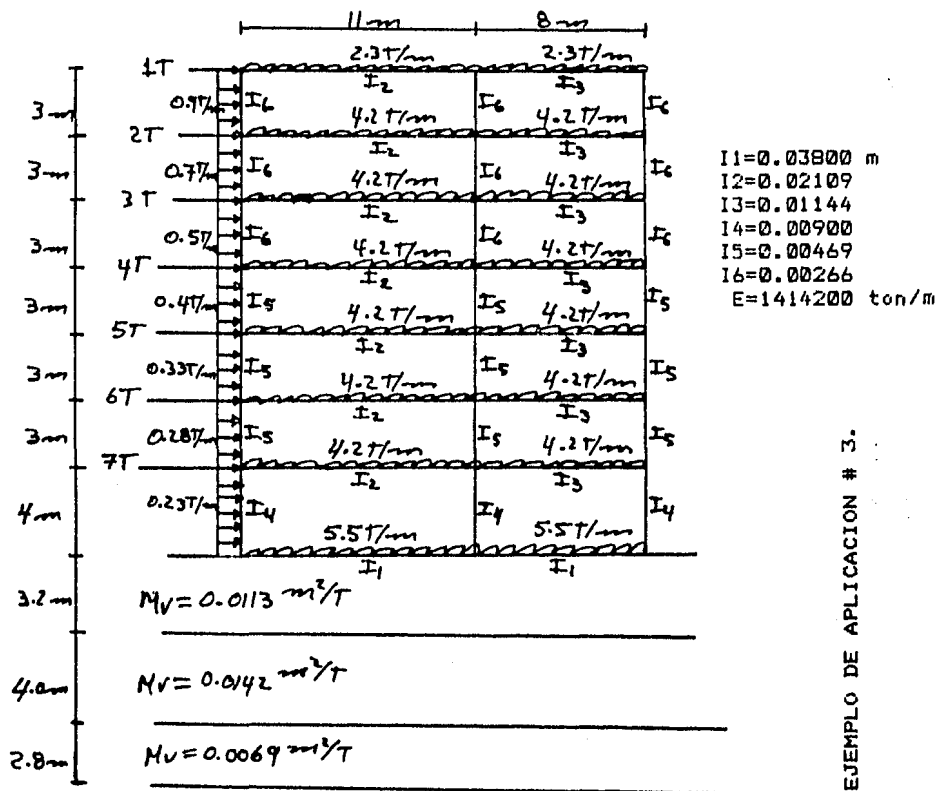


FIG. 4.3: ESTRUCTURA DEL EJEMPLO DE APLICACION # 3.

DATOS DE LA ESTRUCTURA

NOMBRE: EJEMPLO DE APLICACION #3.
 NUMERO DE BARRAS DE CIMENTACION: 2
 NUMERO TOTAL DE BARRAS: 37
 NUMERO DE GRADOS DE LIBERTAD EN LA ESTRUCTURA: 36
 NUMERO DE ESTRATOS: 3

PROPIEDADES GEOMETRICAS DE LAS BARRAS

BARRA	E	I	L	TIPO	ANCHO CIMENT.
1	1,414,200.00	0.03800	11.00	0	7.00
2	1,414,200.00	0.03800	8.00	0	7.00
3	1,414,200.00	0.02109	11.00	0	
4	1,414,200.00	0.02109	11.00	0	
5	1,414,200.00	0.02109	11.00	0	
6	1,414,200.00	0.02109	11.00	0	
7	1,414,200.00	0.02109	11.00	0	
8	1,414,200.00	0.02109	11.00	0	
9	1,414,200.00	0.02109	11.00	0	
10	1,414,200.00	0.01144	8.00	0	
11	1,414,200.00	0.01144	8.00	0	
12	1,414,200.00	0.01144	8.00	0	
13	1,414,200.00	0.01144	8.00	0	
14	1,414,200.00	0.01144	8.00	0	
15	1,414,200.00	0.01144	8.00	0	
16	1,414,200.00	0.01144	8.00	0	
17	1,414,200.00	0.00900	4.00	0	
18	1,414,200.00	0.00900	4.00	0	
19	1,414,200.00	0.00900	4.00	0	
20	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
21	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
22	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
23	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
24	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
25	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
26	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
27	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
28	1,414,200.00	0.00469	3.00	0	
29	1,414,200.00	0.00266	3.00	0	
30	1,414,200.00	0.00266	3.00	0	
31	1,414,200.00	0.00266	3.00	0	
32	1,414,200.00	0.00266	3.00	0	
33	1,414,200.00	0.00266	3.00	0	
34	1,414,200.00	0.00266	3.00	0	
35	1,414,200.00	0.00266	3.00	0	
36	1,414,200.00	0.00266	3.00	0	
37	1,414,200.00	0.00266	3.00	0	

BARRA	GRADOS DE LIBERTAD				
	1	2	3	4	5
1	13	14	1	3	2
2	14	15	3	5	4
3	16	17	1	3	0
4	19	20	1	3	0
5	22	23	1	3	0
6	25	26	1	3	0

7	28	29	1	3	0
8	31	32	1	3	0
9	34	35	1	3	0
10	17	18	3	5	0
11	20	21	3	5	0
12	23	24	3	5	0
13	26	27	3	5	0
14	29	30	3	5	0
15	32	33	3	5	0
16	35	36	3	5	0
17	16	13	6	0	0
18	17	14	6	0	0
19	18	15	6	0	0
20	19	16	7	6	0
21	20	17	7	6	0
22	21	18	7	6	0
23	22	19	8	7	0
24	23	20	8	7	0
25	24	21	8	7	0
26	25	22	9	8	0
27	26	23	9	8	0
28	27	24	9	8	0
29	28	25	10	9	0
30	29	26	10	9	0
31	30	27	10	9	0
32	31	28	11	10	0
33	32	29	11	10	0
34	33	30	11	10	0
35	34	31	12	11	0
36	35	32	12	11	0
37	36	33	12	11	0

DATOS DEL SUELO

ESTRATO	ESPESOR	MÓDULOS DE DEFORMACION				
1	3.20	0.0113	0.0113	0.0113	0.0113	0.0113
2	4.00	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142	0.0142
3	2.80	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069

CARGAS EN LA ESTRUCTURA

TIPO: 1	BARRA= 1	W= 5.5
TIPO: 1	BARRA= 2	W= 5.5
TIPO: 1	BARRA= 3	W= 4.2
TIPO: 1	BARRA= 4	W= 4.2
TIPO: 1	BARRA= 5	W= 4.2
TIPO: 1	BARRA= 6	W= 4.2
TIPO: 1	BARRA= 7	W= 4.2
TIPO: 1	BARRA= 8	W= 4.2
TIPO: 1	BARRA= 9	W= 2.3
TIPO: 1	BARRA= 10	W= 4.2
TIPO: 1	BARRA= 11	W= 4.2
TIPO: 1	BARRA= 12	W= 4.2
TIPO: 1	BARRA= 13	W= 4.2
TIPO: 1	BARRA= 14	W= 4.2

TIPO: 1	BARRA= 15	W= 4.2
TIPO: 1	BARRA= 16	W= 2.3
TIPO: 1	BARRA= 17	W=-.23
TIPO: 1	BARRA= 20	W=-.28
TIPO: 1	BARRA= 23	W=-.33
TIPO: 1	BARRA= 26	W=-.4
TIPO: 1	BARRA= 29	W=-.5
TIPO: 1	BARRA= 32	W=-.7
TIPO: 1	BARRA= 35	W=-.9
TIPO: 2 g. de lib.= 6		Q=-7
TIPO: 2 g. de lib.= 7		Q=-6
TIPO: 2 g. de lib.= 8		Q=-5
TIPO: 2 g. de lib.= 9		Q=-4
TIPO: 2 g. de lib.= 10		Q=-3
TIPO: 2 g. de lib.= 11		Q=-2
TIPO: 2 g. de lib.= 12		Q=-1

RESULTADOS

GRADO DE LIBERTAD	DESPLAZAMIENTO	REACCION DEL TERRENO
1	0.24966590	50.02946091
2	0.26394938	19.77555084
3	0.31457737	28.00289726
4	0.32311718	23.26204872
5	0.34261350	77.29573059
6	-0.02757187	
7	-0.05072710	
8	-0.07203750	
9	-0.09168579	
10	-0.11086924	
11	-0.12827680	
12	-0.14400814	
13	0.00151106	
14	-0.00646618	
15	-0.00818418	
16	-0.00981518	
17	-0.00524722	
18	-0.00523854	
19	-0.00796582	
20	-0.00552959	
21	-0.00574978	
22	-0.00776439	
23	-0.00520857	
24	-0.00520220	
25	-0.00780369	
26	-0.00482597	
27	-0.00466974	
28	-0.00802426	
29	-0.00441165	
30	-0.00402605	
31	-0.00767543	
32	-0.00424632	
33	-0.00373986	
34	-0.00726410	
35	-0.00433394	
36	-0.00326597	

BARRA	MOM. INICIO	MOM. FINAL	CORTANTE INICIO	CORTANTE FINAL
-------	-------------	------------	-----------------	----------------

1	-88.6749	242.527	140.156	122.699
2	-258.433	5.90562	124.419	135.227
3	3.4443	-56.4845	-18.2782	-27.9218
4	21.9705	-49.5183	-20.5957	-25.6043
5	25.8959	-44.9443	-21.3683	-24.8317
6	27.5446	-41.0078	-21.8761	-24.3239
7	27.3991	-37.7104	-22.1626	-24.0374
8	32.0789	-34.0257	-22.923	-23.277
9	16.9065	-13.5871	-12.9518	-12.3482
10	1.28942	-43.4755	-11.5268	-22.0733
11	-3.0625	-48.7531	-10.323	-23.277
12	1.74908	-43.0252	-11.6405	-21.9595
13	6.99762	-37.1705	-13.0284	-20.5716
14	12.9526	-30.2878	-14.6331	-18.9669
15	15.4475	-27.304	-15.3179	-18.2821
16	6.52212	-13.6917	-8.3038	-10.0942
17	15.9824	88.6748	-25.7843	26.6243
18	23.6828	15.9055	-9.89207	9.89207
19	12.8401	-5.90567	-1.7336	1.7336
20	-11.6694	-19.4267	10.7854	-9.94537
21	30.2636	31.5322	-20.6053	20.6053
22	28.3748	30.6354	-19.6701	19.6701
23	-9.90547	-10.3011	7.23054	-6.24054
24	23.7167	22.2972	-15.338	15.338
25	22.7995	20.3782	-14.3926	14.3926
26	-16.7642	-15.9905	11.5182	-10.3182
27	21.1703	19.4785	-13.5496	13.5496
28	22.5801	20.2257	-14.2686	14.2686
29	-12.0835	-10.7804	8.37129	-6.87129
30	13.8789	12.8399	-8.90625	8.90625
31	16.2047	14.5905	-10.2651	10.2651
32	-15.4908	-15.3155	11.3188	-9.21876
33	11.2935	10.8789	-7.3908	7.3908
34	14.8008	14.0831	-9.62795	9.62795
35	-16.9065	-16.5881	12.5149	-9.81486
36	7.06498	7.28471	-4.78323	4.78323
37	13.6917	12.5033	-8.73166	8.73166

CAPITULO 5: CONCLUSIONES

El estudio y la investigación del problema de análisis de interacción suelo-estructura, es relativamente reciente y los métodos numéricos de análisis son realmente nuevos y requieren de mediciones de campo para ser calibrados.

La solución numérica del análisis de interacción suelo-estructura, encierra un proceso de cálculo muy laborioso que obliga a la utilización de un computador electrónico como herramienta de cálculo.

