

2^{da} eje.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

*PROGRAMACION DE UN METODO DE
ANALISIS PARA EL DISEÑO DE PILOTES*

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A N :
MARCELO MORALES SANCHEZ
HECTOR OLVERA DE JESUS



DIRECTOR DE TESIS:
DR. RIGOBERTO RIVERA C.

MEXICO, D. F.

1994

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-112/93

Señores:
MARCELO MORALES SANCHEZ
HECTOR OLVERA DE JESUS
Presentes.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Dr. Rigoberto Rivera Constantino, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

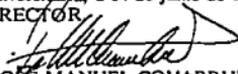
"PROGRAMACION DE UN METODO DE ANALISIS PARA EL DISEÑO DE PILOTES"

- I. INTRODUCCION
- II. ANTECEDENTES
- III. PLANTEAMIENTO DEL METODO
- IV. PROGRAMACION DEL METODO
- V. APLICACION DEL PROGRAMA
- VI. ANALISIS DE RESULTADOS
- VII. CONCLUSIONES

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 14 de junio de 1993.
EL DIRECTOR


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR/ser

CONTENIDO

CAPITULO I.- INTRODUCCION	1
CAPITULO II.- ANTECEDENTES	
II.1 Interacción Estática	4
II.1.1 Teoría de Winkler	
II.1.2 Pilotes lateralmente cargados trabajando dentro de un medio elástico	
II.1.3 Pilotes sometidos a cargas verticales	
II.1.4 Pilotes sometidos a cargas horizontales	
II.1.5 Datos experimentales	
II.1.6 Pruebas estáticas	
II.2 Interacción Dinámica	20
II.2.1 Método que se basa en fuerzas que se aplican en la cabeza de los pilotes	
II.2.2 Métodos basados en análisis dinámicos	
II.2.3 Pruebas dinámicas	
II.3 Casos Históricos	29
CAPITULO III.- PLANTEAMIENTO DEL METODO	
III.1 Análisis de pilotes sujetos a sollicitaciones dinámicas	32
III.2 Desplazamientos horizontales de suelo y pilote	33
III.3 Propiedades dinámicas del suelo	36
III.4 Análisis de pilotes sujetos a cargas laterales	37
III.5 Análisis estructural del pilote	39
III.6 Deformaciones del suelo	47

Anexo III.A	50
Anexo III.B	54
III.7 Compatibilidad de desplazamientos	59
CAPITULO IV.- PROGRAMACION DEL METODO	
IV.1 Diagrama de flujo	60
IV.2 Codificación	73
IV.3 Programa DISP	
CAPITULO V.- APLICACION DEL PROGRAMA	
V.1 Ejemplo sin utilizar el programa DISP	107
V.2 Ejemplo utilizando el programa DISP	129
V.3 Anexo V.A. Manual del Usuario	131
CAPITULO VI.- ANALISIS DE RESULTADOS	
VI.1 Diseño estructural del pilote	142
CAPITULO VII.- CONCLUSIONES	153
BIBLIOGRAFIA	156

CAPITULO UNO INTRODUCCION

La construcción de estructuras en zonas donde el terreno es considerado de mala calidad, es decir, zonas en las cuales los estratos superficiales tienen baja capacidad de carga y alta compresibilidad, hacen necesaria la utilización de terrenos de apoyo más resistentes ubicados a mayores profundidades.

En estos casos, se recurre al empleo de lo que se conoce como cimentaciones profundas. Los elementos que forman las cimentaciones profundas que en la actualidad se utilizan más frecuentemente se distinguen entre sí por la magnitud de su diámetro o lado, según sean de sección transversal circular o rectangular, que son las más comunes.

En términos generales, dependiendo de las dimensiones de la sección transversal del elemento, se distinguen tres tipos de estructuras ; cilindros (estructuras de grandes dimensiones), pilas (estructuras medianas) y pilotes (elementos muy esbeltos).

Este trabajo está enfocado principalmente a los pilotes.

Iniciamos en el capítulo dos con una recopilación de información referente a algunas investigaciones y trabajos desarrollados por diversos especialistas con anterioridad, para mostrar el estado en el que se encuentra la investigación en éste tema.

Posteriormente en el capítulo tres continuamos con el planteamiento del método elegido por nosotros para desarrollar el programa, estableciendo las consideraciones en que se basa y desarrollando matemáticamente las expresiones fundamentales para su aplicación.

En el capítulo cuatro se presenta la estructura total del programa utilizando el lenguaje de programación Turbo Pascal, así como su diagrama de flujo y la codificación del mismo.

En el capítulo cinco se presenta un anexo c, que es un manual del usuario el cual permitirá un mejor entendimiento y utilización del programa DISP, además se presenta un ejemplo resuelto, sin utilizar el programa DISP y utilizando el programa.

El capítulo seis contiene el diseño del pilote tomado para el ejemplo, utilizando los resultados obtenidos con el programa.

Finalmente en el capítulo siete establecemos las conclusiones a que llegamos considerando la totalidad del trabajo.

CAPITULO DOS ANTECEDENTES

II.1 INTERACCION ESTATICA

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 como en la subestructura como en la superestructura, ocasionados por los hundimientos del terreno de cimentación. Estos valores dependen por un lado de la compresibilidad del subsuelo y por otro de la rigidez de la estructura. Tomando en cuenta que con frecuencia en los análisis estructurales se considera a la estructura empotrada o articulada en su cimentación, o si se trata de una losa de apoyo se supone una presión de contacto uniforme, o que el cálculo de hundimientos del terreno de cimentación se realiza considerando la estructura de cimentación totalmente flexible, lo cual suele distar bastante de la realidad, se ve clara la necesidad de desarrollar métodos que tomen en cuenta los efectos de los hundimientos y que, al mismo tiempo permita calcular los valores de estos últimos. A éstas técnicas es lo que se denomina Interacción-estática suelo-estructura.

Acontinuacion se mencionaran algunas teorías y métodos que se han propuesto dentro de la Interacción estática.

II.1.1 Teoría de Winkler

La teoría de Winkler supone que el suelo puede ser sustituido por una serie de resortes elásticos independientes. Esta teoría comienza estableciendo la siguiente ecuación diferencial :

$$EI \frac{d^4y}{dx^4} = -p = -ky$$

Donde :

EI Rigidez del pilote

y Desplazamiento del pilote a la profundidad x

p Reacción del suelo

k Módulo horizontal de reacción

La solución a esta ecuación, para el caso de que k sea constante con la profundidad, ha sido proporcionada por Chang (1937), Broms (1964-1965) y Bergfell (1952).

Para aquellos casos en que k varíe lineal o no linealmente con la profundidad, se pueden encontrar soluciones con Reese y Matlock (1956), Gaul (1958), Mc Clelland y Focht (1958), y Minorov (1971).

La teoría de Winkler es la mas simple y conocida entre los ingenieros, y su aplicación se ha extendido para el caso del comportamiento no lineal de cimentaciones (Haliburton , 1971).

Esta teoría, sin embargo, tiene el serio inconveniente de considerar al suelo como un medio no continuo, cuando en realidad si es continuo.

Por otro lado, el valor de k debe determinarse de una manera muy precisa a través de pruebas de campo, y su valor depende no solo de las propiedades del suelo, sino también de las propiedades del pilote y de la intensidad y forma de la aplicación de la carga.

II.1.2 Pilotes lateralmente cargados trabajando dentro de un medio elástico

Spillers y Stoll (1964) fueron los primeros en considerar al pilote dentro de un medio continuo y elástico, posteriormente también hicieron esta consideración Matthewson (1969) y Poulos (1971-a, 1972, 1973).

Esta teoría supone que el suelo es un medio ideal, elástico, homogéneo e isotrópico, el cual considera dos parámetros constantes; el módulo de Young (E_s) y la relación de Poisson (ν).

Supone que la reacción del suelo consiste en " n " fuerzas puntuales horizontales, igualmente espaciadas, que se denominan p_i . Estas fuerzas actúan en los centros de los segmentos, con longitud (L/n) como se muestra en la figura (fig. II.1.2.1).

Las ecuaciones de Mindlin, se utilizan para determinar los desplazamientos en cualquier punto del suelo en términos de las fuerzas p_i ; utilizando la teoría de vigas se puede obtener los desplazamientos del pilote en cualquier punto, en términos de las fuerzas p_i y de los desplazamientos del pilote en sus dos extremos. Al igualar las ecuaciones de desplazamiento del suelo en cada punto con los desplazamientos correspondientes al pilote en ese mismo punto, se obtienen $n - 2$ ecuaciones independientes; si, además, se consideran las dos ecuaciones de equilibrio todas las fuerzas p_i se pueden determinar.

Esta teoría también se ha hecho extensiva para los casos en que el módulo de Young varía linealmente con la profundidad (Poulos, 1973) así como a problemas elastoplásticos (Poulos, 1971-a, Spillers y Stoll, 1964).

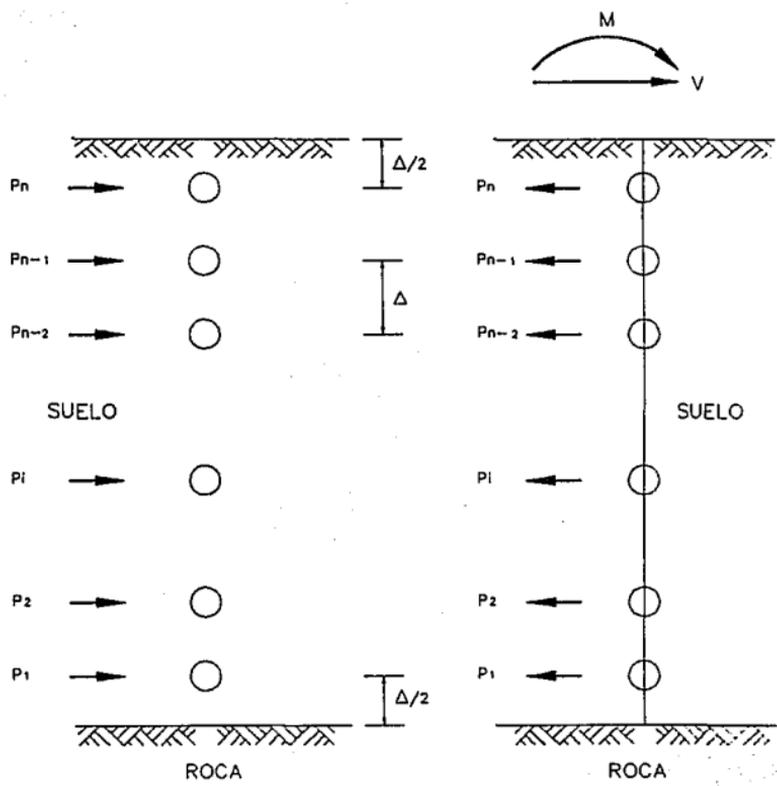


DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA MASA DE SUELO.

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL PILOTE.

FIG. II.1.2.1

Las ventajas mas importantes de esta teoría son :

1.- Considera en forma mas realista el suelo, representado por sus constantes elásticas.

2.- Se puede estudiar mejor la importancia relativa de algunas variables que intervienen en el problema, tales como el ancho del pilote y la relación de poisson.

II.1.3 Pilotes sometidos a cargas verticales

Para el caso de pilotes , Zeevaert (1980) trata dos casos particularmente :

Caso I.- Cimentaciones en las cuales la punta de los pilotes esta apoyada firmemente en un depósito de muy baja compresibilidad y espesor grande (ver fig. II.1.3.1).

Caso II.- Cimentaciones en las cuales la punta de los pilotes está apoyada firmemente en un estrato resistente de pequeño espesor y baja compresibilidad, pero bajo el cual se tienen estratos muy compresibles (ver fig. II.1.3.2)

El caso I se puede resolver considerando que cada pilote tiene un módulo de reacción k_i constante e independiente de los demás pilotes , así, el problema se reduce al de una cimentación apoyada sobre resortes (uno por cada pilote existente) , en que la constante de cada resorte es independiente del resto de los resortes. Además , si todos los pilotes tienen la misma sección transversal y la misma longitud, el número de ellos en cada línea es el mismo, y se considera un valor del módulo de deformación constante para el estrato resistente de apoyo de la punta de los pilotes, entonces k_i es igual para todos los pilotes (Zeevaert , 1980).

Para el caso II, el valor del módulo de reacción k_f no se puede considerar constante para cualquier punto, ya que en este caso interviene la deformación de los estratos compresibles que subyacen al estrato resistente donde se apoyan los pilotes.

Por lo tanto, será necesario determinar las ecuaciones matriciales EMA y EMI, con la consideración adicional de que en el módulo de cimentación k_f hay que tomar en cuenta la deformación del estrato de apoyo del pilote y la deformación del propio pilote (zeevaert, 1980)

Ecuación EMA es la ecuación matricial de asentamientos o hundimientos, que relaciona los asentamientos del suelo en función de las cargas aplicadas en la superficie.

$$\{\delta\} = [D]\{q\}$$

donde :

$\bar{\delta}$ = Vector de asentamientos en el contacto cimentación - suelo.

$[D]$ = Matriz de asentamientos ocasionados por presiones unitarias.

\bar{q} = Vector de cargas aplicadas en el contacto cimentación - suelo.

Ecuación EMI es la ecuación matricial de interacción, que relaciona las deformaciones de la estructura con las cargas que le transmite el suelo.

$$[S]\{X\} = \{\Delta\}$$

donde :

$[S]$ = Matriz de flexibilidades del suelo.

\bar{X} = Vector de cargas del suelo sobre la estructura.

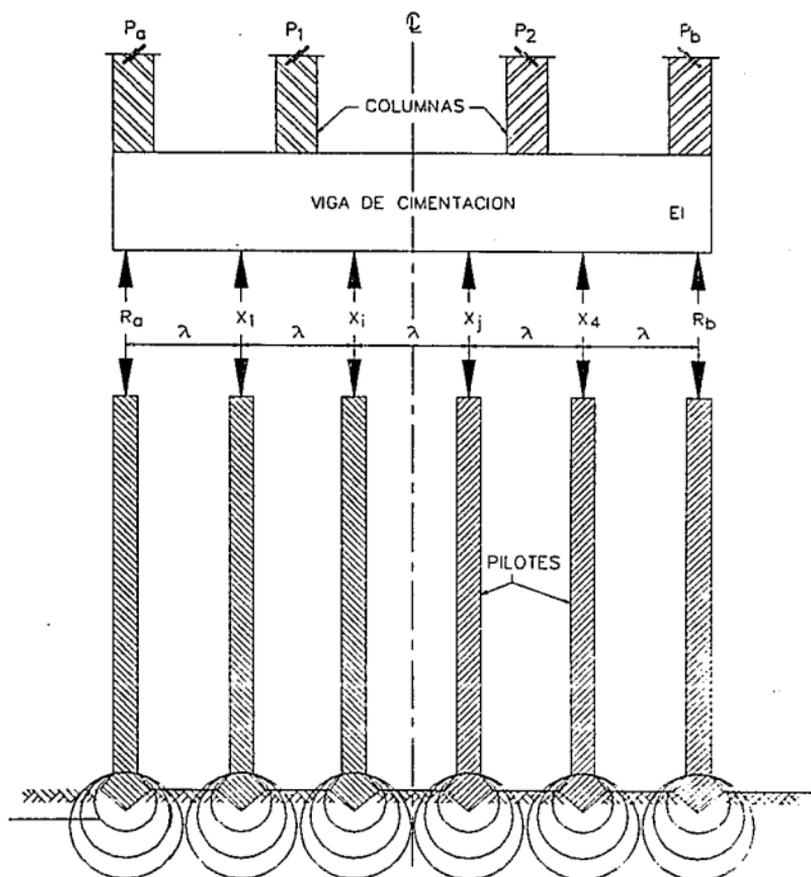
$\bar{\Delta}$ = Vector de deformaciones de la estructura.

En ésta ecuación , los valores de $\bar{\Delta}$ son función del módulo k_i .

La interacción se realiza utilizando las reacciones o cargas X_i obtenidas por EMI, en la ecuación EMA obteniéndose los desplazamientos verticales δ_i que proporsionan valores del módulo k_i .

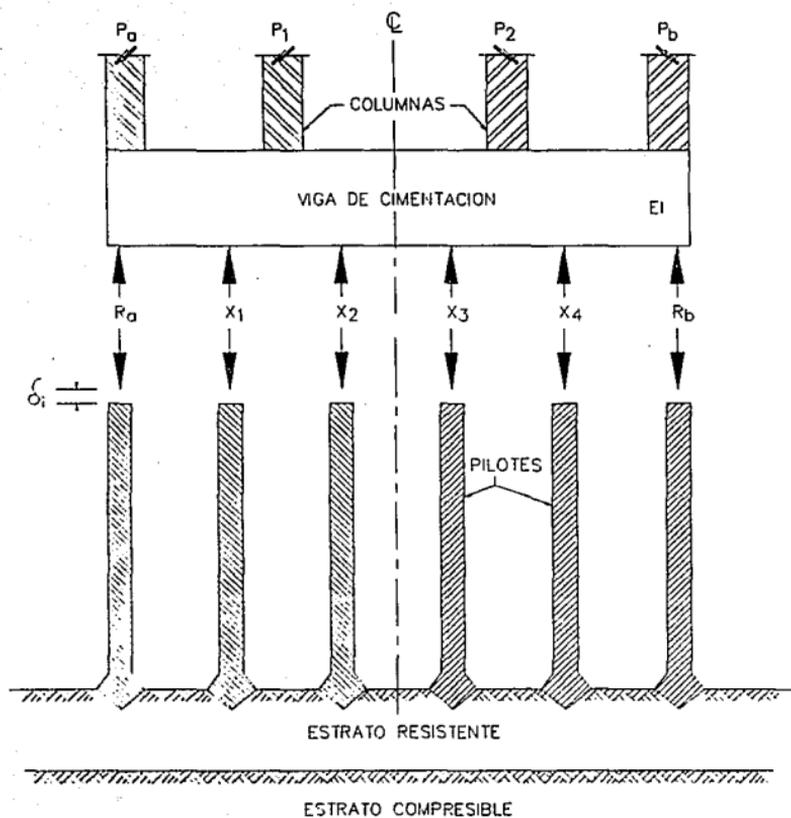
$$k_i = \frac{X_i}{\delta_i}$$

teniéndose la necesidad de hacer iteraciones de ajuste, con el valor k_i .



ESTRATO RESISTENTE
 CIMENTACION CON PILOTES. CASO I.
 (ZEEVAERT, 1980)

FIG. II.1.3.1



CIMENTACION CON PILOTES. CASO II.
(ZEEVAERT, 1980)

FIG. II.1.3.2

II.1.4 Pilotes sometidos a cargas horizontales

El Dr. Leonardo Zeevaert (1980) presenta un método muy completo para el análisis de pilotes sujetos a cargas laterales . Considera cuatro casos principales de análisis de un pilote :

Caso I.- Pilote libre de girar en sus extremos.

Caso II.- Pilote empotrado en la estructura de cimentación y libre de girar en la punta.

Caso III.- Pilote libre de girar en la cabeza y empotrado en la base.

Caso IV.- Pilote empotrado en ambos extremos con giro en la base.

Para la solución de estos problemas se emplea la ecuación matricial de interacción horizontal (HEMI) , la cual depende de las condiciones de apoyo y de las características estructurales del pilote.

Ecuación (HEMI) :

$$[\delta_y] \times \{x_y\} = \{\Delta_{,0}\}$$

Donde :

$[\delta_y]$ = Matriz de desplazamientos unitarios.

$\{x_y\}$ = Vector de reacciones horizontales del suelo.

$\{\Delta_{,0}\}$ = Vector de desplazamientos horizontales.

Por otra parte se obtiene la Ecuación Matricial De Desplazamientos Horizontales (HEMA) , la cual es función de las propiedades de deformación del suelo, considerando la influencia entre las diferentes reacciones del suelo sobre el pilote.

Ecuación (HEMA) :

$$|\delta_i| = [\delta_y] \times \left| \frac{x_i}{a_i} \right|$$

Donde :

$|\delta_i|$ = Vector de desplazamientos totales.

$[\delta_y]$ = Matriz de desplazamientos unitarios.

$|X_i|$ = Vector de reacciones en las dovelas consideradas.

a_i = Areas tributarias de las dovelas consideradas.

Debe haber compatibilidad de deformaciones del pilote con la masa de suelo , para lo que se emplea el módulo horizontal de cimentación k_i definido como :

$$k_i = \frac{x_i}{\delta_i}$$

En el procedimiento , se varían los valores de k_i mediante iteraciones hasta que se cumpla la condición de compatibilidad de deformaciones entre pilote y suelo.

También se pueden combinar las ecuaciones HEMI y HEMA , para hallar la ecuación HEMISE , que permite resolver el problema de la interacción suelo-pilote sin necesidad de recurrir a iteraciones (Zeevaert , 1980).

II.1.5 Datos experimentales

A fin de obtener ciertos parámetros, o verificar los resultados obtenidos al aplicar las teorías, varios investigadores han efectuado pruebas de carga en pilotes que están sujetos a fuerzas laterales estáticas ; muchas de estas pruebas se han llevado a cabo en modelos de laboratorio, pero existen otras que se han efectuado en pilotes prototipo.

Por esta razón , a continuación se exponen algunos resultados encontrados en pruebas estáticas.

II.1.6 Pruebas estáticas

Al efectuar pruebas a escala natural en pilotes hincados en arena, Gleser (1953), observó que la deflexión de un pilote con cabeza restringida es mucho menor que la de un pilote de cabeza libre. Palmer y Brown (1953), compararon los resultados de una prueba efectuada también a escala natural en arena con las soluciones del método de diferencias finitas, y encontraron que el punto de momento máximo es independiente de la magnitud de la fuerza aplicada aunque, la magnitud de dicho momento es proporcional a esa fuerza.

Mc Clelland y Focht (1958) llevaron a cabo unas pruebas de carga en un pilote tubular de 24 pulgadas de diámetro, que fue hincado 75 pies en un estrato de arcilla blanda que yacía bajo 33 pies de agua.

Del estudio de los resultados que obtuvieron y que se muestran en las siguientes figuras (II.1.6.1) Y (II.1.6.2), los autores concluyen que el módulo del suelo (E_s) es variable con la profundidad y con el nivel de las deflexiones ; en la figura (II.1.6.3) están dibujadas las curvas (reacción del suelo - deflexión) máxima para diferentes magnitudes de carga , y en la figura (II.1.6.4) las curvas (módulo del suelo - profundidad).

Reese y Matlock (1956) compararon los datos reportados por Mc Clelland y Focht en varias soluciones elásticas estáticas.

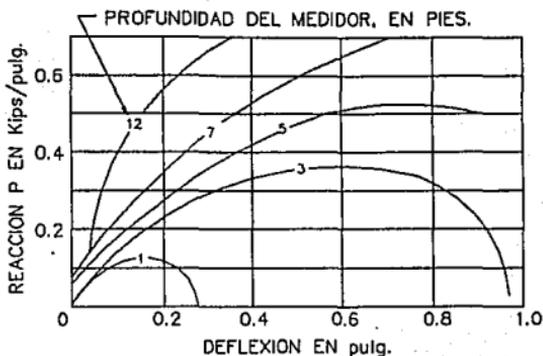
En la figura (II.1.6.5) donde se puede observar esta comparación , se muestra la curva experimental de los momentos flexionantes junto con las de los siguientes cuatro métodos :

Método No.1.- Considera a (E_s) constante, y ajusta el valor teórico máximo de la deflexión al nivel superficial del suelo con el valor experimental correspondiente.

Método No.2.- Considera a (E_s) constante, y ajusta el valor calculado del momento máximo con el correspondiente valor experimental.

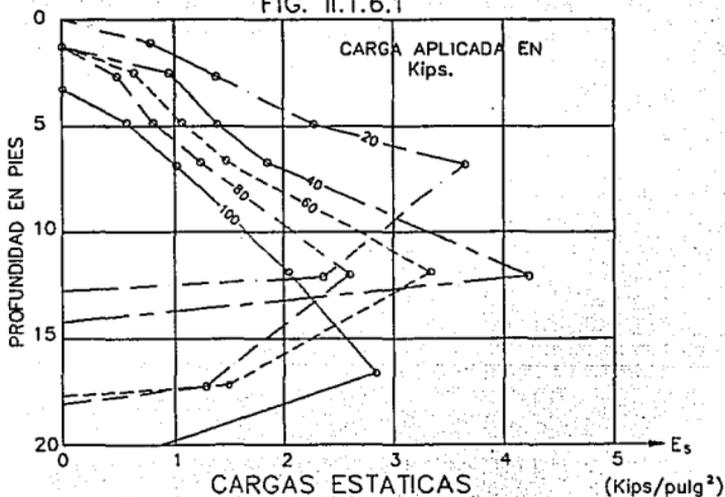
Método No.3.- Considera que (E_s) varía linealmente con la profundidad ($E_s = kx$) y hace el mismo ajuste que en el método No.1 .

Método No.4.- Considera que $E_s = kx$ y hace el mismo ajuste que en el método No.2 .