Para atacar el problema desde un punto de vista práctico, es necesario conocer tres campos de la ingeniería: el análisis estructural, la mecánica de suelos y métodos numéricos empleando un computador electrónico. El programa de computador, motivo de este trabajo, pretende eliminar o cuando menos reducir lo más posible el conocimiento del tercero de estos campos de la ingeniería. En cuanto a los dos primeros el programa facilita al ingeniero los cálculos, pero es importante que el ingeniero no pierda por completo la noción del cálculo que está realizando.

El programa permite a un ingeniero realizar análisis de interacción suelo-estructura aunque éste no domine totalmente alguno de los campos que se mencionan en el párrafo anterior. Sin embargo el utilizar el programa como "caja negra", puede llevar a cometer errores en el planteamiento del problema o en la interpretación de los resultados, por lo que es recomendable que el ingeniero conozca, o al menos tenga idea, del análisis que está realizando con el programa de computador. He de insistir en que, tanto el programa, como el computador, deben utilizarse como herramientas de cálculo y no como sustitutos del ingeniero.

En cuanto al programa del computador se tiene:

El programa fue desarrollado en un equipo de cómputo muy pequeño, cuyas restricciones exigieron un uso óptimo de sus recursos, sin perder de vista la adaptabilidad a otros equipos. Se eligió este tamaño de equipo porque, debido a su bajo costo comparado con otros equipos, es muy accesible para cualquier empresa y realmente brinda un gran número de aplicaciones.

El programa se codificó en lenguaje BASIC, que es el lenguaje de programación más usual en los equipos pequeños.

Para utilizar el programa no se requiere ningún conocimiento de programación o computación. El programa se diseñó de forma que se mantiene un diálogo entre el usuario y el computador, en donde este último lleva al primero a lo largo del proceso de cálculo.

Emplea el lenguaje utilizado en el análisis estructural y en mecánica de suelos, lo cual facilita su operación.

El programa se desarrolló en un equipo RADIO SHACK MODELO II, pero considerando su posible adaptación a equipos de otras marcas y capacidades.

El programa tiene opciones que permiten al usuario verificar sus datos sin la impresión de resultados o cambiar ciertos datos y realizar el análisis nuevamente, con objeto de observar las variaciones en los resultados en uno y en otro caso.

El programa permite especificar sobrecargas rectangulares en cualquier punto de la superficie del terreno, lo que permite simular un análisis tridimensional de asentamientos del suelo, pudiéndose considerar el efecto de estructuras cercanas o de marcos contiguos de la misma estructura. El programa calcula totalmente el incremento de esfuerzo bajo el marco considerado, debido a las sobrecargas en la superficie del terreno.

Como resultados del análisis de interacción suelo-estructura, el programa proporciona los desplazamientos de la estructura, las reacciones del terreno y los elementos mecánicos en los extremos de las barras. Este último dato facilita el diseño de las piezas estructurales.

El programa no tiene restricciones en cuanto a unidades se refiere; el usuario deberá proporcionar los datos para el análisis en unidades consistentes y los resultados del mismo, se obtendrán en las mismas unidades.

Es recomendable para una buena y óptima utilización del programa, conocer a fondo el problema de interacción suelo-estructura y en particular el método de análisis que se utilizó en este trabajo.

APENDICES

APENDICE I

En este apéndice se detallan los campos en que está dividido un registro en cada uno de los cinco archivos que se manejan en el programa del computador, así como las variables que se les asignan:

ARCHIVO	LONG. DEL CAMPO	TIPO	VARIABLE	OBSERVACIONES
GENERAL	30	ALFA	NO*	Nombre de la estructura.
	2	ENT.	NC	Número de barras de ciment.
	2	ENT.	NB	Número total de barras.
	2	ENT.	NG	Número de g. de libertad.
	2	ENT.	NE	Número de estratos.
	2	ENT.	F1	F1 a F5 son banderas que indican que procesos del análisis se han ejecutado.
	2	ENT.	F2	
	2	ENT.	F3	
	2	ENT.	F4	
	2	ENT.	F5	
	4	REAL	P1	Variable auxiliar.
	4	REAL	P2	Variable auxiliar.

	56			
BARRAS	4	REAL	E	Módulo de elasticidad.
	4	REAL	I	Momento de inercia.
	4	REAL	L	Longitud de la barra.
	2	ENT.	G(0)	Estas variables representan los g. de lib. que se asocian a los extremos y centro de la barra.
	2	ENT.	G(1)	
	2	ENT.	G(2)	
	2	ENT.	G(3)	
	2	ENT.	G(4)	
	2	ENT.	T	Tipo de barra.
	4	REAL	b	Ancho (en barras de ciment)

	28			
SUELO	4	REAL	S(0)	Espesor del estrato.
	4	REAL	S(1)	Estas variables contienen los módulos de deformación del estrato, bajo los diferentes grados de libertad.
	4	REAL	S(2)	
	.	.	.	
	.	.	.	
	.	.	.	
4	REAL	S(6)		

	248			
CARGAS	4	REAL	BA	Num. de barra o de g. de l. o valor q de sobrecarga.
	2	ENT.	TI	Tipo (0, 1 o 2).
	4	REAL	WA	Valor de carga w o Q, o X1.
	4	REAL	WB	X2
	4	REAL	LA	Largo de sobrecarga (a).
	4	REAL	LB	Ancho de sobrecarga (c).

	22			Los datos en este registro dependen del tipo de carga.

RIGIDEZ

8	D.P.	R(1)
8	D.P.	R(2)
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.
8	D.P.	r(32)
<hr/>		
256		

En el arreglo R(1) a R(32) se encuentran elementos de la matriz de rig. de la estructura. Si el orden de dicha matriz fuera 17, en el 1er reg. de este archivo estaría el 1er renglón y parte del 2o; en el 2o reg estaría el resto del 2o renglón, el 3o y parte del 4o; y así sucesivamente.

(D.P. significa variable de doble precisión).

APENDICE II

En este apéndice se presenta en detalle los diagramas de flujo de los diferentes procesos del programa de Interacción Suelo-Estructura.

Se incluyen los procesos de captura de datos y los procesos del cálculo en sí del análisis.

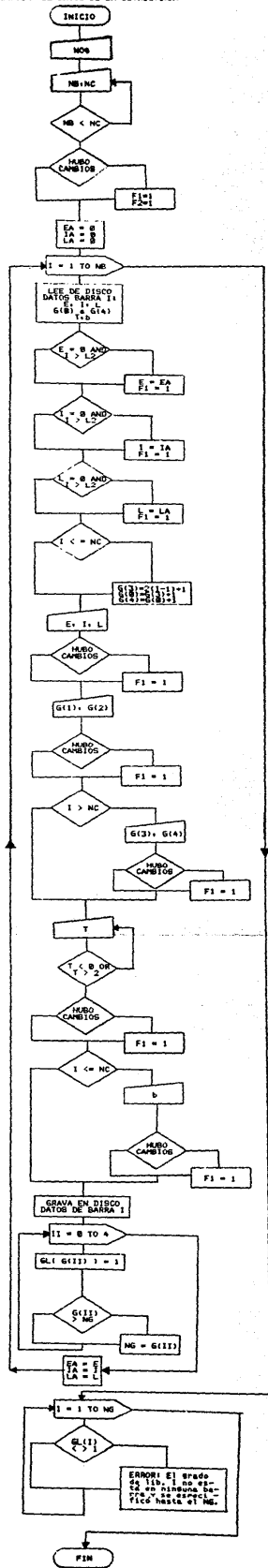
En los símbolos de decisión se considera que el flujo es hacia la derecha en caso de ser afirmativa la condición de la decisión y será hacia abajo o hacia la izquierda en caso contrario.

En los procesos de captura de datos la decisión "HUBO CAMBIOS" se refiere a si se efectuaron modificaciones en los datos en caso de que estos hayan sido previamente gravados. Este control se lleva dentro del programa por medio de las banderas F1 a F3.

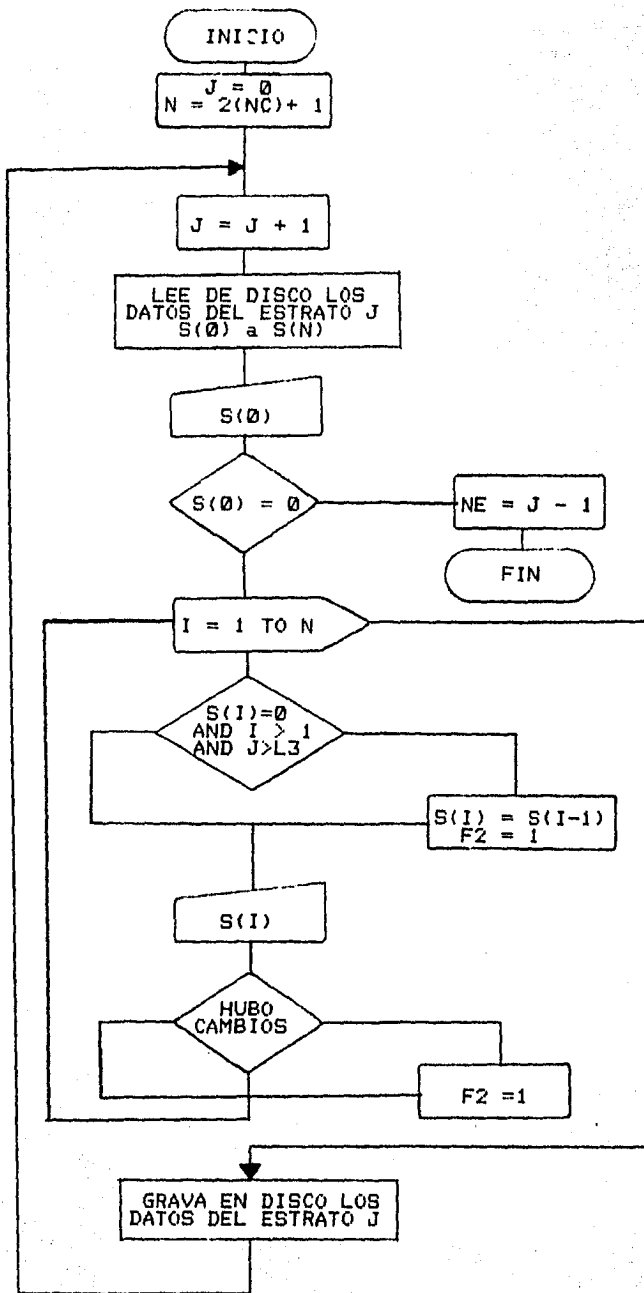
Además las banderas F1 a F5 llevan el control de los procesos del análisis que se han ejecutado, con objeto de no perder la secuencia que requiere el programa en su ejecución (primero captura de datos, en seguida análisis estructural o análisis de asentamientos, comparabilidad de desplazamientos e impresión de datos y resultados.

El significado de las variables más importantes en el programa se puede consultar en el apéndice I.