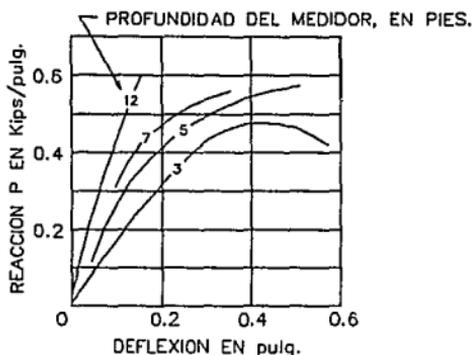


NOTA: La deflexion se refiere al punto donde se localiza el medidor de fuerza.
CARGAS ESTATICAS

REACCION DEL SUELO vs. DEFLEXION DEL PILOTE EN PRUEBA DE CAMPO.
(Mc CLELLAND Y FOCHT, 1958)
FIG. II.1.6.1



MODULO DE SUELO vs. PROFUNDIDAD EN PRUEBAS DE CAMPO.
(Mc CLELLAND Y FOCHT, 1958)
FIG. II.1.6.2

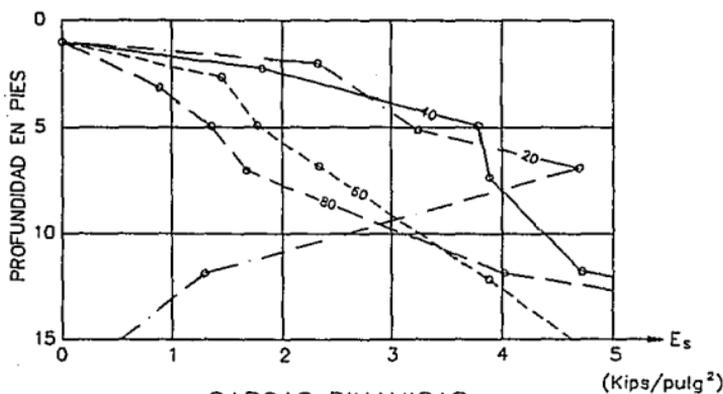


NOTA: La deflexion se refiere al punto donde se localiza el medidor de fuerza.

CARGAS DINAMICAS

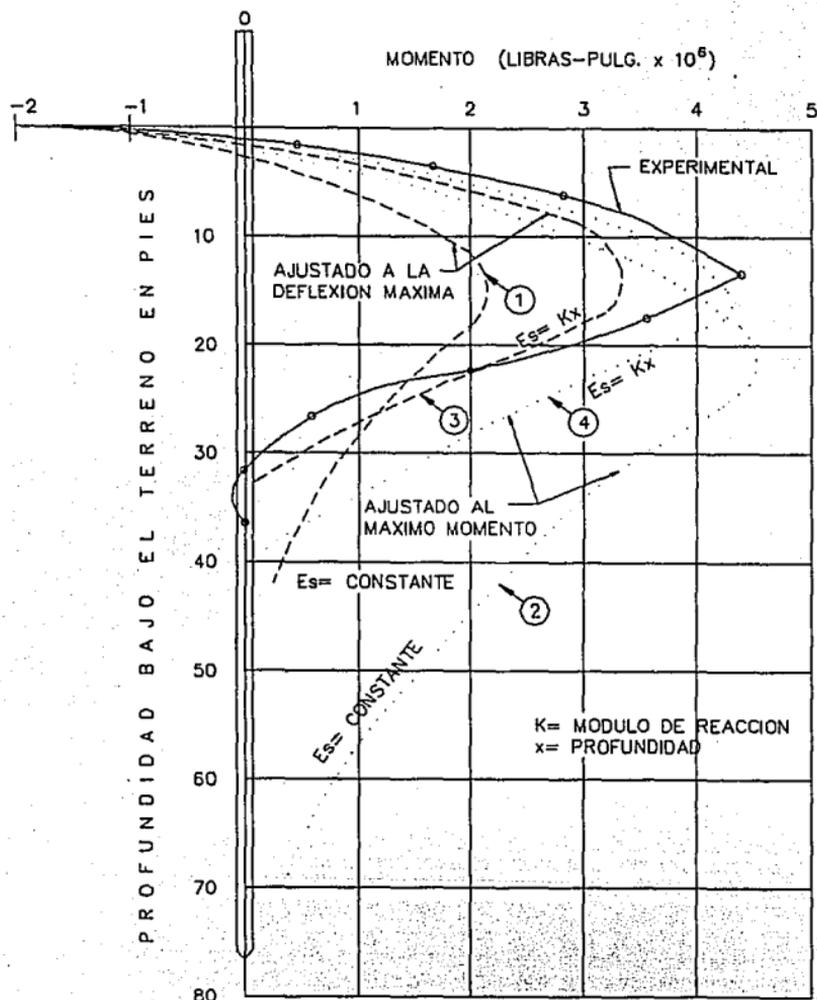
REACCION DEL SUELO vs. DEFLEXION DEL PILOTE EN PRUEBA DE CAMPO.
(Mc CLELLAND Y FOCHT, 1958)

FIG. II.1.6.3



CARGAS DINAMICAS
MODULO DE SUELO vs. PROFUNDIDAD
EN PRUEBAS DE CAMPO.
(Mc CLELLAND Y FOCHT, 1958)

FIG. II.1.6.4



COMPARACION ENTRE LOS MOMENTOS FLEXIONANTES TEORICOS Y EL EXPERIMENTAL.

(REESE Y MATLOCK, 1956)

FIG. II.1.6.5

Reese y Matlock concluyeron en su estudio que , en ningún caso las curvas de los momentos calculados coincidían exactamente con las curvas experimentales, pero el uso del módulo elástico del suelo que varía linealmente con la profundidad, proporcionaba mejores resultados que el uso del módulo estático constante.

II.2 INTERACCION DINAMICA

El fenómeno de interacción se desarrolla por el acoplamiento de los movimientos del suelo y de la cimentación del edificio . Al ambar las ondas sísmicas a la superficie del suelo generan movimientos en las estructuras desplantadas sobre él, si los desplazamientos en el terreno libre son diferentes de los de la cimentación, se dice que la estructura y el terreno están acoplados y, por tanto, hay interacción suelo-estructura. Por otro lado, si los desplazamientos en el terreno libre son iguales a los de la cimentación el fenómeno de interacción no se desarrolla.

En general la interacción dinámica involucra tres aspectos (Seed, 1986) :

1) La variación espacial de los movimientos del terreno libre tiende a ser eliminada por la presencia de una cimentación rígida ; la magnitud de este efecto depende del área y rigidez de la cimentación y del grado de heterogeneidad de los movimientos de campo libre. En general , la amplitud máxima del movimiento de la cimentación será menor que las que ocurren en el terreno libre.

2) Cuando un edificio es excitado en su base presenta una resistencia inercial al movimiento dinámico en la superestructura que persiste durante toda la excitación. Este efecto, denominado interacción inercial, resulta en cambios, en la presión de contacto entre la cimentación y el suelo, lo cual causa deformación en éste. Debido a la deformabilidad del suelo el período efectivo de la estructura se incrementa con respecto al calculado para la condición de apoyo rígido.

3) Si la cimentación de un edificio esta desplantada a una profundidad significativa, la base y las paredes exteriores de la cimentación interactúan con el suelo, desarrollando el fenómeno denominado interacción cinemática. Debido a que la intensidad de los movimientos sísmicos en el terreno libre disminuyen con la profundidad, el efecto de la interacción cinemática en la respuesta de las estructuras puede ser significativo.

II.2.1 Método que se basa en fuerzas que se aplican en la cabeza de los pilotes

Este método obtiene la respuesta de pilotes sujetos a cargas dinámicas que la superestructura transmite en la cabeza de los pilotes. El método fue utilizado inicialmente para los casos donde había fuerzas periódicas, como las producidas por ondas oceánicas en plataformas marinas (Newmark, 1956), pero actualmente también se utiliza para los casos de fuerzas sinusoidales o transitorias aplicadas en la parte superior de los pilotes (Gaul, 1958; Hayashi 1973; Agarwal, 1973).

Hayashi et al, su análisis esta basado en la suposición de que la curva $F - Y$ (fuerza - deformación en el pilote) se puede expresar por medio de :

$$F = ky^{\alpha}$$

donde :

k y α parámetros que se pueden considerar constantes para un rango dado de la fuerza.

(y) desplazamiento del pilote.

- Los parámetros k , y α se determinan para el modelo de un pilote que se excita en el mismo tipo de suelo al que se tiene en el prototipo; los valores así obtenidos, dibujados en curvas, y los valores de k , y α del prototipo son calculadas posteriormente mediante factores de conversión y de relaciones geométricas entre modelo y prototipo.

Hayashi y sus asociados realizaron una serie de pruebas estáticas y dinámicas a gran escala, utilizando pilotes de acero como modelos y compararon los resultados teóricos con los experimentales. Su comparación los orilló a concluir que con este método, se pueden determinar valores aproximados de la respuesta dinámica de pilotes de acero. Este procedimiento presenta dos serios inconvenientes :

1.- Que esta limitado a dar la respuesta en la cabeza del pilote y no proporciona dato alguno referente a lo que pasa a lo largo del pilote.

2.- No toma en cuenta el efecto de los desplazamientos del suelo sobre el pilote.

II.2.2 Métodos basados en análisis dinámicos del sistema pilote-suelo

Existen varias teorías que tratan de explicar el comportamiento dinámico de pilotes trabajando bajo solicitaciones sísmicas.

La teoría más simple es la presentada por Ogata y Kotsubo (1904); basada en el modelo de Winkler. Dicha teoría representa la solución de la ecuación diferencial para el caso de un pilote sujeto a una fuerza sísmica aplicada en la base del estrato de suelo blando.

Parmelee et al (1954) y Penzien (1970), analizaron una serie de masas discretas ligadas por conexiones que consideran, además de las propiedades elásticas y de amortiguamiento de la estructura, las propiedades elasto-plásticas de amortiguamiento y de flujo plástico del suelo (creep). Estos autores analizaron el problema en dos partes:

1a. parte:

Determinaron la respuesta dinámica del medio arcilloso.

2a. parte:

Determinaron la interacción de todo el sistema.

Para la segunda parte, el modelo ideal es excitado simultáneamente, en su base, por la aceleración horizontal, y a cada nivel, por una aceleración conocida que representa la aceleración del medio continuo a ese nivel. Para éste análisis se consideraron válidas las siguientes suposiciones:

1. Los desplazamientos y los esfuerzos elásticos dentro del medio arcilloso se puede determinar perfectamente usando una teoría estática (Teoría de Mindlin).

2. El uso de la Teoría Winkler es válida en la interacción del pilote con el suelo.

Estos autores aplicaron su método a una estructura de puente cimentada con pilotes, y las conclusiones a las que llegaron son :

1. La rigidez del pilote tiene poca influencia en la respuesta de la superestructura. Con base en esta observación, ellos afirman que si se está interesado exclusivamente en los aspectos del sismo en la superestructura, el movimiento superficial del estrato de arcilla (sin la presencia del puente) podría utilizarse como la excitación de entrada en la base de las pilas del puente.

2. Un temblor como el registrado en 1940 en el Centro De California, puede producir curvaturas sobre los pilotes de la magnitudes aquellas donde se tienen puntos de fluencia.

3. La estabilidad lateral de pilotes no presenta problema alguno durante el corto periodo de duración de un sismo.

Es importante hacer notar que Parmelee et al estudiaron un problema particular donde los pilotes eran relativamente flexibles ($D = 36''$ y $L = 120'$) y el suelo era una arcilla blanda con una resistencia a la compresión simple promedio igual a 0.6 kg/cm^2 , o sea que sus resultados son validos solamente para el problema que estudiaron.

Yamamoto y Seki (1971 - a, 1971- b) presentaron un método similar al de Parmelee, pero lo extendieron a casos generales. En varios casos obtuvieron la respuesta dinámica de edificios altos, con y sin pilotes. En sus investigaciones, estos autores encontraron que los desplazamientos máximos para estructuras soportadas en pilotes no eran muy diferentes a las correspondientes a estructuras sin pilotes.

Sugimura (1972) en el modelo que el utilizó, encontró que los factores mas importantes en el diseño de pilotes son las curvaturas y los momentos flexionantes.

Stainitzer y Shekhter (1971), utilizaron un sistema discreto de masas múltiples para determinar las vibraciones producidas por ondas sísmicas en pilotes. Las fuerzas concentradas por conocer en cada masa se determinan en forma similar a la usada por Poulos (1971 - a) para el problema estático, es necesario resolver también el problema dinámico de la teoría de la elasticidad referente a la interacción entre las ondas armónicas longitudinales y un segmento de longitud L/n del pilote (L longitud del pilote y n número de masas concentradas).

En su cálculo analítico, estos dos últimos autores encontraron que las vibraciones en la mitad inferior del pilote son prácticamente las mismas que las del suelo sin pilotes, y que las mayores diferencias ocurren en la parte superior donde se tiene el efecto de la inercia de la superestructura. También observaron que los valores máximos de la presión dinámica del suelo sobre el pilote, así como las fuerzas cortantes y los momentos flexionantes, ocurren en la parte superior del pilote donde éste se une con la superestructura.

H. Tajimi (1969) obtuvo los esfuerzos y los desplazamientos del suelo usando la ecuación de onda en tres dimensiones y determinó la respuesta de los pilotes al igualar el desplazamiento del pilote con el movimiento del suelo.

Minami y Sakurai (1973) estudiaron los efectos de encajonamiento y de pilotes en edificios sujetos a movimientos sísmicos, mediante el análisis de un prototipo de suelo-estructura. En este modelo, los pilotes quedan representados por elementos flexibles que están fijos en su base y en su cabeza. Entre las conclusiones de Minami y Sakurai están :

1. Cuando existen pilotes en las cimentaciones, los períodos de vibración con todos los modelos tienden a ser menores que en el caso de no tener pilotes. Esta tendencia fue más evidente para suelos blandos que para suelos duros.

2. La presencia de pilotes reduce los movimientos horizontales y de cabeceo, y tiende a cambiar el modo vertical hacia modos más altos de vibración. Ellos observaron que los pilotes y el encajonamiento, son más efectivos para disminuir el movimiento de cabeceo que los horizontales, y este efecto parece ser más importante en el caso de suelos compactos.

3. Los pilotes tienden a incrementar los coeficientes sísmicos del cortante en la base para edificios de cualquier altura.

Se observa que los estudios basados en análisis dinámicos completos de sistemas que consideran la acción conjunta de pilote-suelo-estructura, han arrojado a la luz resultados muy valiosos que desde luego ayudan a visualizar mejor el problema. Sin embargo, faltan aún por definir los rangos en que las predicciones de las teorías se cumplen, y donde la acción de los pilotes es importante en la respuesta sísmica de las estructuras.

II.2.3. Pruebas Dinámicas

Los datos que aquí se presentan se refieren a pruebas que han servido para conocer el efecto de cargas dinámicas aplicadas en la cabeza, tales como las producidas por la superestructura cuando ésta se mueve como consecuencia de un sismo.

Prácticamente, nada se ha publicado sobre resultados obtenidos en pruebas que simulen el efecto que produce sobre el pilote, un estrato de suelo cuando se deforma por la acción de un sismo.

Mc Clelland y Focht (1958), realizaron pruebas dinámicas en un pilote tubular de 24" de diámetro. Dichas pruebas consistieron en cargas con duración de cinco seg. La comparación de los módulos entre una y otra prueba, indica que el llamado módulo dinámico es siempre mayor que el módulo estático.

Moore e Irwin (1970), estudiaron los efectos de las vibraciones en el pandeo de pilotes esbeltos, al hacer vibrar un pilote de 31.81" de largo, 1.31" de ancho y 1/16" de grueso, el cual fue hincado en un limo arcilloso ligeramente orgánico.

Sus observaciones indicaron que, hasta velocidades máximas de partícula de 0.4 pulgadas/seg, la capacidad de carga vertical del pilote prácticamente no cambia.

La carga vertical máxima contra el pandeo esta dada por :

$$P_{w} = \sqrt{AE\delta E}$$

donde:

k módulo de reacción lateral

E módulo elástico del material del pilote

I segundo momento del área alrededor del eje de pandeo.

D ancho del pilote.

Estos autores afirman que para vibraciones horizontales mas severas, el valor de k disminuye, y por lo tanto, cuando la severidad de vibración excede la velocidad de 0.4 pulgadas/seg, es de esperarse alguna reducción en la capacidad de carga.

Alpan (1973), informó sobre algunos resultados de pruebas dinámicas vibratorias efectuadas en un pilote de concreto de 30 x 30 cm de sección transversal e hincado en una arcilla plástica de consistencia firme. Sus conclusiones fueron las siguientes :

a) Las pruebas oscilatorias de pilotes in situ resultan adecuadas para proporcionar los datos requeridos en la obtención de la respuesta dinámica de pilotes. La frecuencia natural con amortiguamiento de un pilote para una oscilación horizontal, así como el decremento logarítmico como medida del amortiguamiento del sistema, pueden determinarse satisfactoriamente.

b) El modulo elástico en suelos cohesivos, tal como se obtiene con la técnica de un medidor de presión, puede ser utilizado con certidumbre razonable en el análisis de problemas dinámicos.

c) El uso de la teoría de vigas en un medio elástico, se considera satisfactorio para el análisis dinámico de pilotes lateralmente cargados.

II.3 CASOS HISTORICOS

Hisada et al (1973), a fin de verificar la exactitud de su método, utilizaron los registros obtenidos en sismógrafos de tres edificios que fueron sacudidos por temblores para ponerlas como excitación de entrada en sus cálculos analíticos de estructuras similares.

Seed (1969), menciona el caso de varios edificios piloteados que fueron seriamente dañados por los sismos de Japón y Alaska, en su reporte de gráficas y resultados indica la influencia de las condiciones del terreno en el daño de la estructura, así como la influencia, en la excitación de danos, de la resistencia a la penetración de las puntas de los pilotes, se indica también que los pilotes de 30 a 40 pies de longitud están influenciados por el cambio en la resistencia que ocurre alrededor de la profundidad de 30 pies y concluyen que los daños en cimentaciones piloteadas son un 9% menor que las que sufren las cimentaciones por superficie.

Oksaki (1969) publico los espectros de aceleración de varias estructuras cimentadas con diferente tipo de cimentación y apoyadas en diferente tipo de suelo.

En una cimentación apoyada en losa sobre suelos estratificados blandos, su espectro muestra que el rango de períodos donde ocurren los valores máximos del espectro de aceleración está entre 0.3 y 1.3 segundos, y que el período crítico es siempre mayor de un segundo. En cimentaciones con pilotes en suelos blandos, los valores máximos de las curvas de espectro caen dentro de un segundo, pero los llamados períodos críticos son siempre mayores a un segundo. En cimentaciones con pilas en suelos blandos, se puede observar que la mayor parte de los valores máximos caen sobre un rango pequeño de períodos y que casi todos los períodos críticos se encuentran por abajo de un segundo.

En el artículo de Ohsaki, la única referencia que se hace sobre las características de los pilotes y las pilas es que, en los primeros, los diámetros variaban de 0.35 a 0.50 m y los de las pilas variaban entre 1.4 y 3.2 m, Ohsaki muestra a través de figuras la diferencia entre la respuesta sísmica de estructuras de cimentaciones profundas a base de elementos flexibles (pilotes) y aquellas a base de elementos rígidos (pilas).

Tada et al (1966), efectuaron una investigación de 93 puentes con diferentes tipos de cimentaciones que fueron dañados por sismos. Las diferencias en el porcentaje de daños para las distintas clases de estructuras y cimentaciones no fue muy grande, pero el porcentaje de daños en puentes sobre pilotes resultó ser mayor que el de puentes sobre zapatas.

Kishida (1966) reportó varios tipos de daños en cimentaciones piloteadas ocasionados por el temblor de Niigata, daños como inclinación de pilotes, separación entre pilotes y zapatas, agrietamiento de pilotes, y agrietamiento entre las juntas de pilotes y zapatas. Kishida atribuye los daños al fenómeno de licuación o cambio de densidad en los depósitos de arena.

Fukuoka publicó la falla por pandeo de un pilote tubular y los agrietamientos producidos en varios pilotes de concreto que ocurrieron durante el temblor de Niigata.

Duke (1960) estudió los daños sísmicos ocasionados a puentes con cimentaciones piloteadas, casi todos construidos en suelos muy blandos, quien cree que dichos daños son causados por los excesivos desplazamientos longitudinales o transversales que ocurren en el suelo.

Los datos experimentales señalados indican:

a) Las pruebas efectuadas en modelos de laboratorio y a escala natural han proporcionado valiosos resultados referentes a la respuesta de pilotes sometidos a fuerzas horizontales dinámicas o estáticas, aplicadas en la cabeza de los pilotes, pero prácticamente no se tienen datos que indiquen la respuesta debida exclusivamente al movimiento que el suelo tiene durante la actividad sísmica. La razón de la falta de este tipo de datos es que no se ha establecido claramente, en forma analítica, la aportación de los efectos primordiales que producen la respuesta de un pilote sujeto a sismos; esto es, la originada por la aceleración de la masa que va unida al cabeza del pilote, y la del movimiento del estrato de suelo durante un sismo.

b) Las inspecciones efectuadas en estructuras piloteadas sometidas a sismos han mostrado los daños causados por el efecto debido a los fuertes desplazamientos del suelo; este hecho enfatiza más la importancia de estudiar y determinar analíticamente tal efecto. Además, las diferencias entre las respuestas de cimentaciones en pilas y pilotes sobre suelos blandos, señaladas por Ohsaki, señalan la importancia de establecer los rangos en los cuales la rigidez de los pilotes puede alterar la respuesta sísmica de las estructuras.

CAPITULO TRES
PLANTEAMIENTO DEL METODO

III.1 ANALISIS DE PILOTES SUJETOS A SOLICITACIONES DINAMICAS.

Durante un sismo, en un edificio cimentado sobre pilotes actúan un momento de volteo (M_T) y una fuerza cortante horizontal (V_T), debidos al efecto dinámico del sismo.

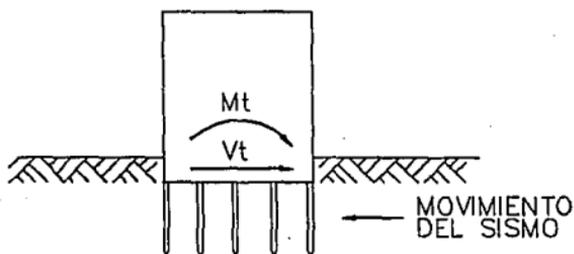


FIG. III.1

El momento M_T y la fuerza V_T se pueden determinar por análisis estático o dinámico. Es preferible el dinámico por tener un análisis más completo y realista.

Zeevaert (1973) presenta un método para obtener M_T y V_T que toma en cuenta en forma integral el efecto del subsuelo y el de la estructura. El procedimiento se lleva a cabo en condiciones dinámicas.

El momento M_T ocasiona un incremento de carga en los pilotes de un extremo de la cimentación y un decremento en el otro extremo. En ocasiones, éste incremento (o decremento) se valúa por medio de la fórmula de la escuadría.

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

En éste trabajo sólo se estudia el efecto de la fuerza V_T , dejando el efecto de M_T para estudios posteriores.

III.2. Desplazamientos Horizontales de Suelo y Pilote.

La fuerza sísmica horizontal V_T ocasiona en la cabeza de un pilote una fuerza cortante que se puede valorar dividiendo la fuerza total V_T entre el número total de pilotes. Así se obtiene la fuerza cortante en la cabeza de un pilote individual V_n .

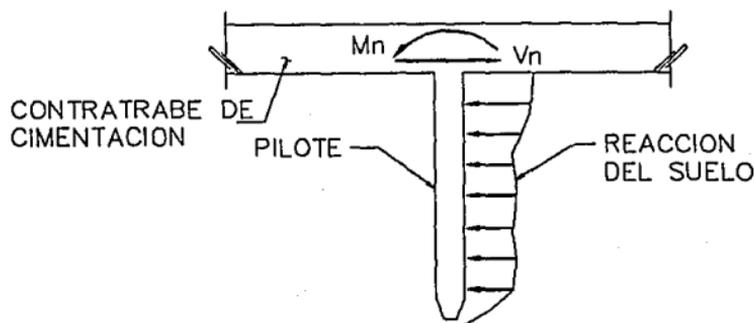


FIG. III.2

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

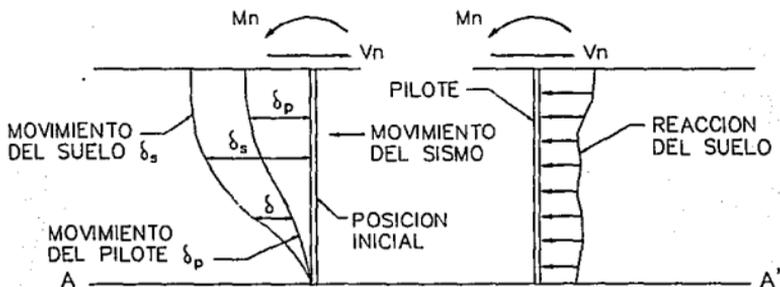


FIG. III.3

El desplazamiento horizontal relativo entre suelo y pilote depende de la magnitud de la fuerza V_n , y de la rigidez del pilote y del suelo.

$$V_n = \frac{V_r}{No. pilotes}$$

Rigidez del Pilote = EI

Donde :

E = Módulo de Elasticidad

I = Momento de Inercia

La rigidez del suelo debe valuarse en condiciones dinámicas. Sabemos que la deformación de un estrato de suelo de espesor h es :

$$\delta = Mv \Delta p H \quad \text{----- (1)}$$

Donde:

M_v = Módulo longitudinal de deformación del suelo (dinámico)

Δp = Esfuerzo promedio aplicado a la mitad del estrato

M_v esta relacionado con el módulo de rigidez al cortante, G .

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

Donde :

ν = Relación de Poisson

G = Módulo de rigidez al cortante.