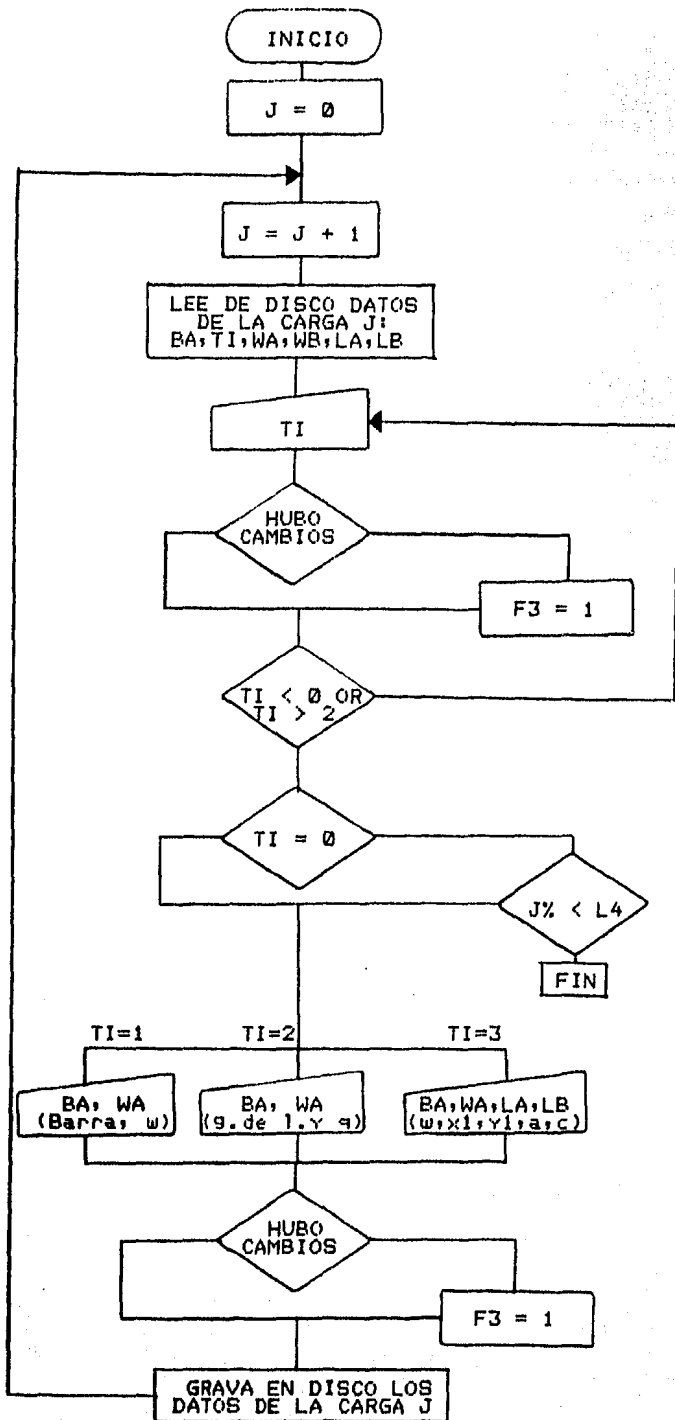
CAPTURA DE DATOS DE LA ESTRUCTURA:



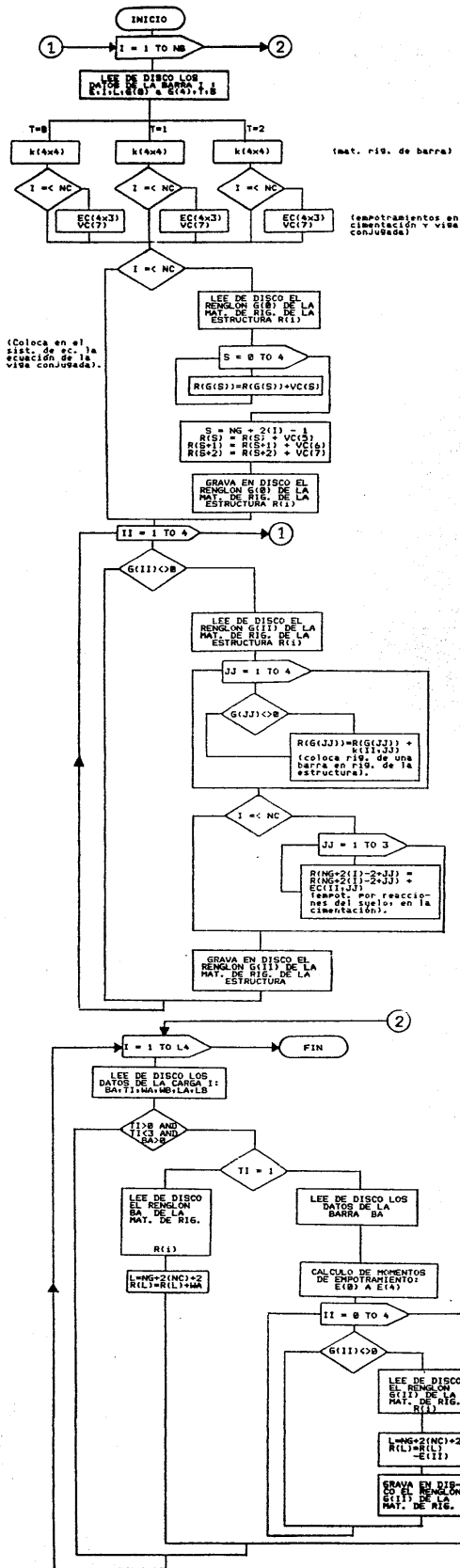
CAPTURA DE DATOS DEL SUELO:



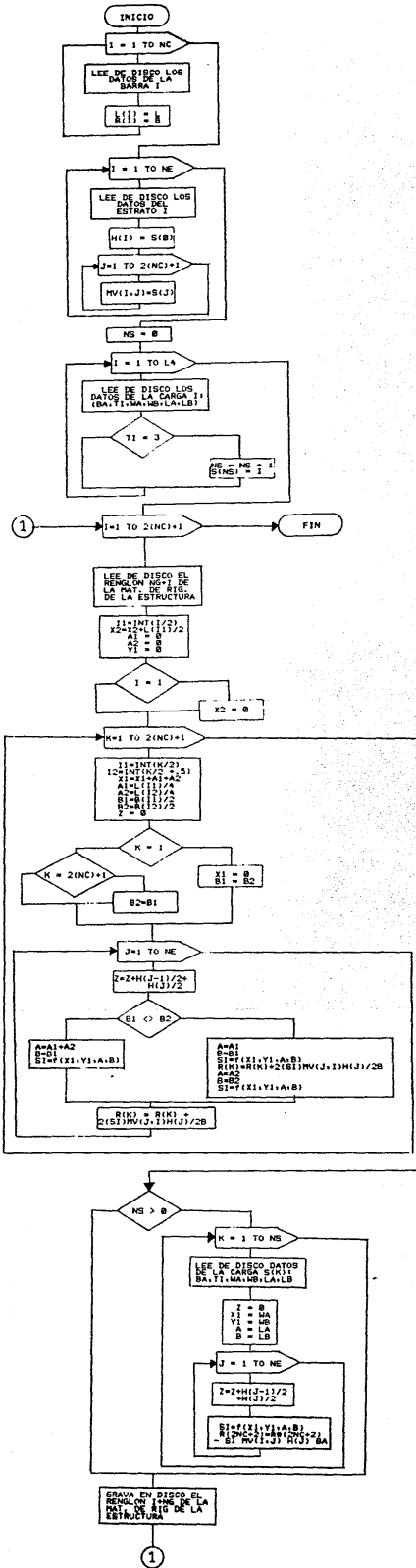
CAPTURA DATOS DE CARGAS



ANÁLISIS ESTRUCTURAL I

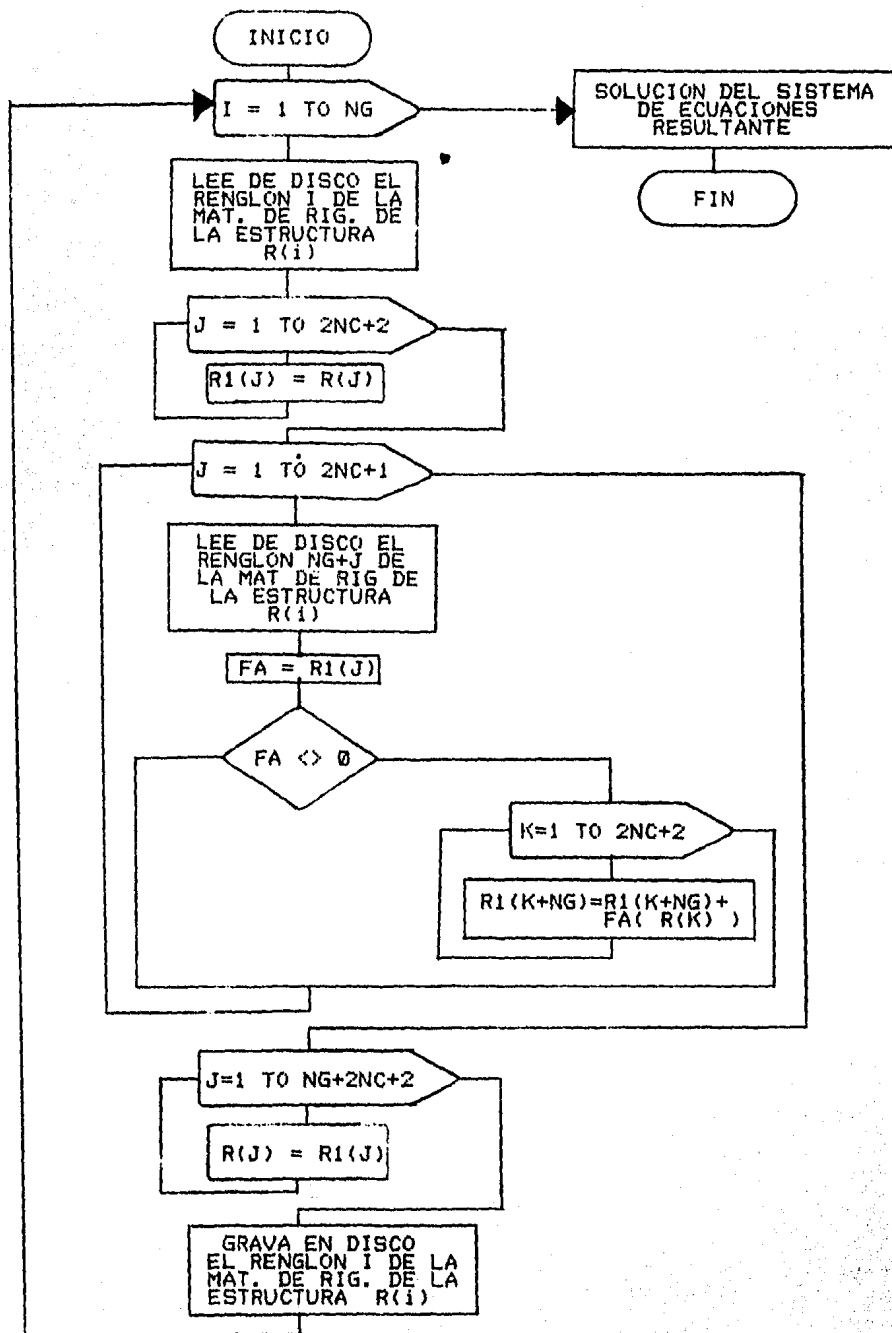


ANÁLISIS DE ABENTAMIENTOS DEL TERRENO:

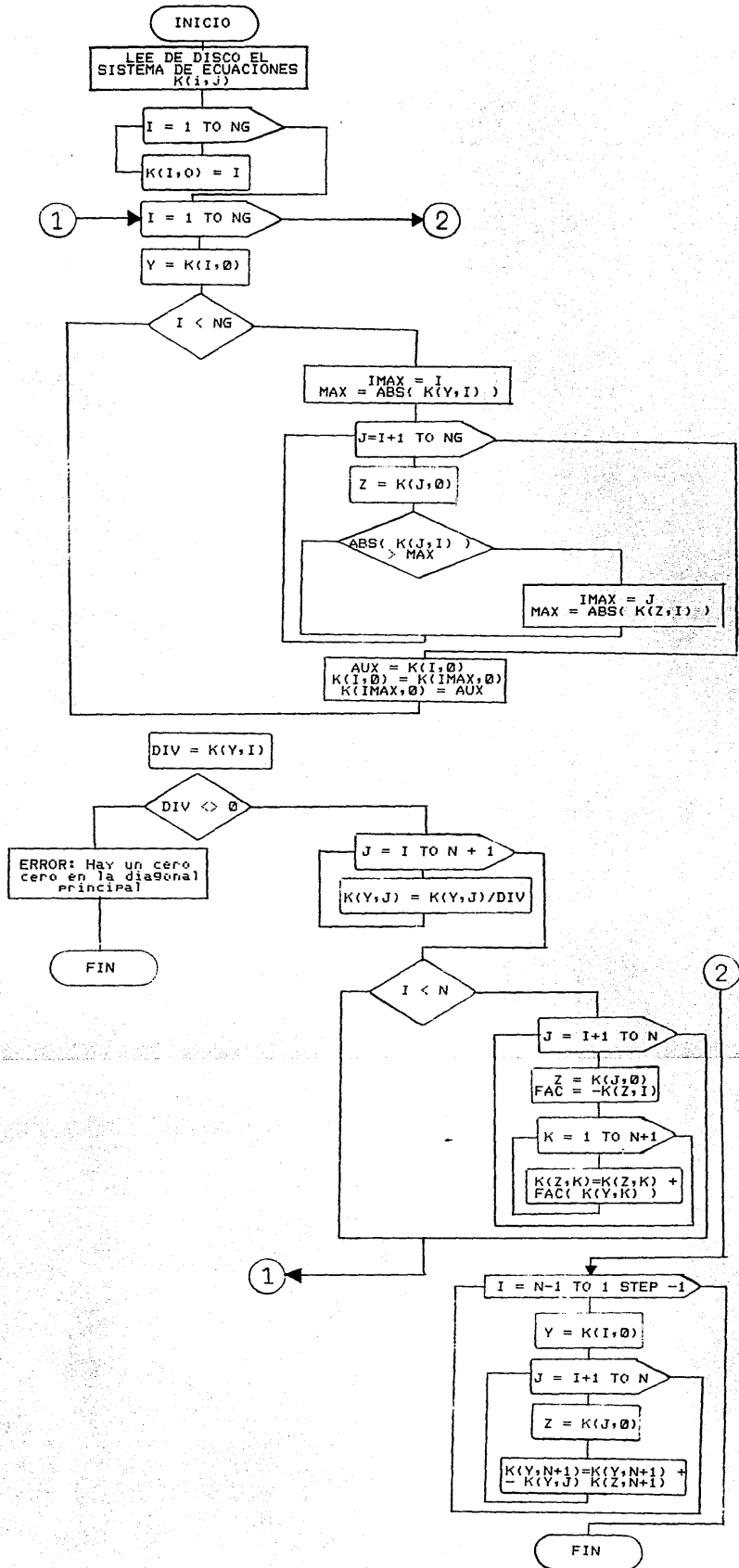


APENDICE III: LISTADO DEL PROGRAMA.

COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS:



SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES:



20 'ELABORADA POR JESUS DVAIC RAMOS

30 'EN COMPUTADORA RADIO-SHAC TRS-80 MÓDELO II

40 CLEAR1200:DEFINT N:DIM GX(4),S*(61),S(61),R*(32),R#(250),R1#(250),K(4,4),EC(4,3),E(4),VC(7),L(10),H(10),B(10),MV(10,10),D#(10),I1*(3),I2#(3),I3*(3),I4*(3),I5*(3),M(4),S0X(10):DEFFNCZ(X)=BTRINGS(X," ")GOSUB100

50 I1*(1)=" BARRA":I2*(1)="W":I1*(2)="9. de 1lb."I2*(2)="Q":I1*(3)=" W":I2*(3)="X":I3*(3)="Y":I4*(3)="a":I5*(3)="c"

60 GOSUB120:IFLOF(1)=0THENW=1GOTO10ELSEB=1GOSUB140:IFP1<0THENW=P1P1=0:GOSUB170GOTO110ELSECLB:PRINT@0,2B,"ESTRUCTURAS EN ESTE DISCO:"

70 FORR=1TOLOF(1):GOSUB140:PRINT@((R-1)MOD18+3,10),CHR\$(23)!"(":PRINTUSING"##":R:PRINT" " :NO#:IFRMOD18=0THENGOSUB1090

80 NEXT

90 PRINT@((R-2)MOD18+5,10),CHR\$(23)!"(?) CON CUAL QUIERE TRABAJAR":PRINTCHR\$(23):PRINT@((R-2)MOD18+5,12),":FL=-2:GOSUB590:W=VAL(IN#):IFW<0ORW>LOF(1)+1GOTO10ELSEGOSUB100:GOTO110

100 CLS:PRINT@10,31),CHR\$(26)!" ESPERE UN MOMENTO " :CHR\$(25):RETURN

110 WZ#=MID\$(STR\$(W),2):R=W:GOSUB140:CLOSE:GOSUB210:GOSUB280:GOSUB350:GOSUB420:IFNB=0GOTO790ELSEGOTO740

120 'ABRE ARCHIVO GENERAL

130 OPEN"R",1,"GENERAL:0",56:FIELD1,30ASG1*,2ASG2*,2ASG3*,2ASG4*,2ASG5*,2ASG6*,2ASG7*,2ASG8*,2ASG9*,2ASGA*,4ASGB*,4ASGC*:RETURN

140 'LEE DE GENERAL REGISTRO R

150 IFR<=LOF(1)ANDLOF(1)>0THENGET1,R:NO#=#G1#NC=CVI(G2#):NB=CVI(G3#):NG=CVI(G4#):NE=CVI(G5#):F1%=CVI(G6#):F2%=CVI(G7#):F3%=CVI(G8#):F4%=CVI(G9#):F5%=CVI(GA#):P1=CVS(GB#):P2=CVS(GC#):RETURN

160 NO#=STRING\$(30," ") :NC=0:NB=0:NE=0:NG=0:F1%=0:F2%=0:F3%=0:F4%=0:F5%=0:P1=0:P2=0:RETURN

170 'GRAVA GENERAL REGISTRO R

180 IFR>LOF(1)+1THENLSETG1#=BTRINGS\$(30," ") :LSETG2#=MKI\$(0):LSETG3#=MKI\$(0):LSETG4#=MKI\$(0):LSETG5#=MKI\$(0):LSETG6#=MKI\$(0):LSETG7#=MKI\$(0):LSETG8#=MKI\$(0):LSETG9#=MKI\$(0):LSETGA#=MKI\$(0):LSETGB#=MKI\$(0):LSETGC#=MKI\$(0):IFORS%=LOF(1)+1TOR-1:PUT1,S#:NEXT

190 LSETG1#=#NO#:LSETG2#=#NC#:LSETG3#=#NB#:LSETG4#=#NG#:LSETG5#=#NE#:LSETG6#=#F1%#:LSETG7#=#F2%#:LSETG8#=#F3%#:LSETG9#=#F4%#:LSETGA#=#F5%#:LSETGB#=#MKS\$(P1):LSETGC#=#MKS\$(P2):PUT1,R#:RETURN

200 (NG+1)*(2*NC+3)<3640THENF4%=2:F5%=2:R=VAL(WZ):GOSUB170:R1=1:GOSUB140:P1=VAL(WZ):GOSUB170:CLOSE:SYSTEM "BASIC ISE2 -F12"

210 'ABRE ARCHIVO BARRAS

220 OPEN"R",2,"BARRA+WZ#+":0",28:FIELD2,4ASB1*,4ASB2*,4ASB3*,2ASB4*,2ASB5*,2ASB6*,2ASB7*,2ASB8*,2ASB9*,4ASBA*:RETURN

230 'LEE DE BARRAS REG R

240 IFR<=LOF(2)ANDLOF(2)>0THENGET2,R:E=CVS(B1#):I=CVS(B2#):L=CVS(B3#):GX(0)=CVI(B4#):GX(1)=CVI(B5#):GX(2)=CVI(B6#):GX(3)=CVI(B7#):GX(4)=CVI(B8#):TX=CVI(B9#):B=CVS(BA#):RETURNLSEE=0:I=0:L=0:FOR#%=0TO4:GX(S#)=0:NEXT:T%=0:B=0:RETURN

250 'GRAVA EN BARRAS REG R

260 IFR>LOF(2)+1THENLSETB1#=MKS\$(0):LSETB2#=MKS\$(0):LSETB3#=MKS\$(0):LSETB4#=MKI\$(0):LSETB5#=MKI\$(0):LSETB6#=MKI\$(0):LSETB7#=MKI\$(0):LSETB8#=MKI\$(0):LSETB9#=MKI\$(0):LSETBA#=MKS\$(0):IFORS%=LOF(2)+1TOR-1:PUT2,S#:NEXT

270 LSETB1#=#MKS\$(E):LSETB2#=#MKS\$(I):LSETB3#=#MKS\$(L):LSETB4#=#MKI\$(GX(0)):LSETB5#=#MKI\$(GX(1)):LSETB6#=#MKI\$(GX(2)):LSETB7#=#MKI\$(GX(3)):LSETB8#=#MKI\$(GX(4)):LSETB9#=#MKI\$(TX):LSETBA#=#MKS\$(B):PUT2,R:RETURN

280 'ABRE ARCHIVO SUELO

290 OPEN "R",3,"SUELO"+WZ#+":0",248:FOR#%=61TO0STEP-1:FIELD3,4*(S#)AS1*,4AS*(S#):NEXT:RETURN

300 'LEE DE ARCHIVO SUELO REG R

310 IFR<=LOF(3)ANDLOF(3)>0THENGET3,R:FOR#%=0TO61:B(S#)=CVS(S*(S#)):NEXT:RETURNLSEFOR#%=0TO61:B(S#)=0:NEXT:RETURN

320 'GRAVA EN SUELO REG R

330 IFR>LOF(3)+1THENFOR#%=0TO61:LSETB*(S#)=MKS\$(0):NEXT:FOR#%=LOF(3)+1TOR-1:PUT3,S#:NEXT

340 FOR#%=0TO61:LSETB*(S#)=MKS\$(S(S#)):NEXT:PUT3,R:RETURN

350 'ABRE ARCHIVO CARGAS

360 OPEN"R",4,"CARGA"+WZ#+":0",22:FIELD4,4AS C1*,2AS C2*,4AS C3*,4AS C4*,4AS C5*,4AS C6*:RETURN

370 'LEE DE CARGAS REG R

380 IFR<=LOF(4)THENGET4,R:BA=CVS(C1#):TI%=CVI(C2#):WA=CVS(C3#):WB=CVS(C4#):LA=CVS(C5#):LB=CVS(C6#):RETURNLSEBA=0:TI%=0:WA=0:WB=0:LA=0:LB=0:RETURN

390 'GRAVA CARGAS REG R

400 IFR>LOF(4)+1THENLSETC1#=MKS\$(0):LSETC2#=MKI\$(0):LSETC3#=MKS\$(0):LSETC4#=MKS\$(0):LSETC5#=MKS\$(0):LSETC6#=MKS\$(0):IFORS%=LOF(4)+1TOR-1:PUT4,S#:NEXT

410 LSETC1#=#MKS\$(BA):LSETC2#=#MKI\$(TI%):LSETC3#=#MKS\$(WA):LSETC4#=#MKS\$(WB):LSETC5#=#MKS\$(LA):LSETC6#=#MKS\$(LB):PUT4,R:RETURN

420 'ABRE ARCHIVO RIGIDEZ

430 OPEN "R",5,"RIG+WZ#+":0",256:FOR#%=32TO1STEP-1:FIELD1,B*(B#-1)AS1*,BASR*(B#):NEXT:RETURN

440 'LEE DE RIGIDEZ REGISTRO REG

450 IFREG<=LOF(1)ANDLOF(1)>0THENGET1,REG:RETURNLSEFOR#%=1TO32:LSETR*(B#)=MKD\$(0):NEXT:PUT1,LOF(1)+1:RETURN

460 'LEE DE RIGIDEZ RENGLON R

470 J=1:N=NG+2*NC+1:SG#=#SH#=#:IFR>NGTHENS#=(N+1)*NG:SH#=#NG:N=2*NC+1

480 REG=FIX((BG#+(R-1-SH#)*(N+1))/32+1:PO=(BG#+(R-1-SH#)*(N+1)+J)MOD32:GOSUB440:IFPO=0THENPO=32

490 R#(J)=CVD(R#(PO)):J=J+1:IFJ>N+1THENRETURNLSEPO=PO+1:IFPO>32THENREG=REG+1:PO=1:GOSUB440


```

500 GOTO490
510 'GRAVA EN RIGIDEZ REGISTRO REG
520 IFREG>LOF(1)+1 THENFOR%:=1 TO32:LSETR*(SZ)=MKD*(0):NEXT:FOR%:=LOF(1)+1 TOREG-1:PUT1,SZ:NEXT
530 RETURN
540 'GRAVA RENGLON R EN RIGIDEZ
550 N=NG+2*NC+1:SGZ=0:SHZ=0:IFR>NG THENSGZ=(N+1)*NG:SHZ=NG:N=2*NC+1
560 REG=FIX((SGZ+(R-1-SHZ)*(N+1))/32)+1:PO=(SGZ+(R-1-SHZ)*(N+1)+1)MOD32:GOSUB510:GOSUB440:IFPO=0 THENPO=32
570 FORSSZ=1 TOH+1:LSETR*(PO)=MKD*(R*(SSZ)):PO=PO+1:IFPO>32 THENPUT1,REG:PO=1:REG=REG+1:GOSUB440
580 NEXT:PUT1,REG:RETURN
590 'INPUT
600 QB$="" :IN$="" :IFFL=0 THENFL=1
610 WL=ABS(FL)
620 W$=INKEY*:IFW<>" " THEN630 ELSE620
630 IFW$=CHR*(1) THENSYSTEM "SCREEN":GOTO620
640 IF W$=CHR*(30) THENQB$="1":GOTO 730
650 IFW$=CHR*(13) THEN730 ELSEIFW$=CHR*(8) THEN710 ELSEIFWL=0 THEN620
660 IFFL<0 THEN670 ELSE680
670 IF(W$<"-ORW$)"*9"ORW$="/) ANDW$<"E" THEN620 ELSE690
680 IFW$<"ORW$)"*2" THEN620
690 PRINTW$:IN$=IN$+W$
700 WL=WL-1:GOTO620
710 IFABS(FL)=WL THEN620
720 PRINTCHR*(8):CHR*(46):CHR*(28):WL=WL+1:IN$=LEFT$(IN$,LEN(IN$)-1):GOTO620
730 RETURN
740 'MENU
750 CLS:PRINT$(0,36),"M E N U":PRINT$(3,10),"(1) DATOS ESTRUCTURA":PRINT$(5,10),"(2) DATOS DEL SUELO":PRINT$(7,10),"(3) CARGAS EN LA
ESTRUCTURA Y SOBRECARGAS EN EL TERRENO":PRINT$(9,10),"(4) ANALISIS ESTRUCTURAL"
760 PRINT$(11,10),"(5) ANALISIS DE ASENTAMIENTOS DEL SUELO":PRINT$(13,10),"(6) COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS":PRINT$(15,10),"(7)
IMPRESION DE DATOS":PRINT$(17,10),"(8) IMPRESION DE RESULTADOS":PRINT$(19,10),"(9) FIN"
770 PRINT$(23,10),"(2) QUE OPCION QUIERE":PRINT$(23,11),:FL=-1:GOSUB590:IFIN$<"1"ORIN$)"*9" GOTO770 ELSEONVAL(IN$)GOTO790,1100,1200,1
530,1700,1910,2120,2350,700
780 CLS:PRINT$(10,35),"F I N":CLOSE:GOSUB120:R=VAL(WZ*):GOSUB170:CLOSE:END
790 'DATOS ESTRUCTURA
800 CLS:DIMGL$(250)
810 PRINT$(0,32),"DATOS DE ESTRUCTURA":PRINT$(8,0)," GRADOS DE LIBERTAD EN LAS BARRAS":TAB(50):" TIPOS DE BARRA":PRINT$(9,3)
,STRING$(35,"_"):TAB(53):STRING$(17,"_"):PRINT$(10,0),"1: GIRO AL INICIO DE LA BARRA":TAB(50):"0: DOBLEMENTE EMPOTRADA"
820 PRINT$(11,0),"2: GIRO AL FINAL DE LA BARRA":TAB(50):"1: ARTICULADA AL INICIO":PRINT$(13,0),"3: DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL AL INI
CIO":TAB(50):"2: ARTICULADA AL FINAL":PRINT$(13,0),"4: DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL AL FINAL"
830 PRINT$(14,0),"5: DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL AL CENTRO"
840 PRINT$(16,0),SPC(48):"GRADOS DE LIBERTAD":PRINT$(17,0)," # " :SPC(6):"E":SPC(15):"I":SPC(12):"L 1 2 3 4 5 T
A.CIM."
850 PRINT$(2,7),CHR*(23),"NOMBRE":IN$:PRINT$(3,7),CHR*(23),"# DE BARRAS DE CIMENTACION":NC:PRINT$(4,7),CHR*(23),"# TOTAL DE BARRA
S":NB
860 PRINT$(2,24),:FL=30:GOSUB590:IFQB$="1" GOTO860 ELSEIFIN$<" " THENNO$=IN$:PRINT$(2,24),NO$:CHR*(23)
870 PRINT$(3,44),:FL=-2:GOSUB590:IFQB$="1" GOTO860 ELSEIFIN$<" " THENNC=VAL(IN$):F1%=1:F2%=1:PRINT$(3,43),NC:CHR*(23)
880 IFNC<10 ORNC>30 GOTO870
890 PRINT$(4,35),:FL=-3:GOSUB590:IFQB$="1" GOTO870 ELSEIFIN$<" " ANDVAL(IN$)<>NB THENNB=VAL(IN$):F1%=1:F2%=1:PRINT$(4,34),NB:CHR*(23)
900 IFNB<NG GOTO890
910 NG=0:EA=0:IA=0:LA=0:FORI%=1 TOHB:R=I%:GOSUB230:IFE=0 ANDR>LOF(2) THENE=EA:F1%=1
920 IFI=0 ANDR>LOF(2) THENI=IA:F1%=1
930 IFL=0 ANDR>LOF(2) THENL=LA:F1%=1
940 RZ%=(I%-1)MOD4+19:IFI%<NCTHENG%(3)=(I%-1)*2+1:GZ(0)=G%(3)+1:GZ(4)=G%(0)+1
950 PRINT$(RZ%,0),I%:TAB(3):E:TAB(19):I%:TAB(35):I:FORI%=1 TO4:PRINTTAB(43+4*I,I):GZ(I):NEXT:PRINTTAB(63):GZ(0):TAB(68):I%:TAB(73)
)IB
960 PRINT$(RZ%,4),:FL=-15:GOSUB590:IFQB$="1" GOTO1050 ELSEIFIN$<" " ANDVAL(IN$)<>ETHENE=VAL(IN$):F1%=1:PRINT$(RZ%,3),FNCZ*(9):PRINT$(
RZ%,3),E
970 PRINT$(RZ%,20),:FL=-15:GOSUB590:IFQB$="1" GOTO960 ELSEIFIN$<" " ANDVAL(IN$)<>I THENI=VAL(IN$):F1%=1:PRINT$(RZ%,19),FNCZ*(9):PRINT$(
RZ%,19),I
980 PRINT$(RZ%,36),:FL=-11:GOSUB590:IFQB$="1" GOTO970 ELSEIFIN$<" " ANDVAL(IN$)<>L THENL=VAL(IN$):F1%=1:PRINT$(RZ%,35),FNCZ*(9):PRINT$(
RZ%,35),L