Para suelos finos saturados sujetos a sollicitación dinámica se tiene :

$$\nu = 0.5 \Rightarrow M\nu = \frac{1}{3G} \quad \text{----- (3)}$$

En la práctica es más fácil determinar G , y después obtener el $M\nu$.

III.3. Propiedades Dinámicas del Suelo.

Para el análisis de pilotes sujetos a cargas laterales por sismo, se requiere conocer el módulo de rigidez al cortante G y la relación de Poisson ν , del suelo.

El módulo G se puede determinar en campo y en el laboratorio. Dentro de las pruebas de campo se pueden mencionar el ensaye geofísico, la prueba del vibrador de superficie y la prueba de placa con un ciclo de carga y descarga. La principal limitación de estas pruebas es el rango de las deformaciones que se alcanzan, ya que se hace necesario que se llegue a deformaciones unitarias en el rango de 0.1% a 0.01% en el campo (intervalo usual de deformaciones ocasionadas por el sismo).

Las pruebas de laboratorio empleadas son la prueba triaxial cíclica, la prueba de corte cíclico y la prueba de la columna de torsión. Esta última es la más realista y la más difícil.

La determinación del módulo G por medio del péndulo de torsión ha dado buenos resultados. Esta prueba consiste en hacer una pequeña modificación a la cámara triaxial convencional. Al espécimen de suelo se le da una pequeña torsión (en un plano horizontal), permitiendo que el sistema vibre libremente, debido a la respuesta elástica del suelo. De esta forma se puede hallar el módulo de cortante G .

Los resultados de pruebas con el péndulo de torsión indican que G aumenta con el confinamiento, tanto en suelos cohesivos como en no cohesivos.

Respecto al módulo de Poisson ν , se tiene:

$\nu = 0.25$ para materiales granulares parcialmente saturados.

$0.42 \leq \nu \leq 0.45$ como límite para suelos cohesivos no consolidados.

III.4. Análisis de Pilotes Sujetos a Cargas Laterales.

Al ser cargado un pilote con una fuerza horizontal V_H en su cabeza, se produce una reacción del suelo por el desplazamiento relativo (δ) entre suelo y pilote. Nos interesa conocer la distribución de esta reacción para valorar el diagrama de momento flexionante y el diagrama de fuerza cortante en el pilote, para poder diseñarlo adecuadamente.

El diagrama de presión de suelo sobre pilote está limitado por una línea continua (Fig. III.4), pero para el análisis lo podemos sustituir por cargas repartidas en tramos de longitud d .

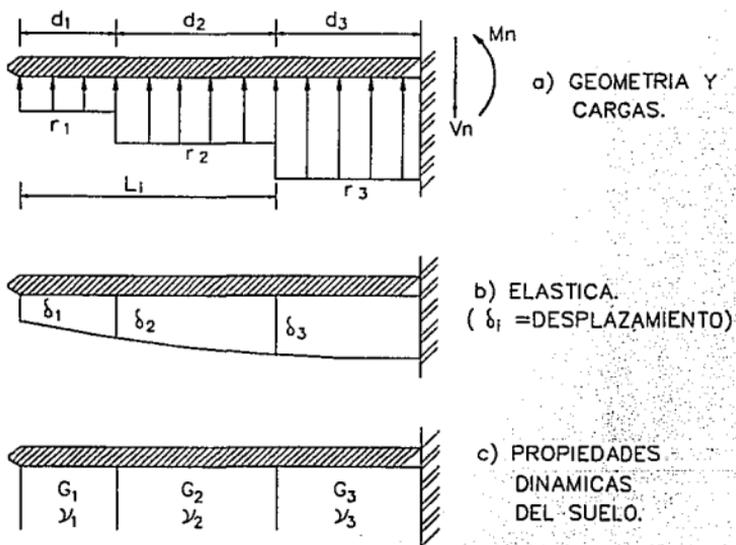


FIG. III.4

El procedimiento que se propone para el análisis de la interacción suelo – pilote consiste en lo siguiente :

a) Manejar las reacciones (r_i) del suelo como incógnitas.

b) Con el análisis estructural del pilote hallar los desplazamientos de éste (δ_i) en función de las reacciones (r_i); por compatibilidad de deformaciones el desplazamiento del pilote será igual al desplazamiento del suelo.

c) Con lo anterior se tiene un sistema de ecuaciones cuyas incógnitas son (δ_i) y (r_i).

d) Mediante el cálculo de deformaciones en el suelo hallar los desplazamientos (δ_i) en función de las reacciones (r_i); se obtiene otro sistema de ecuaciones cuyas incógnitas son (δ_i) y (r_i).

e) Sustituyendo este último sistema en el primero se obtiene un tercer sistema cuyas incógnitas son únicamente las (r_i). Resolviendo el sistema de ecuaciones anterior se obtienen las (r_i) y con esto se tendrán también los desplazamientos (δ_i).

III.5. Análisis Estructural del Pilote.

El análisis estructural se realiza utilizando el método de la viga conjugada.
(Ver anexo A al final del capítulo).

Nos interesa determinar los desplazamientos (δ_i) del pilote en función de las reacciones (r_i) y de las rigidez de la pieza (EI).

Nos conviene trabajar con una sola reacción (r_i) y después tomar en cuenta el efecto de todas las reacciones (r_j).

En la siguiente figura (Fig. III.5) se muestra el intervalo del pivote del nudo 1 al nudo j; en una posición intermedia se encuentra la reacción (r_j). Se muestra también la viga conjugada.

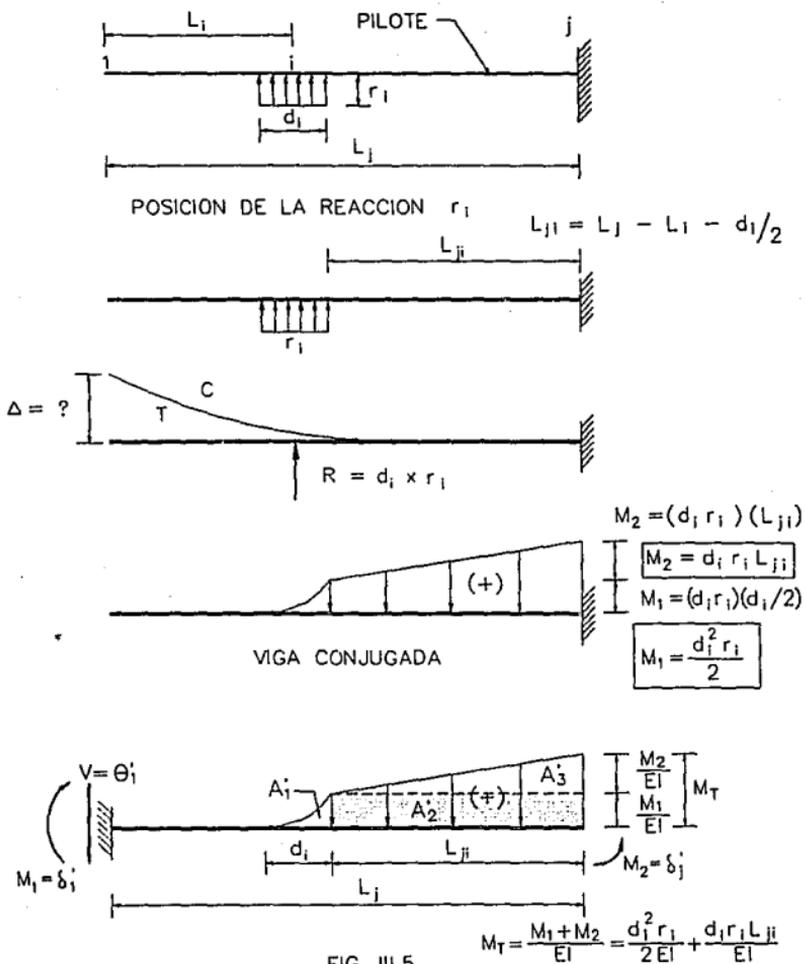


FIG. III.5
41

$$A_1' = \frac{1}{3} d_l \frac{r_l}{2EI} = \frac{1}{EI} r_l \left(\frac{1}{6} d_l^3 \right)$$

$$A_2' = L_\mu \frac{r_l d_l^2}{2EI} = \frac{1}{EI} r_l \left(\frac{1}{2} d_l^2 L_\mu \right)$$

$$A_3' = \frac{1}{2} (L_\mu)^2 \frac{r_l d_l}{EI} = \frac{1}{EI} r_l \left(\frac{1}{2} d_l (L_\mu)^2 \right)$$

Designemos como :

$$A_4 = \frac{d_l^3}{6} \text{----- (4)}$$

$$B_\mu = \frac{d_l^2 L_\mu}{2} \text{----- (5)}$$

$$C_\mu = \frac{d_l L_\mu^2}{2} \text{----- (6)}$$

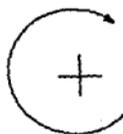
Por lo tanto :

$$A_1' = \frac{r_1}{EI} A_1$$

$$A_2' = \frac{r_2}{EI} B_1$$

$$A_3' = \frac{r_3}{EI} C_1$$

Para la deducción de las fórmulas se tomará la siguiente convención de signos:



Tomando momentos en la viga conjugada con respecto al nudo j obtenemos lo siguiente:

$$M_{(j)} = -\theta_1 L_p + \delta_1 - A_1' \left(L_p + \frac{d}{4} \right) - A_2' \left(\frac{L_p}{2} \right) - A_3' \left(\frac{L_p}{3} \right) - \delta_j$$

Sustituyendo y ordenando términos la ecuación queda de la siguiente forma :

$$-\theta_1 L_j + \delta_1 - \delta_j - \frac{1}{EI} r_i \left[A_i \left(L_\mu + \frac{1}{4} d_i \right) + \frac{B_\mu L_\mu}{2} + \frac{C_\mu L_\mu}{3} \right] = 0$$

Multiplicando por (—1) la ecuación anterior queda de la siguiente forma :

$$\theta_1 L_j - \delta_1 + \delta_j + \frac{1}{EI} r_i \left[A_i \left(L_\mu + \frac{1}{4} d_i \right) + \frac{B_\mu L_\mu}{2} + \frac{C_\mu L_\mu}{3} \right] = 0$$

Designémosle la variable (D_{ij}) a los términos que se encuentran dentro del corchete :

$$D_\mu = A_i L_\mu + \frac{1}{4} d_i + \frac{B_\mu L_\mu}{2} + \frac{C_\mu L_\mu}{3} \quad \text{----- (7)}$$

Por lo tanto :

$$\theta_1 L_j - \delta_1 + \delta_j + \frac{1}{EI} r_i D_\mu = 0$$

De manera análoga para una reacción colocada en el tramo (j) tenemos lo siguiente :

$$\theta_1' L_j - \delta_1' + \delta_j' + \frac{1}{64EI} A_j d_j r_j = 0$$

Para todas las reacciones (r_i) en el intervalo 1 - j se tiene :

$$\theta_1 L_j - \delta_1 + \delta_j + \frac{1}{EI} \sum_{i=1}^{j-1} D_\mu r_i + \frac{1}{64EI} A_j d_j r_j = 0$$

En donde θ_1 es el giro en el nudo (1) debido a la totalidad de las reacciones.

Multiplicando ambos miembros de esta última ecuación por EI :

$$EI\theta_1 L_1 - EI\delta_1 + EI\delta_1 + \sum_{i=1}^{j-1} D_p r_i + \frac{1}{64} A_j d_j r_j = 0 \quad \text{----- (8)}$$

para el intervalo $2 < j < n - 1$

Para la reacción r_1 se tiene $L_1 = 0$ y para L_{j1} se tiene :

$$L_{j1} = L_j - d_1 ; \text{ para } i = 1 \quad \text{----- (9)}$$

Para el resto de las reacciones r_i :

$$L_{ji} = L_j - l_i - \frac{d_i}{2} \quad \text{----- (10)}$$

para el intervalo $2 < i < n$

En forma similar para el nudo (n) obtenemos lo siguiente :

$$EI L_n \theta_1 - EI \delta_1 + EI \delta_n + \sum_{i=1}^{j-1} D_n r_i + \frac{1}{4} A_n d_n r_n = 0 \quad \text{----- (11)}$$

para $j = n$

La condición de equilibrio de fuerzas en toda la viga conjugada permite establecer la siguiente expresión:

$$\frac{1}{EI} \sum_{i=1}^n (A_i + B_i + C_i) r_i + \theta_1 - \theta_n = 0$$

Pero $\theta_n = 0$, dado que consideramos que el pilote está empotrado en su cabeza, por lo tanto:

$$EI\theta_1 + \sum_{i=1}^n (A_i + B_i + C_i) r_i = 0 \quad \text{----- (12)}$$

En el pilote debe haber equilibrio de fuerzas, cumpliéndose la siguiente expresión:

$$\sum_{i=1}^n d_i r_i = V_n \quad \text{----- (13)}$$

Todas las expresiones obtenidas anteriormente son válidas para pilotes de sección constante en toda su longitud, de tipo prismático o cilíndrico, considerando que el pilote está empotrado en su cabeza.

Concluyendo, para el análisis estructural del pilote se emplean las ecuaciones, (8), (11), (12) y (13), en las cuales se tienen como incógnitas:

- El giro en el nudo 1, (θ_1)
- Los desplazamientos, (δ_i)
- Las reacciones, (r_i)

III.6 Deformaciones del suelo.

Como se comentó anteriormente, el valor del módulo G y la relación de Poisson ν se pueden obtener en el campo o en el laboratorio y con ellos se calcula posteriormente el módulo longitudinal de deformación M_v mediante la siguiente expresión.

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

Determinemos ahora las deformaciones del suelo en función de las reacciones:

La deformación del "cuadro", ij debida a una reacción aplicada en K valdrá ;

$$\delta_{yjk} = M_{v_{ij}} h_j (\Delta T)_{yjk}$$

En donde :

δ_{ijk} = deformación del "cuadro" ij debida a una reacción colocada en k .

$M_{v_{ij}}$ = módulo longitudinal de deformación del "cuadro" ij .

h_j = espesor del "estrato" vertical j .

$(\Delta T)_{ijk}$ = incremento del esfuerzo normal horizontal en el cuadro ij debido a la presión $\frac{Rk}{b}$

en el contacto pilote – suelo.

b = diámetro o ancho del pilote

$$\text{Pero } (\Delta T)_{yt} = I_{yt} \frac{Rk}{b}$$

Siendo :

I_{ijk} = valor de influencia en el cuadro ij debido a una presión unitaria colocada en K.

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

Este valor puede obtenerse considerando cargas unitarias verticales o bien cargas unitarias horizontales. (ver anexo B al final del capítulo.)

Con base en lo anterior, la deformación del cuadro ij debida a todas las reacciones R_k será:

$$\delta_y = \frac{1}{b} M_{vy} h_y \sum_{k=1}^n I_{ijk} R_k$$

El desplazamiento horizontal del nudo i valdrá:

$$\delta_i = \sum_{j=1}^n \delta_y$$

siendo p = número de "estratos verticales" del subsuelo.

Por lo tanto, el desplazamiento del nudo i es:

$$\delta_i = \frac{1}{h} \sum_{j=1}^p M_{ij} e_j \sum_{k=1}^n I_{jk} r_k \quad \text{----- (14)}$$

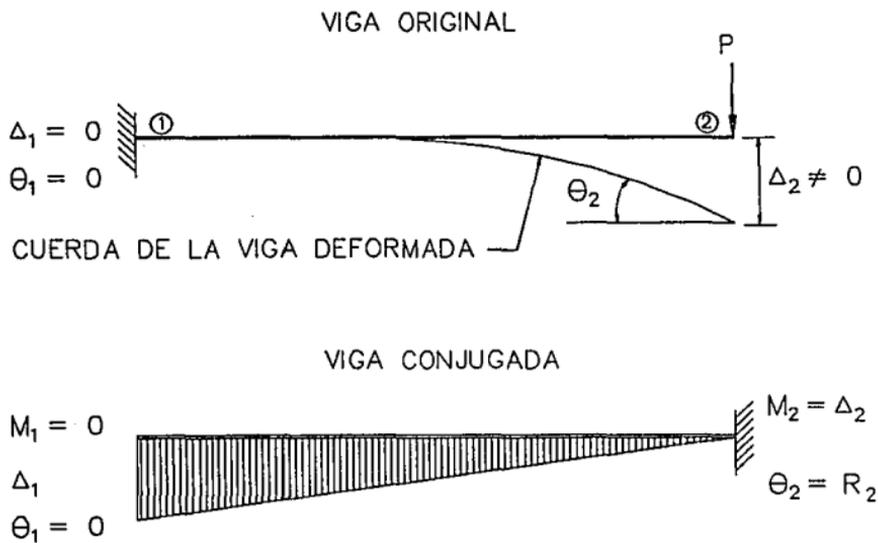
ANEXO III.A : METODO DE LA VIGA CONJUGADA

El método de la viga conjugada supone una viga ficticia, la cual conserva la misma longitud que la viga real cambiando los apoyos de la viga por otros que se le asignan de acuerdo al método de análisis.

Si la viga conjugada se carga con el diagrama M/EI de la viga real, la fuerza cortante de la viga conjugada en una sección cualquiera es igual a la pendiente de la tangente de la viga real en ese punto, y el momento flexionante de la viga conjugada en un punto cualquiera es el desplazamiento de ese punto en la viga real.

Cabe aclarar que los desplazamientos y los giros se miden con respecto a la posición original de la viga y no con respecto a la cuerda de la viga deformada tomando como referencia dos puntos de ella. La convención de signos que se emplea cuando una viga se carga con el diagrama (M/EI) es la establecida para fuerza cortante y momento flexionante, considerando los signos automáticamente.

Para una mayor visualización y comprensión de lo escrito se presenta la siguiente figura:



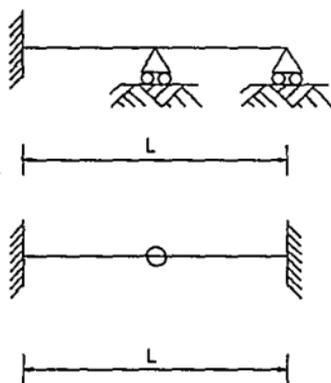
Los apoyos de la viga conjugada se pueden determinar considerando las características de la viga real y las condiciones correspondientes en la viga conjugada.

En la siguiente tabla podemos ver los tipos de apoyo de viga real a viga conjugada.

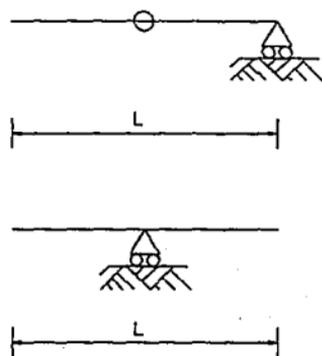
VIGA REAL	VIGA CONJUGADA
 EMPOTRAMIENTO	 LIBRE
 SIMPLE	 SIMPLE
 ARTICULACION (INTERMEDIA)	 SIMPLE (INTERMEDIO)
 SIMPLE (INTERMEDIO)	 ARTICULACION (INTERMEDIA)
 LIBRE	 EMPOTRAMIENTO

EJEMPLOS

VIGA REAL



VIGA CONJUGADA



ANEXO III.B : CALCULO DE ESFUERZOS EN LA MASA DE SUELO

a) Considerando Cargas Verticales.

La distribución de esfuerzos verticales en la masa del suelo debidos a cargas aplicadas en la superficie se puede calcular por medio de la siguiente expresión para una carga concentrada Q en la superficie, según Fröhlich (1942), (ver fig. B.1)

$$\sigma_z = \frac{Q}{z^2} I_\mu \quad \text{----- (B.1)}$$

En donde:

$$I_\mu = \frac{\chi}{2\pi} \cos^{(\chi+2)} \Psi \quad \text{----- (B.2)}$$

o bien :

$$I_\mu = \frac{\chi}{2\pi} \left(\frac{1}{1 + (r/z)^2} \right)^{(\chi+2)/2} \quad \text{----- (B.3)}$$

χ es el factor de distribución de esfuerzos de Fröhlich. Dicho factor depende de las condiciones estratigráficas y mecánicas de compresibilidad del suelo:

$\chi = 1.5$, aproximadamente la solución de Westergaard para un suelo fuertemente estratificado reforzado por estratos horizontales múltiples e indeformables, $\nu = 0$.

$\chi = 2$, suelo estratificado, con estratos de diferentes deformabilidades.

$\chi = 3$, solución de Boussinesq, suelo homogéneo e isótropo.

$\chi = 4$, suelo homogéneo en que la compresibilidad se reduce con la profundidad, como en el caso de las arenas.

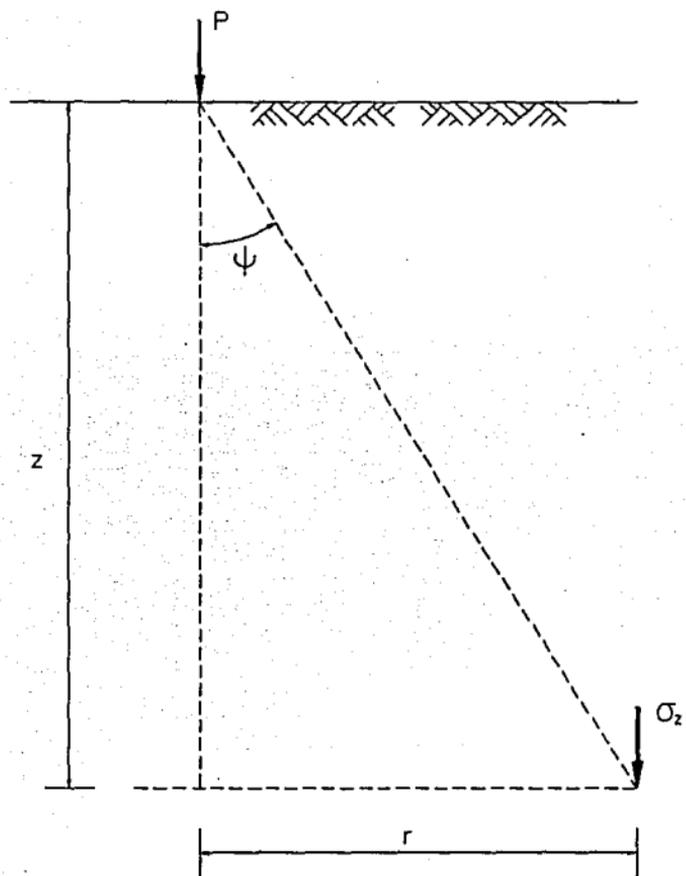
Utilizando la ecuación B.1 se pueden construir redes de esfuerzo por medio de las cuales se determinan los valores de influencia unitarios (I_{ji}) en el subsuelo en áreas cualesquiera cargadas con $q = +1$. La distribución de esfuerzos en la masa del suelo puede determinarse con suficiente precisión por medio de las redes de esfuerzos (Zeevaert 1973), o bien calcular los valores de influencia I_{ji} por medio de las siguientes fórmulas (Zeevaert 1980), de acuerdo con la figura B.2.

Para $\chi = 2$

$$I_{ji} = \frac{1}{\pi} \left(\alpha_0 + \frac{1}{2} \text{sen} 2\alpha_0 \right) (\text{sen}^2 \Psi_1 - \text{sen}^2 \Psi_2) \quad \text{----- (B.4)}$$

Para $\chi = 3$

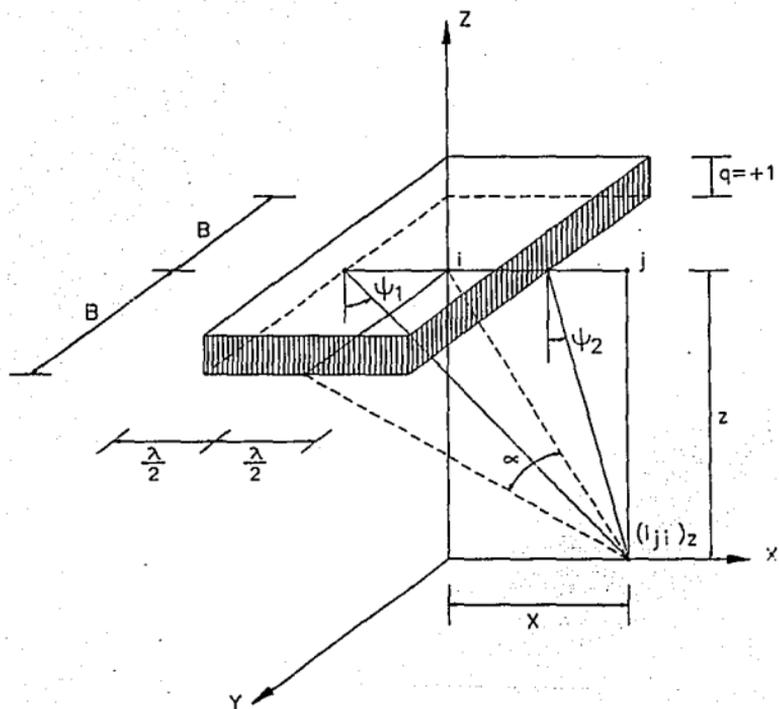
$$I_{ji} = \frac{3}{2\pi} \left(\text{sen} \alpha_0 - \frac{\text{sen}^3 \alpha_0}{3} \right) \left[(\Psi_1 - \Psi_2) + (\text{sen}(\Psi_1 - \Psi_2)) (\cos(\Psi_1 + \Psi_2)) \right] \quad \text{----- (B.5)}$$



ESFUERZO VERTICAL EN UN PUNTO DEBIDO A UNA CARGA PUNTUAL APLICADA EN LA SUPERFICIE.