```

```

990 PRINT@ (RZ%,4B),:;FL=-3:GOSUB590:IFQB#="1" *GOTO90ELSEIFIN#<>"ANDVAL(IN#)<>GX(1)THENGX(1)=VAL(IN#):F1%=1:PRINT@ (RZ%,47):FNCZ#(4):
1:PRINT@ (RZ%,47):GX(1)
1000 PRINT@ (RZ%,52),:;FL=-3:GOSUB590:IFQB#="1" *GOTO990ELSEIFIN#<>"ANDVAL(IN#)<>GX(2)THENGX(2)=VAL(IN#):F1%=1:PRINT@ (RZ%,51):FNCZ#(4)
1:PRINT@ (RZ%,51):GX(2)
1010 IF I%>NCTHENPRINT@ (RZ%,56),:;FL=-3:GOSUB590:IFQB#="1" *GOTO1000ELSEIFIN#<>"ANDVAL(IN#)<>GX(3)THENGX(3)=VAL(IN#):F1%=1:PRINT@ (RZ%,
55):FNCZ#(4):PRINT@ (RZ%,55):GX(3)
1020 IF I%>NCTHENPRINT@ (RZ%,60),:;FL=-3:GOSUB590:IFQB#="1" *GOTO1010ELSEIFIN#<>"ANDVAL(IN#)<>GX(4)THENGX(4)=VAL(IN#):F1%=1:PRINT@ (RZ%,
59):FNCZ#(4):PRINT@ (RZ%,59):GX(4)
1030 PRINT@ (RZ%,69),:;FL=-1:GOSUB590:IFQB#="1" THENIF I%>NCGOTO1020ELSEGOTO1000ELSEIFIN#<>"ANDVAL(IN#)<>TXTHENTX=VAL(IN#):F1%=1:PRINT
@ (RZ%,68):FNCZ#(2):PRINT@ (RZ%,68),TX:IF TX<@ORTX>260T01030
1040 IF I%<NCTHENPRINT@ (RZ%,74),:;FL=-4:GOSUB590:IFQB#="1" *GOTO1030ELSEIFIN#<>"ANDVAL(IN#)<>BTHENB=VAL(IN#):F1%=1:PRINT@ (RZ%,73):FNC
Z#(6):PRINT@ (RZ%,73):B
1050 IFQB#="1" THENI% =I%-2:IF I%<@THENI% =NB:NEXT:GOTO890
1060 IFQB#<>"1" THENR =I%:GOSUB290:FOR I1%=@T04:GLX(GX(I1%))=1:IFGX(I1%)>NGTHENNG=GX(I1%):NEXTELENGEXT
1070 EA=E:IA=I:LA=L
1080 NEXT I:CLS:FOR I1%=1TONG:IFGLX(I1%)=0THENPRINT "ERROR: EL GRADO DE LIBERTAD" I1%: NO ESTA EN NINGUNA BARRA Y ESTA ESPECIFICADO HASTA
EL"ING:GOSUB1090:CLB:NEXT:ERASEGLX:GOTO740ELSENEXT:ERASEGLX:GOTO740
1090 PRINT@ (23,0),CHR#(23):"PARA CONTINUAR PREBIONE " :CHR#(34):"ENTER" :CHR#(34):;FL=1:GOSUB590:PRINT@ (23,0),CHR#(23):RETURN
1100 "DATOS DEL SUELO
1110 J%=@N:N=2*NC+1:CLS:PRINT@ (0,32),"DATOS DEL SUELO"
1120 J% =J%-1:R =J%:GOSUB300:PRINT@ (2,10),CHR#(24):"ESTRATO" :J%:PRINT@ (4,18),"MODULO DE DEFORMACION BAJO EL GRADO DE LIBERTAD:"
1130 PRINT@ (2,30),"ESPESOR" :CHR#(23):S(0):PRINT@ (2,39),:;FL=-10:GOSUB590:IFQB#="1" THENJ% =J%-2:IFJ%<@THENJ% =0:GOTO1120ELSEGOTO1120EL
SEIFIN#<>"ANDVAL(IN#)<>S(0)THENS(0)=VAL(IN#):F2%=1:PRINT@ (2,38),S(0):CHR#(23)
1140 IFB(0)=0GOTO1190
1150 FOR I1%=1TONG:RZ% =10:IF I1%>15THENRZ% =40
1160 IFB(I1%)=0ANDJ1%ANDJ2%<LOF(3)THENS(I1%)=S(I1%-1):F2%=1
1170 PRINT@ (11%-1)MOD15+6,RZ%),I1%:" :TAB(RZ%+4):S(I1%):PRINT@ (11%-1)MOD15+6,RZ%+5),:;FL=-10:GOSUB590:IFQB#="1" THENI% =I%-2:IF I%<@THE
NI% =0:GOTO1100ELSEGOTO1100ELSEIFIN#<>"ANDVAL(IN#)<>S(I1%)THENS(I1%)=VAL(IN#):F2%=1
1180 NEXT I1%:R =J%:GOSUB320:GOTO1120
1190 NE=J%-1:GOTO740
1200 "CARGAS EN LA ESTRUCTURA
1210 CLS:PRINT@ (0,29),"CARGAS EN LA ESTRUCTURA" :J% =0:PRINT@ (3,5),"TIPO 1: CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA EN UNA BARRA." :PRINT@ (4,5),
"TIPO 2: CARGA CONCENTRADA A 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 J% =J%+1:R =J%:GOSUB370:RZ% = (J%-1)MOD15+7:PRINT@ (RZ%,0),"TIPO" :TI%:CHR#(23):" :IFTI%<@THENPRINT@ (RZ%,7),I1%(TI%):" :I1%:PRINT@ (RZ%,
20),I2%(TI%):" :I2%:PRINT@ (RZ%,20),I3%(TI%):" :I3%:PRINT@ (RZ%,52),I4%(TI%):" :I4%:PRINT@ (RZ%,63),I5%(TI%):" :I5%:PRINT@ (RZ%,63),I5%(TI%):" :I5%
LB
1240 PRINT@ (RZ%,5),:;FL=-1:GOSUB590:IFQB#="1" THENJ% =J%-2:IFJ%<@THENJ% =0:GOTO1230ELSEGOTO1230ELSEIFIN#<>"ANDVAL(IN#)<>TXTHENTX=VAL
(IN#):F3%=1:IFTI%<@ORTX>JGOTO1240
1250 IF TI%>@THENIFJ%<LOF(4)GOTO1240ELSEGOTO740
1260 PRINT@ (RZ%,7),CHR#(23):I1%(TI%):" :I1%:PRINT@ (RZ%,20),I2%(TI%):" :I2%:PRINT@ (RZ%,20),I3%(TI%):" :I3%:PRINT@ (RZ%,52),I4%(TI%):" :I4%:PRINT@ (RZ%,63),I5%(TI%):" :I5%:PRINT@ (RZ%,63),I5%(TI%):" :I5%:PRINT@ (RZ%,63),I5%(TI%):" :I5%
1270 PRINT@ (RZ%,19),:;FL=-9:GOSUB590:IFQB#="1" *GOTO1240ELSEIFIN#<>"ANDVAL(IN#)<>BATHENBA=VAL(IN#):F3%=1
1280 IF TI% =1ANDBA>NBORTI% =2ANDBA>NGGOTO1270
1290 PRINT@ (RZ%,31),:;FL=-9:GOSUB590:IFQB#="1" *GOTO1270ELSEIFIN#<>"ANDVAL(IN#)<>WATHENWA=VAL(IN#):F3%=1
1300 IF TI% =3THENPRINT@ (RZ%,43),:;FL=-9:GOSUB590:IFQB#="1" *GOTO1290ELSEIFIN#<>"ANDVAL(IN#)<>WBTHENWB=VAL(IN#):F3%=1
1310 IF TI% =3THENPRINT@ (RZ%,55),:;FL=-9:GOSUB590:IFQB#="1" *GOTO1300ELSEIFIN#<>"ANDVAL(IN#)<>LATHENLA=VAL(IN#):F3%=1
1320 IF TI% =3THENPRINT@ (RZ%,66),:;FL=-9:GOSUB590:IFQB#="1" *GOTO1310ELSEIFIN#<>"ANDVAL(IN#)<>LBTHENLB=VAL(IN#):F3%=1
1330 R =J%:GOSUB390:GOTO1230
1340 "RIG.: EMPOT EN CIMENT Y VIGA CONJ. BARRA DOBLEMENTE EMPOTRADA (TX=0)
1350 ERASEK:EC:VC:DIMK(4,4),EC(4,3),VC(7):K(1,1)=4*E*I/L:K(1,2)=2*E*I/L:K(1,3)=-K(1,2):*3/L:K(1,4)=-K(1,3):K(2,1)=-K(1,3):K(2,2)=-K(1,3):K(2,3)=-K(1,3):K(2,4)=-K(1,3):K(3,1)=K(1,3):K(3,2)=K(1,3):K(3,3)=2*K(1,4)/L:K(3,4)=-K(1,3)
1360 K(4,1)=K(1,4):K(4,2)=K(2,4):K(4,3)=K(3,4):K(4,4)=K(1,3):IF I%>NCTHENRETURN
1370 EC(1,1)=-67/3072*L*IEC(1,1):=-1/192*L*IEC(1,1):=-1/192*L*IEC(2,1)=-EC(1,1):IEC(2,1)=-EC(1,1):IEC(2,2)=-EC(1,1):IEC(2,3)=-EC(1,1):IEC(3,1)=121/51
2*L*IEC(3,2)=L/4:EC(3,3)=7/512*L*IEC(4,1)=-EC(3,3):IEC(4,2)=-EC(3,2)
1380 EC(4,3)=-EC(3,3):VC(0)=16*E*I/L/L:VC(1)=E*I/L:VC(2)=-VC(1):VC(3)=-VC(0)/2:VC(4)=VC(3):VC(5)=1/256*L*L:VC(6)=1/384*L*L:VC(7)=VC(
5):RETURN
1390 "RIG.: EMPOT EN CIMENT Y VIGA CONJ. BARRA ARTICULADA IZQUIERDA (TX=1)
1400 ERASEK:EC:VC:DIMK(4,4),EC(4,3),VC(7):K(2,2)=3*E*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(2,3):K(3,4)=-K(3,2)/L:K(4,3)=-K(3,
3):K(4,4)=-K(2,4):K(4,3)=K(3,4):K(4,4)=K(3,3):IF I%>NCTHENRETURN

```

```

1410 EC(2,1)=31/2048*L*L:EC(2,2)=11/128*L*L:EC(2,3)=49/2048*L*L:EC(3,1)=479/2048*L:EC(3,2)=43/128*L:EC(3,3)=113/2048*L:EC(4,1)=33/20
48*L:EC(4,2)=21/128*L:EC(4,3)=399/2048*L
1420 VC(0)=16*E*I/L/L:VC(1)=0:VC(2)=-3*E*I/L:VC(3)=-5*E*I/L/L:VC(4)=-11*E*I/L/L:VC(5)=41/6144*L*L:VC(6)=L*L/16:VC(7)=37/6144*L*L:RET
URN
1430 'RIG., EMPOT EN CIMENT Y VIGA CONJ. BARRA ARTICULADA DERECHA (T%=2)
1440 ERASEK:EC,VC:DIMK(4,4):EC(4,3):VC(7):K(1,1)=3*E*I/L:K(1,3)=-K(1,1)/L:K(1,4)=-K(1,3):K(3,1)=K(1,3):K(3,3)=K(1,1)/L/L:K(3,4)=-K(3
,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*L:EC(1,2)=-11/128*L*L:EC(1,3)=-31/2048*L*L:EC(3,1)=399/2048*L:EC(3,2)=21/128*L:EC(3,3)=33/2048*L:EC(4,1)=113
/2048*L:EC(4,2)=43/128*L:EC(4,3)=479/2048*L
1460 VC(0)=16*E*I/L/L:VC(1)=3*E*I/L:VC(2)=0:VC(3)=-11*E*I/L/L:VC(4)=-5*E*I/L/L:VC(5)=37/6144*L*L:VC(6)=L*L/16:VC(7)=41/6144*L*L:RETU
RN
1470 'EMPOTRAMIENTOS POR CARGA UNIFORME T%=0
1480 ERASEE:DI ME(4):E(1)=WA*L*L/12:E(2)=-E(1):E(3)=-WA*L/2:E(4)=E(3):IFIX>NCTHENRETURN ELSEE(0)=-WA*L*L/24:RETURN
1490 'EMPOTRAMIENTOS POR CARGA UNIFORME T%=1
1500 ERASEE:DI ME(4):E(2)=-WA*L*L/8:E(3)=-3*WA*L/8:E(4)=-5*WA*L/8:IFIX>NCTHENRETURN ELSEE(0)=-WA*L*L/12:RETURN
1510 'EMPOTRAMIENTOS POR CARGA UNIFORME T%=2
1520 ERASEE:DI ME(4):E(1)=WA*L*L/8:E(3)=-5*WA*L/8:E(4)=-3*WA*L/8:IFIX>NCTHENRETURN ELSEE(0)=-WA*L*L/12:RETURN
1530 'ANALISIS ESTRUCTURAL
1540 CLS:PRINT@ (0,30),"ANALISIS ESTRUCTURAL":IFABS(F4%)>1ANDF1%=2ANDF3%=2THENPRINT@ (10,20),"YA SE CORRIO EL ANALISIS ESTRUCTURAL":I
FL=1:GOSUB590:GOTO740ELSEPRINT@ (10,25),"ENSAMBLANDO MATRIZ DE RIGIDECES":PRINT@ (11,35),"BARRA:"
1550 IFF1%=0THENPRINT@ (10,24),CHR#(23),"ERROR: FALTAN DATOS DE ESTRUCTURA":FL=1:GOSUB590:GOTO740
1560 IFF3%=0THENPRINT@ (10,15),CHR#(23),"ERROR: FALTA ESPECIFICAR CARGAS EN LA ESTRUCTURA":FL=1:GOSUB590:GOTO740
1570 IFABS(F4%)>0THENERASER#:DIMR#(250):FORR=1TONG:GOSUB540:NEXT
1580 FORI%=1TONG:PRINT@ (11,40),I%,CHR#(23):R=I%:GOSUB230:ONTX%+1:GOSUB1340,1390,1430
1590 IFI%<NCTHENR=GX(0):GOSUB460:FOR#%QTO4:R#(GX(S%))=R#(GX(S%))+CDBL(VC(S%)):NEXTI%:SX=NG+2*I%-1:R#(S%)=R#(S%)+CDBL(VC(5)):R#(S%+1)
=R#(S%+1)+CDBL(VC(6)):R#(S%+2)=R#(S%+2)+CDBL(VC(7)):GOSUB540:GRAVA RENGLON GX(0)(VIGA CONJUGADA)
1600 FORI%=1TO4:IFGX(I%)=0GOTO1640ELSER=GX(I%):GOSUB460:LEE RENGLON GX(I%) DE RIGIDECES
1610 FORJ%=1TO4:IFGX(J%)>0THENR#(GX(J%))=R#(GX(J%))+CDBL(K(I%,J%)):NEXTELSENEXT'ENSAMBLA RIGIDEZ DE BARRA EN MATRIZ DE RIGIDE
CES DE TODA LA ESTRUCTURA
1620 IFI%<NCTHENFORJ%=1TO3:R#(NG+2*I%-2+J%)=R#(NG+2*I%-2+J%)+CDBL(EC(I%,J%)):NEXT'ENSAMBLA EMPOTRAMIENTOS EN CIMENTACION
1630 GOSUB540:GRAVA RENGLONES GX(I%) EN MATRIZ DE RIGIDECES
1640 NEXTI%:NEXTI%:PRINT@ (11,35),"CARGA:"*PRINT@ (10,24),CHR#(23):'ENSAMBLANDO VECTOR DE CARGAS"
1650 FORI%=1TOLOF(4):PRINT@ (11,40),I%,CHR#(23):R=I%:GOSUB370:IFTIX<=0ORTIX>20RBA<=0ORWA=0GOTO1680ELSEIFTIX=1THENR=BA:GOSUB230:ONTX%+1
GOSUB1470,1490,1510ELSER=BA:GOSUB460:R#(NG+2*NC+2)=R#(NG+2*NC+2)+WA:GOSUB540:GOTO1680
1660 JJ%=1:IFBA<NCTHENJJ%=0
1670 FORI%=JJ%TO4:IFGX(I%)>0THENR=GX(I%):GOSUB460:R#(NG+2*NC+2)=R#(NG+2*NC+2)+CDBL(E(I%)):GOSUB540:NEXTI%ELSENEXTI%
1680 NEXTI%
1690 F1%=2:F2%=2:F4%=1:GOTO740
1700 'SIGMA f(X,Y,Z)
1710 M=X/2:W=Y/2:SIGMA=ATN(2*M*W*SQR(M*M+W*W+1))/(M*M+W*W+1-M*M*W*W):IFSIGMA<0THENSIGMA=SIGMA+3.141592654
1720 SIGMA=SIGMA+(M*M+W*W+2)*2*M*W*SQR(M*M+W*W+1)/(M*M+W*W+1)/(M*M+W*W+1+M*M*W*W):SIGMA=SIGMA/4/3.141592654:RETURN
1730 'SIGMA2 f(X1,Y1,A,B,X2)
1740 IFX2<X1THENX=X1+A-X2:Y=ABS(Y1)+B:GOSUB1700:SP=SI:Y=ABS(Y1):GOSUB1700:SP=SP-SI:X=X1-X2:GOSUB1700:SP=SP+SI:Y=ABS(Y1)+B:GOSUB1700:
SP=SP-SI:GOTO1770
1750 IFX2>(X1+A)THENX=X2-X1-A:Y=ABS(Y1):GOSUB1700:SP=SI:Y=Y+B:GOSUB1700:SP=SP-SI:X=X2-X1:GOSUB1700:SP=SP+SI:Y=ABS(Y1):GOSUB1700:SP=SP+
SI:GOTO1770
1760 X=X1+A-X2:Y=ABS(Y1)+B:GOSUB1700:SP=SI:Y=ABS(Y1):GOSUB1700:SP=SP-SI:X=X2-X1:GOSUB1700:SP=SP-SI:Y=Y+B:GOSUB1700:SP=SP+SI
1770 SI=SP:RETURN
1780 'ANALISIS DE ASENTAMIENTOS
1790 CLS:PRINT@ (0,27),"ANALISIS DE ASENTAMIENTOS":PRINT@ (10,27),"BAJO EL GRADO DE LIBERTAD:"
1800 IFF5%>1ANDF2%=2ANDF3%=2THENPRINT@ (10,23),CHR#(23):"YA SE CORRIO EL ANALISIS DEL SUELO":FL=1:GOSUB590:GOTO740
1810 IFF2%=0THENPRINT@ (10,25),CHR#(23):"ERROR: FALTAN DATOS DEL SUELO":FL=1:GOSUB590:GOTO740
1820 ERASEL,B:DIML(NC+1),B(NC+1):FORI%=1TONG:R=I%:GOSUB230:IL(I%)=L*IL(I%)+B*IL(2)=L+L:NEXT
1830 IFF3%>0THENERASER#:DIMR#(250):FORR=NG+1TONG+2*NC+1:GOSUB540:NEXT
1840 ERASEH,MV,BO%DIMH(NE):MV(NE,2*NC+1),SO%(LOF(4)):FORI%=1TONG:R=I%:GOSUB300:H(I%)=B(0):FORJ%=1TO2*NC+1:MV(I%,J%)=B(J%):NEXTJ%:NE
XTI%:NS=0:IFORIX=1TOLOF(4):I=I%:GOSUB370:IFTIX=3THENNS=NS+1:SOX(NS)=I%:NEXTELSENEXT
1850 FORI%=1TO2*NC+1:PRINT@ (10,33),I%,R=NG+I%:GOSUB460:II=FIX(I%/2):X2=X2+L(I1)/2:A1=0:A2=0:Y1=0:IFI%>1THENX2=0
1860 FORK%=1TO2*NC+1:I1=FIX(K%/2):I2=FIX(K%/2+.5):X1=X1+A1+A2:A1=L(I1)/4:A2=L(I2)/4:B1=B(I1)/2:B2=B(I2)/2:I2=0:IFK%=1THENX1=0:B1=B2EL
SEIFK%=2*NC+1THENB2=B1
1870 FORJ%=1TONG:I2=Z+H(JX-1)/2+H(JZ)/2:IFB1<B2THENA=A1+B=B1:GOSUB1730:R#(K%)=R#(K%)+2*SIGMA*MV(JX,I%)*H(JZ)/(2*B):A=A2+B=B2:GOSUB17