(ZEEVAERT, 1980)

FIG. B.1



ESFUERZO VERTICAL EN UN PUNTO DEBIDO A UNA AREA RECTANGULAR UNIFORMEMENTE CARGADA.

(ZEEVAERT, 1980)

FIG. B.2

Para $\gamma = 4$

$$I_{\mu} = \frac{1}{\pi} \left[\frac{3}{2} \alpha_0 + \frac{3}{4} \operatorname{sen} 2\alpha_0 + \operatorname{sen} \alpha_0 \cos^3 \alpha_0 \right] \left[(\operatorname{sen} \Psi_1 - \operatorname{sen} \Psi_2) - \frac{1}{3} (\operatorname{sen}^3 \Psi_1 - \operatorname{sen}^3 \Psi_2) \right] \quad \text{(B.6)}$$

Los argumentos angulares en las fórmulas anteriores son:

$$\alpha_0 = \tan^{-1} \frac{B}{\sqrt{x^2 + z^2}}$$

$$\Psi_1 = \tan^{-1} \frac{x + \lambda/2}{z}$$

$$\Psi_2 = \tan^{-1} \frac{x - \lambda/2}{z}$$

III.7 Compatibilidad de Desplazamientos.

En las expresiones obtenidas del análisis estructural de pilote (ecs. 8 y 11) aparecen como incógnitas los desplazamientos δ_i de la pieza , éstos deben ser iguales a los obtenidos para el suelo (ec. 14), para que haya compatibilidad entre desplazamientos del pilote y los correspondientes del suelo. Por lo tanto, los valores obtenidos con la ec. 14 deben sustituirse en las escs. 8 y 11, así desaparecen como incógnitas los desplazamientos δ_i y quedan por determinar únicamente el giro en el nudo 1, (θ_1), y las n reacciones, (r_i).

La ec. 8 se aplica a los nudos 2 a $n-1$ y, además, contamos con las ecs. 11, 12 y 13 por lo que disponemos de ($n + 1$) ecuaciones, número igual al de valores desconocidos (incógnitas) y por consiguiente se puede resolver el sistema de ecuaciones planteado, obteniendo así el giro θ_1 y las r_i . Ahora, sustituyendo θ_1 y las r_i en la ec. 14 se determinan los desplazamientos δ_i del suelo, que son los mismos del pilote.

Con esto queda resuelto el problema, ya que se obtienen los valores de interés práctico para el ingeniero:

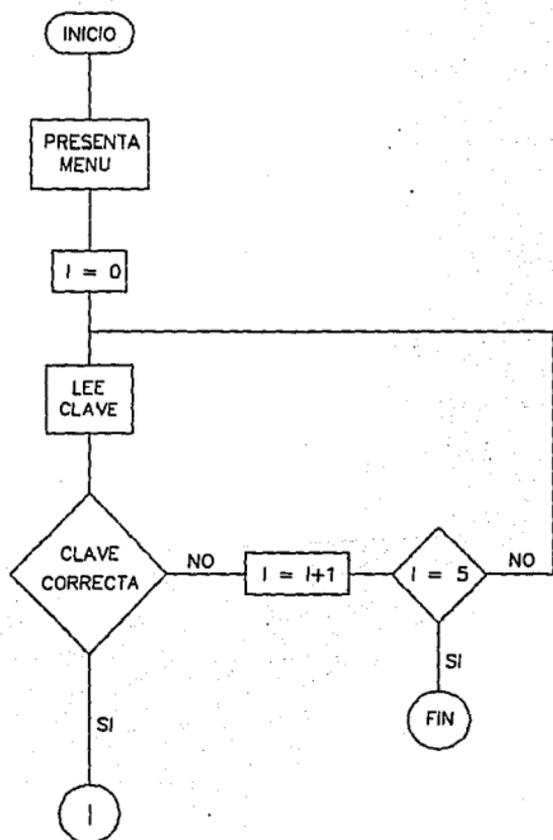
- El giro en el extremo libre del pilote (θ_1)
- Las reacciones del suelo (r_i).
- Los desplazamientos horizontales relativos del pilote con respecto al suelo (δ_i)

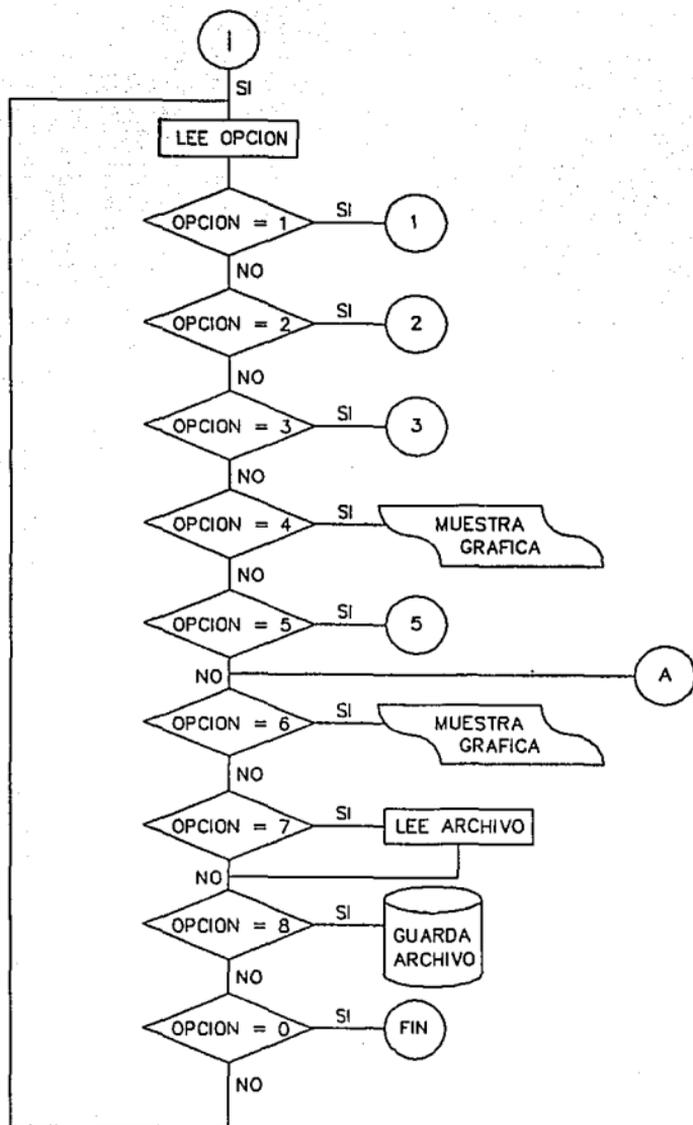
Con las reacciones r_i pueden obtenerse el diagrama de momento flexionante y el diagrama de fuerza cortante en el pilote, necesarios para el diseño estructural del elemento.