```

```

30:R#(K%)-R#(K%)+2*SI#MV(J%,I%)*H(J%)/(2*B) ELSEA=A1+A2:B=B1:GOSUB1730:R#(K%)-R#(K%)+2*SI#MV(J%,I%)*H(J%)/(2*B)
1880 NEXTJ%:NEXTK%:IFNS>0THENFORK%=1TONS:R=SO%(K%):GOSUB370:IFBA<>0THENZ=0:XI=WA:YI=WB:A=LA:B=LB:FORJ%=1TONE:Z=Z+H(J%-1)/2+H(J%)/2:G
OSUB1730:R#(2*NC+2)=R#(2*NC+2)-SI#MV(J%,I%)*H(J%)*BA:NEXTJ%:NEXTK%ELSENEXTK%
1890 R=NG+I%:GOSUB540:NEXTI%
1900 F5%=1:F2%=2:GOTO740
1910 'COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS
1920 CLS:PRINT@ (0,24),"COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS":N1=2*NC+1:NN=NG:PRINT@ (3,25),"SUSTITUCION: DE:";ING
1930 IFABS(F4%)=2ANDABS(F5%)=2ANDF1%=2ANDF2%=2ANDF3%=2THENPRINT@ (10,15),"YA SE CORRIO LA COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS":FL=1:GO
SUB590:GOTO740
1940 IFF4%=0THENPRINT@ (10,20),"ERROR: FALTA CORRER ANALISIS ESTRUCTURAL":IFL=1:GOSUB590:GOTO740
1950 IFF5%=0THENPRINT@ (10,19),"ERROR: FALTA CORRER ANALISIS DEL SUELO":IFL=1:GOSUB590:GOTO740
1960 IFF1%=1THENPRINT@ (10,2),"SE CAMBIARON DATOS DE LA ESTRUCTURA: HAY QUE CORRER EL ANALISIS ESTRUCTURAL":IFL=1:GOSUB590:GOTO740
1970 IFF2%=1THENPRINT@ (10,7),"SE CAMBIARON DATOS DEL SUELO: HAY QUE CORRER EL ANALISIS DEL SUELO":IFL=1:GOSUB590:GOTO740
1980 IFF3%=1THENPRINT@ (10,0),"SE CAMBIO LA ESPECIFICACION DE CARGAS: HAY QUE CORRER EL ANALISIS ESTRUCTURAL":IFL=1:GOSUB590:GOTO740
1990 FORI%=1TONG:R=I%:GOSUB460:PRINT@ (3,36),I%:FORJ%=1TONG+2*NC+2:R1#(J%)=R#(J%):NEXTJ%:FORJ%=1T02*NC+1:R=NG+J%:GOSUB460:FA#R1#(J%)
:IFFA#<>0THENFORK%=1T02*NC+2:R1#(NG+K%)=R1#(NG+K%)+FA#R#(K%):NEXTK%
2000 NEXTJ%:FORJ%=1TONG+2*NC+2:R#(J%)=R1#(J%):NEXTJ%:R=I%:GOSUB540:NEXTI%
2010 'GAUS JORDAN A PARTIR DE LA COLUMNA N1
2020 IF ( (NG+1)*(2*NC+3)<3640THENF4%=2:F5%=2:CLOSE:GOSUB120:R=VAL (WZ#):GOSUB170:R=1:GOSUB140:P1=VAL (WZ#):GOSUB170:CLOSE:SYSTEM "BASI
C ISE2 -F:2"
2030 CLS:PRINT@ (0,24),"SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES":PRINT@ (3,25),"COLUMNA: DE:";INN
2040 FORI%=1TONN:PRINT@ (3,33),I%:R=I%:GOSUB460:DIV#R#(I%+N1):IFDIV#<0THENPRINT@ (5,10),"HAY UN CERO EN LA DIAGONAL PRINCIPAL EN EL R
ENGLON":I%:GOSUB2090:IFFL=1THENI%=NN:NEXT:CS=INPUT#(1):GOTO740ELSEI%=I%-1:NEXTI%
2050 FORJ%=I%+N1TONN+N1+1:R#(J%)=R#(J%)/DIV#:NEXT:GOSUB540:FORS%=N1+1TONN+N1+1:R1#(S%)=R#(S%):NEXT
2060 FORJ%=1TONN:IFJ%<I%THENR=J%:GOSUB460:FAC#=-R#(I%+N1):IFFAC#<>0THENFORK%=N1+1TONN+N1+1:R#(K%)=R#(K%)+FA#R1#(K%):NEXTK%:R=J%:GO
SUB540
2070 NEXTJ%:NEXTI%:F4%=2:F5%=2:GOTO740
2080 'INTERCAMBIA RENGLONES
2090 FL=1:IFI%>=NNTHENRETURN
2100 FORJ%=1TONN+N1+1:R1#(J%)=R#(J%):NEXT:FORJ%=I%+1TONN:R=J%:GOSUB460:IFR#(I%+N1)<>0ANDR1#(J%+N1)<>0THENR=I%:GOSUB540:FORK%=1TON+N1
+1:R#(K%)=R1#(K%):NEXTK%:PRINTTAB (14);"SE INTERCAMBIARON LOS RENGLONES":I%:"Y"J%:R=J%:GOSUB540:FL=0:I%:J%=NN
2110 NEXTJ%:RETURN
2120 'IMPRESION DE DATOS
2130 'CHR#(14) SET DUAL: CHR#(15) RESET DUAL
2140 PRINTCHR#(15):CLS:PRINT@ (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"
2150 PRINT@ (12,10),"(?) QUE OPCION QUIERE":PRINT@ (12,11);:IFL=-1:GOSUB590:IFQB#="1"ORIN#="4"THENGOTO740ELSEIFIN#<"1"ORIN#>"3"GOTO215
0ELSEFU=VAL (IN#)
2160 PRINT@ (14,14),"POR IMPRESORA (S/N)":IFL=1:GOSUB590:PRINTIN#;:IFQB#="1"GOTO2150ELSEIFIN#<"S"ANDIN#<"N"GOTO2160
2170 IFIN#="S"THENPRINTCHR#(14)
2180 ON FU GOTO2190,2270,2310
2190 'impresion datos de estructura
2200 PRINTCHR#(31);"DATOS DE LA ESTRUCTURA":CHR#(30):PRINT
2210 PRINT"NUMBRE: ";N0#:PRINT"NUMERO DE BARRAS DE CIMENTACION: ";NC:PRINT"NUMERO TOTAL DE BARRAS: ";NB:PRINT"NUMERO DE CARGAS EN LA

```

```

2320 PRINTCHR$(31);"CARGAS EN LA ESTRUCTURA";CHR$(30);PRINT
2330 FORR=1TOLOF(4);GOSUB370;PRINT"TIPO:";I1%;TAB(7);I1%(TI%);I1%=";BA;TAB(28);I2%(TI%);I2%=";WA;IFTI%=3THENPRINTTAB(40);I3%(TI%);I3%=";WB;TAB(52);I4%(TI%);I4%=";LA;TAB(63);I5%(TI%);I5%=";LB ELSEPRINT
2340 NEXT;PRINT;PRINT;PRINTCHR$(15);GOSUB1090;GOTO2120
2350 'IMPRESION DE RESULTADOS
2360 CLB;PRINT$(0,28);"IMPRESION DE RESULTADOS";PRINT$(10,31);CHR$(26);" ESPERE UN MOMENTO ";CHR$(25)
2370 IFF4%=0THENPRINT$(10,25);"FALTA CORRER ANALISIS ESTRUCTURAL";FL=1;GOSUB590;GOTO740
2380 IFF5%=0THENPRINT$(10,25);"FALTA CORRER ANALISIS DEL SUELO";FL=1;GOSUB590;GOTO740
2390 IFF4%<>2ORF5%<>2THENPRINT$(10,20);"FALTA CORRER COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS";FL=1;GOSUB590;GOTO740
2400 IFF1%=1THENPRINT$(10,2);"SE CAMBIARON DATOS DE LA ESTRUCTURA; HAY QUE CORRER ANALISIS ESTRUCTURAL";FL=1;GOSUB590;GOTO740
2410 IFF2%=1THENPRINT$(10,8);"SE CAMBIARON DATOS DEL SUELO; HAY QUE CORRER ANALISIS DEL SUELO";FL=1;GOSUB590;GOTO740
2420 IFF3%=1THENPRINT$(10,2);"SE CAMBIO LA ESPECIFICACION DE CARGAS; HAY QUE CORRER ANALISIS ESTRUCTURAL";FL=1;GOSUB590;GOTO740
2430 V=2*NC+1;ERASE#;DIMD$(NG+V+1);FORI%=1TONG;R=I%;GOSUB460;D$(I%+V)=CSNG(R$(NG+V+1));NEXT;FORI%=1TOV;R=I%+NG;GOSUB460;D$(I%)=-CSNG(R$(V+1));FORK%=1TOV;D$(I%)=D$(I%)+R$(K%)*D$(NG+K%);NEXTK%;NEXTI%
2440 PRINT$(10,30);CHR$(26);" IMPRESION OCURRIENDO ";CHR$(25);CHR$(23)
2450 LPRINTCHR$(31);"RESULTADOS";CHR$(30);LPRINT;"LPRINT"BARRA GIRO INICIO GIRO FINAL DESP. TRANS. INICIO DESP. TRANS. FINAL";LPRINTSTRING$(79,"-")
2460 'FORR=1TONB;GOSUB230;LPRINTUSING"#####";R;LPRINTUSING"#####";D$(G%(1));D$(G%(2));LPRINTUSING"#####";D$(G%(3));D$(G%(4));NEXTLPRINT
2470 G$="#####";LPRINT;"GRADO DE LIBERTAD DESPLAZAMIENTO REACCION DEL TERRENO";LPRINT;FORI%=1TONG;LPRINTUSING"#####";I%;LPRINTUSINGG$;D$(I%);IFI%<=2*NC+1THENLPRINTUSINGG$;D$(I%+NG)ELSELPRINT
2480 NEXT;LPRINT
2490 LPRINT;"BARRA MOM. INICIO MOM. FINAL CORTANTE INICIO CORTANTE FINAL";LPRINTSTRING$(79,"-");ERASEMV;DIMMV(NB,4);FORI%=1TONB;R=I%;GOSUB230;ONTX+1GOSUB1340,1390,1430
2500 FORJ%=1TO4;FORK%=1TO4;MV(I%,J%)=MV(I%,J%)+K*(J%,K%)*D$(G%(K%));NEXTK%;NEXTJ%'EMP. POR DESPLAZ.
2510 IFI%<=NCTHENN=2*I%-2+NG;FORJ%=1TO4;FORK%=1TO3;MV(I%,J%)=MV(I%,J%)+EC(J%,K%)*D$(N+K%);NEXTK%;NEXTJ%'EMP. POR REACC. DEL TERRENO
2520 NEXTI%
2530 FORI%=1TOLOF(4);R=I%;GOSUB370;IFTI%=1ANDWA<>0ANDBA<>0THENR=BA;GOSUB230;ONTX+1GOSUB1470,1490,1510;FORJ%=1TO4;MV(BA,J%)=MV(BA,J%)+E(J%);NEXTJ%;NEXTI%ELSENEXTI%'EMP. POR CARGAS UNIFORMES
2540 FORI%=1TONB;LPRINTUSING"#####";I%;LPRINTTAB(8);MV(I%,1);TAB(21);MV(I%,2);TAB(37);MV(I%,3);TAB(59);MV(I%,4);NEXT
2550 LPRINT;LPRINT;LPRINT;GOTO740
2560 'LPRINT;LPRINT;LPRINT;"GRADO DE LIBERTAD HUNDIMIENTO REACCION DEL TERRENO";LPRINT;FORI%=1TO2*NC+1;LPRINTUSING"#####";I%;LPRINTUSING"#####";D$(I%);D$(I%+NG);NEXT;LPRINT;LPRINT;LPRINT;GOTO740

```

20 'SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES

30 CLEAR#0;DEFINT N,R;DIMR*(32),R#(250)

40 GOSUB50;R=1;GOSUB60;N=P1;WZ#=MID\$(STR\$(W),2);R=W;GOSUB60;GOSUBB0;DIMR*(NG,NG+1);N2=2*NC+1;FORR=1TONG;GOSUB100;FORI%=1TONG+1;K#(R, I%)=R*(I%+N2);NEXT;K#(R,0)=R;NEXT;GOTO200

50 OPEN'R',2,"GENERAL:0",56;FIELD2,30ABG1#,2ASG2#,2ASG3#,2ASG4#,2ASG5#,2ASG6#,2ASG7#,2ASG8#,2ASG9#,2ABGA#,4ASGB#,4ASGC#;RETURN

60 IFR<=LOF(2)ANDLOF(2)>0THENGET2,R;NO#=G1#;NC=CVI(G2#);NB=CVI(G3#);NG=CVI(G4#);NE=CVI(G5#);F1%=CVI(G6#);F2%=CVI(G7#);F3%=CVI(G8#);F4%=CVI(G9#);F5%=CVI(GA#);P1=CVB(GB#);P2=CVB(GC#);RETURN

70 NO#=STRING\$(30,".");NC=0;NB=0;NE=0;NG=0;F1%=0;F2%=0;F3%=0;F4%=0;F5%=0;P1=0;P2=0;RETURN

80 OPEN'R',1,"RIG"+WZ#+";0",256;FORB%=32TO1STEP-1;FIELD1,B*(B%-1)AB1#,ABR#(B#);NEXT;RETURN

90 IFREG<=LOF(1)ANDLOF(1)>0THENGET1,REG;RETURNELSEFORB%=1TO32;LSETR*(B#)=MKD*(0);NEXT;PUT1,LOF(1)+1;RETURN

100 J=1;N=NG+2*NC+1;SG%=0;SH%=0;IFR>NGTHENSG%=(N+1)*NG;SH%=NG;N=2*NC+1

110 REG=FIX((SG%+(R-1-SH%)*(N+1))/32)+1;PO=(SG%+(R-1-SH%)*(N+1)+J)MOD32;GOSUB90;IFPO=0THENPO=32

120 R#(J)=CVD(R*(PO));J=J+1;IFJ>N+1THENRETURNELSEPO=PO+1;IFPO>32THENREG=REG+1;PO=1;GOSUB90

130 GOTO120

140 IFREG>LOF(1)+1THENFORB%=1TO32;LSETR*(B#)=MKD*(0);NEXT;FORB%=LOF(1)+1TOREG-1;PUT1,S%;NEXT

150 RETURN

160 N=NG+2*NC+1;SG%=0;SH%=0;IFR>NGTHENSG%=(N+1)*NG;SH%=NG;N=2*NC+1

170 REG=FIX((SG%+(R-1-SH%)*(N+1))/32)+1;PO=(SG%+(R-1-SH%)*(N+1)+1)MOD32;GOSUB140;GOSUB90;IFPO=0THENPO=32

180 FORSS%=1TON+1;LSETR*(PO)=MKD*(R#(SS%));PO=PO+1;IFPO>32THENPUT1,REG;PO=1;REG=REG+1;GOSUB90

190 NEXT;PUT1,REG;RETURN

200 NN=NG;N1=0;CLS;PRINT@ (0,24),"SOLUCION DEL SISTEMA DE ECUACIONES";PRINT@ (3,30),"COLUMNA DE:";NN;PRINT@ (2,28),"ELIMINACION D E ELEMENTOS"

210 FORI%=1TONN;PRINT@ (3,30),I%;Y%=K#(I%,0);GOSUB260;DIV#K#(Y%,I%+N1);IFDIV#0THENPRINT@ (5,10),"HAY UN CERO EN LA DIAGONAL PRINCIPA L EN EL RENGLON";I%;STOP;CLOSE;END

220 FORJ%=I%+N1TONN+N1+1;K#(Y%,J%)=K#(Y%,J%)/DIV#;NEXT

230 IFI%<NTHENFORJ%=I%+1TONN;Z%=K#(J%,0);FAC#=-K#(Z%,I%+N1);IFFAC#<>0THENFORK%=N1+1TONN+N1+1;K#(Z%,K%)=K#(Z%,K%)+FAC#*K#(Y%,K%);NEXT K%;NEXTJ%;NEXTI%

240 NEXTI%

250 PRINT@ (2,28),"SUSTITUCION HACIA ATRAS";CHR*(23);PRINT@ (3,30),"RENGLON DE:";NG;CHR*(24);FORI%=NN-1TO1STEP-1;Y%=K#(I%,0);PRINT@ (3,30),I%;FORJ%=I%+1TONN;Z%=K#(J%,0);K#(Y%,NN+N1+1)=K#(Y%,NN+N1+1)-K#(Y%,J%+N1)*K#(Z%,NN+N1+1);NEXTJ%;NEXTI%;GOTO290

260 IFI%=NTHENRETURNELSEMAX%=I%;MAX#=ABS(K#(Y%,I%))

270 FORJ%=I%+1TONN;Z%=K#(J%,0);IFABS(K#(Z%,I%))>MAX#THENMAX%=J%;MAX#=ABS(K#(Z%,I%));NEXTELSENEXT

280 IFMAX%=I%THENRETURNELSESWAPK#(I%,0),K#(MAX%,0);Y%=K#(I%,0);RETURN

290 FORR=1TONG;Y%=K#(R,0);FORI%=1TONG+1;R#(I%+N2)=K#(Y%,I%);NEXTI%;GOSUB160;NEXT

300 CLOSE;SYSTEM "BASIC ISE1 -F:4"

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Deméneghi A. - "Apuntes del curso de Diseño y Construcción de Cimentaciones", División de Educación Continua, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M., 1982.
- 2.- Deméneghi A. - "Un método para el análisis conjunto de la estructura y el suelo", Revista de ingeniería, Nueva época, Vol. XLIX, No 3, pp 56-64, 1979.
- 3.- Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A. - "Mecánica de suelos", Tomo II, Limusa, 1980
- 4.- Zeevaert L. - "Interacción Suelo-Estructura de cimentaciones superficiales y profundas, sujetas a cargas estáticas y sísmicas", Limusa, 1980.
- 5.- Beaufait F.W., Rowan W.H., Hoadley P.G., Hackett R.M. - "Computer methods of structural analysis", Prentice-Hall, 1970.
- 6.- Kardestuncer H. - "introducción al análisis estructural con matrices", 1975.
- 7.- White, Gergely y Sexsmith - "Estructuras estaticamente indeterminadas" Volumen 2, Limusa, 1977.
- 8.- Forsythe G.E., Moler C.B. - "solución mediante computadoras de sistemas algebraicos lineales", Editorial Universitaria de Buenos Aires.