CAPITULO CUATRO
PROGRAMACION DEL METODO

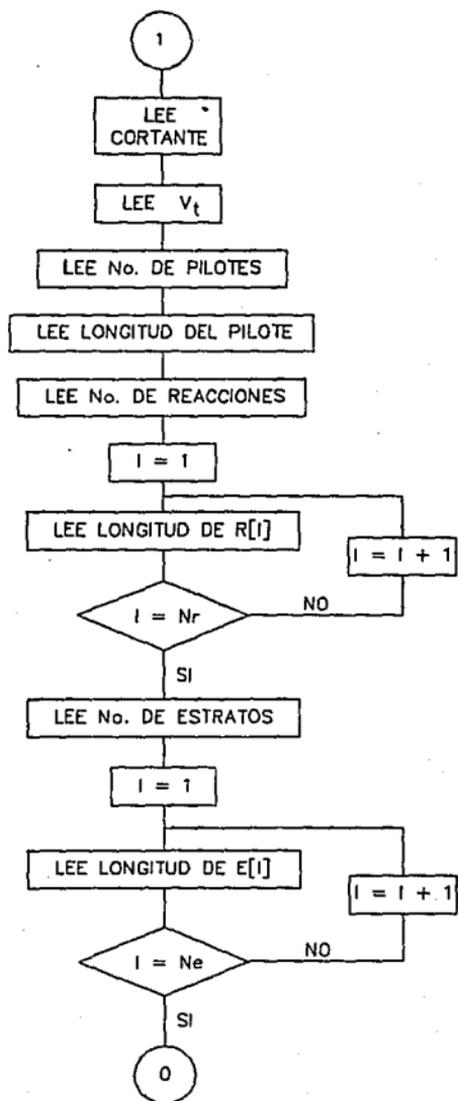
PROGRAMA DISP
DIAGRAMA DE FLUJO

MENU PRINCIPAL

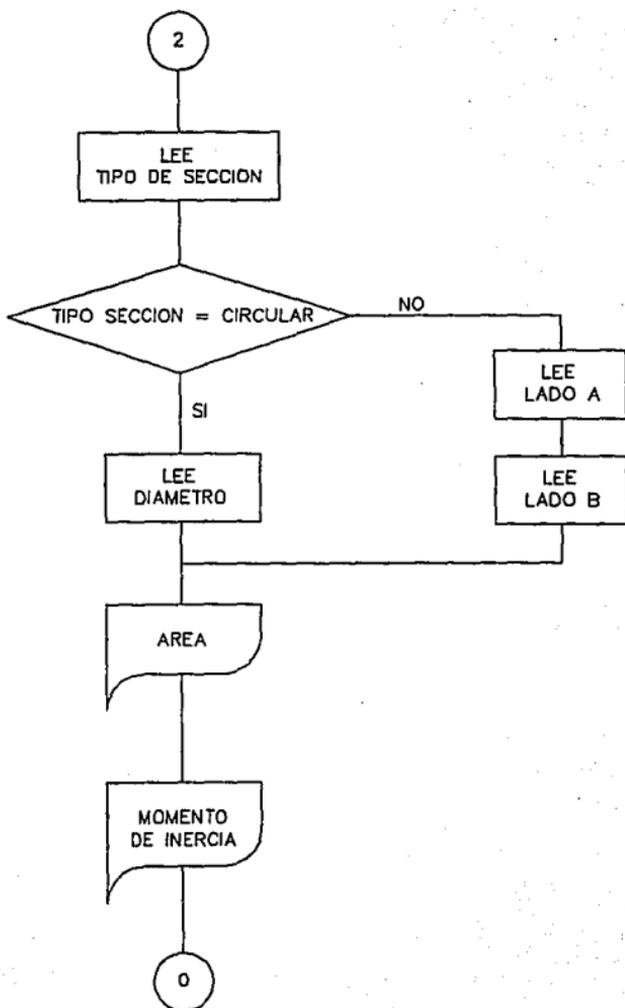




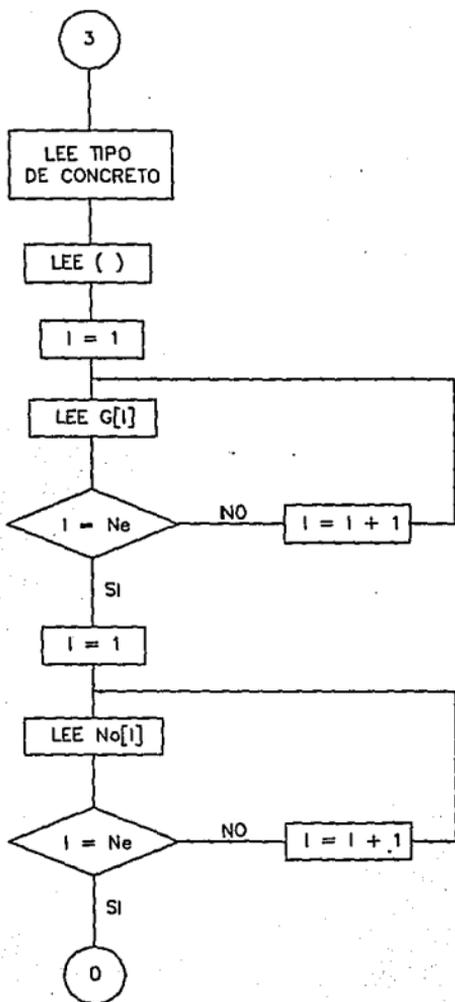
LECTURA DE
DATOS GENERALES



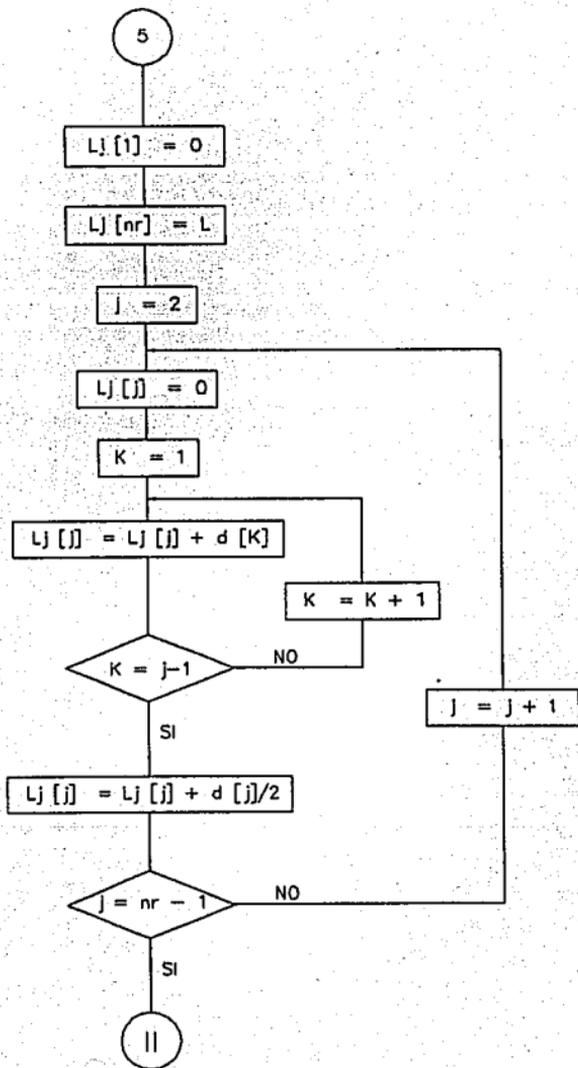
LECTURA DE
PROPIEDADES GEOMETRICAS



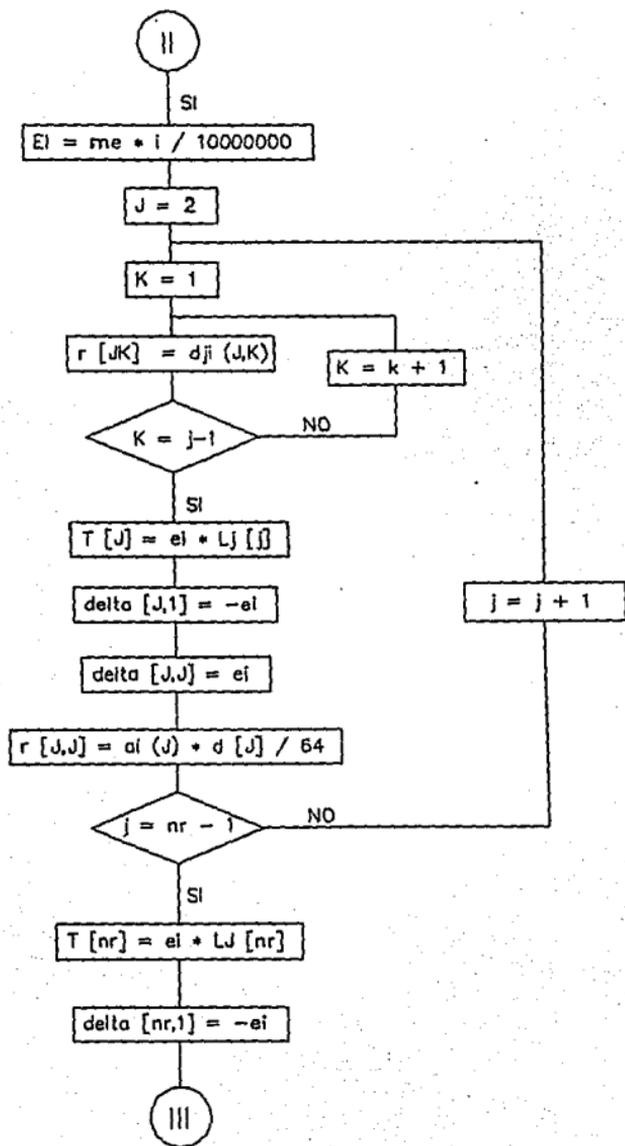
LECTURA DE
PROPIEDADES
DE LOS MATERIALES



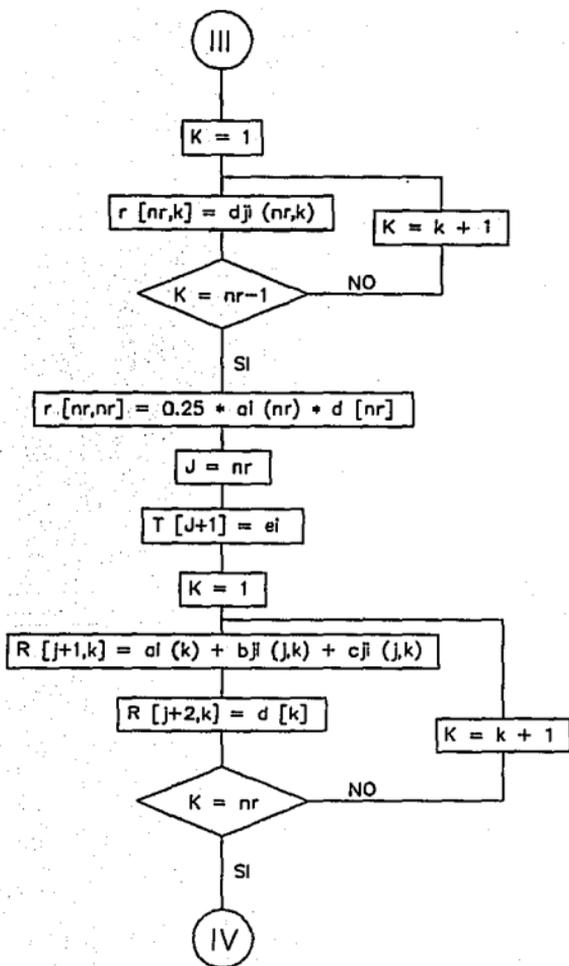
CÁLCULO DE L_j

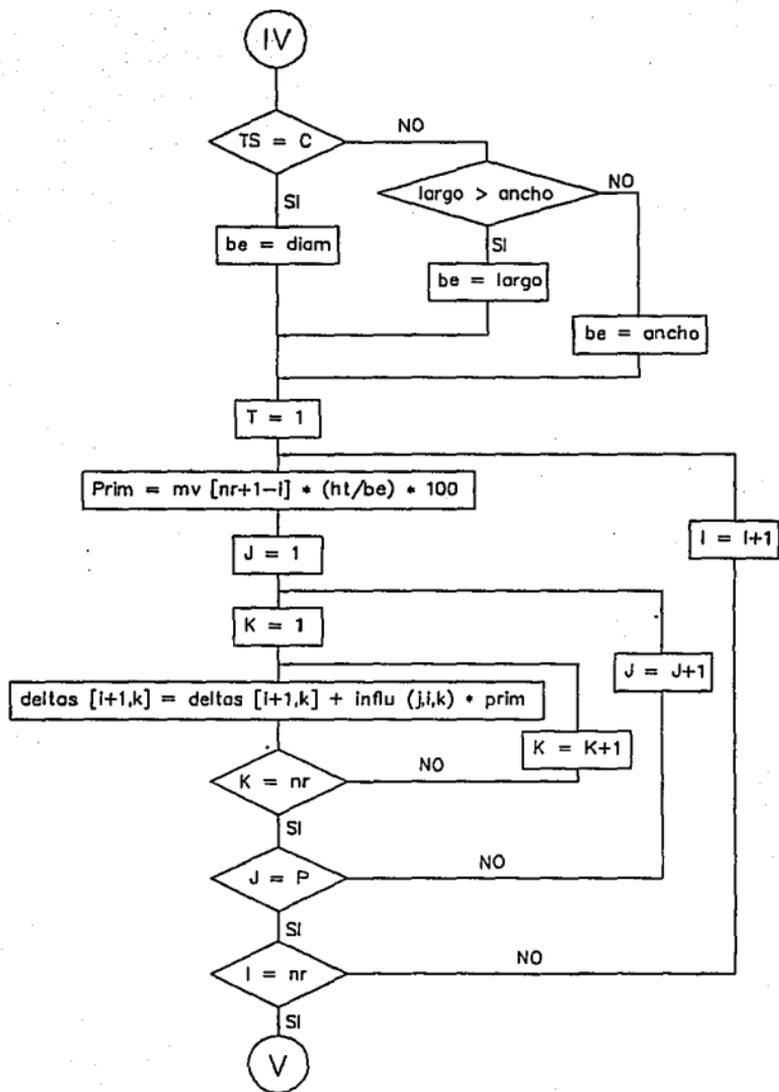


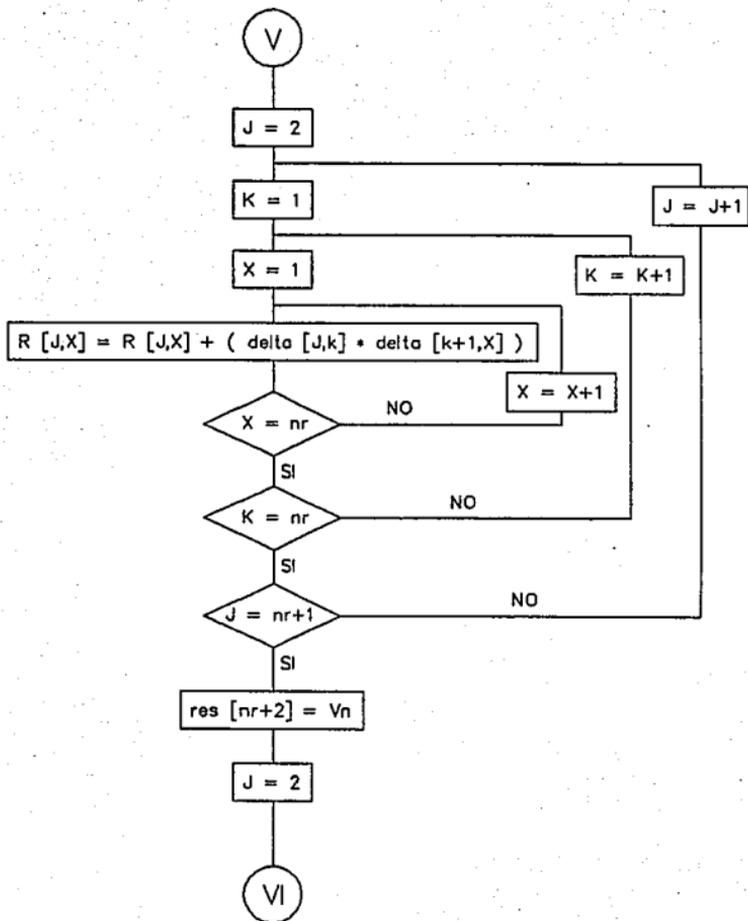
CALCULO DE L_j

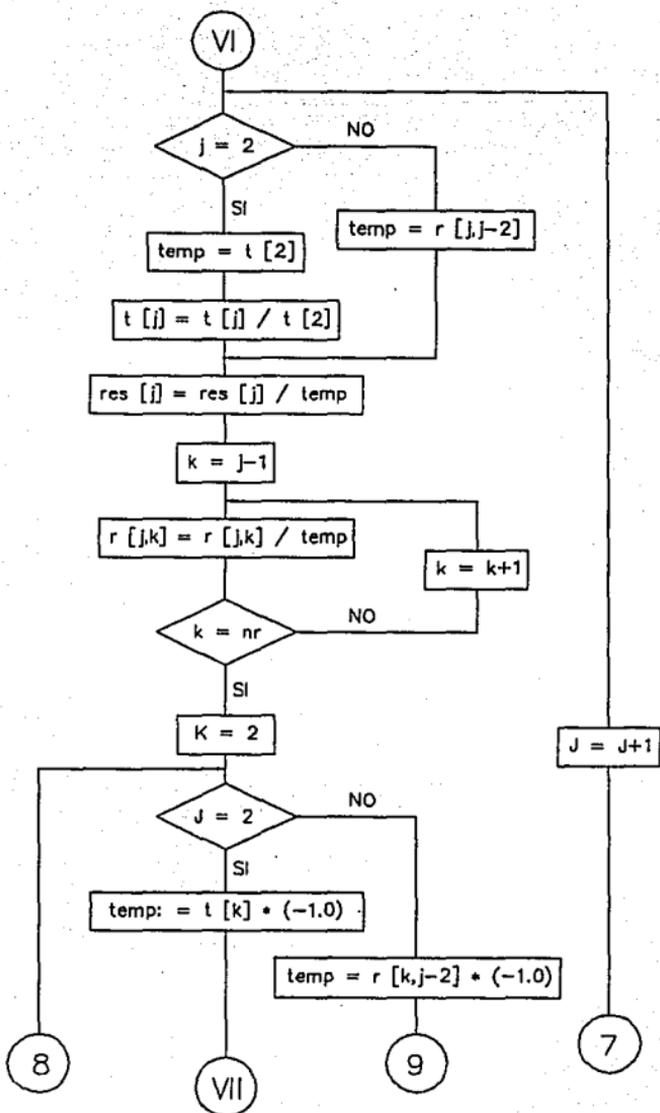


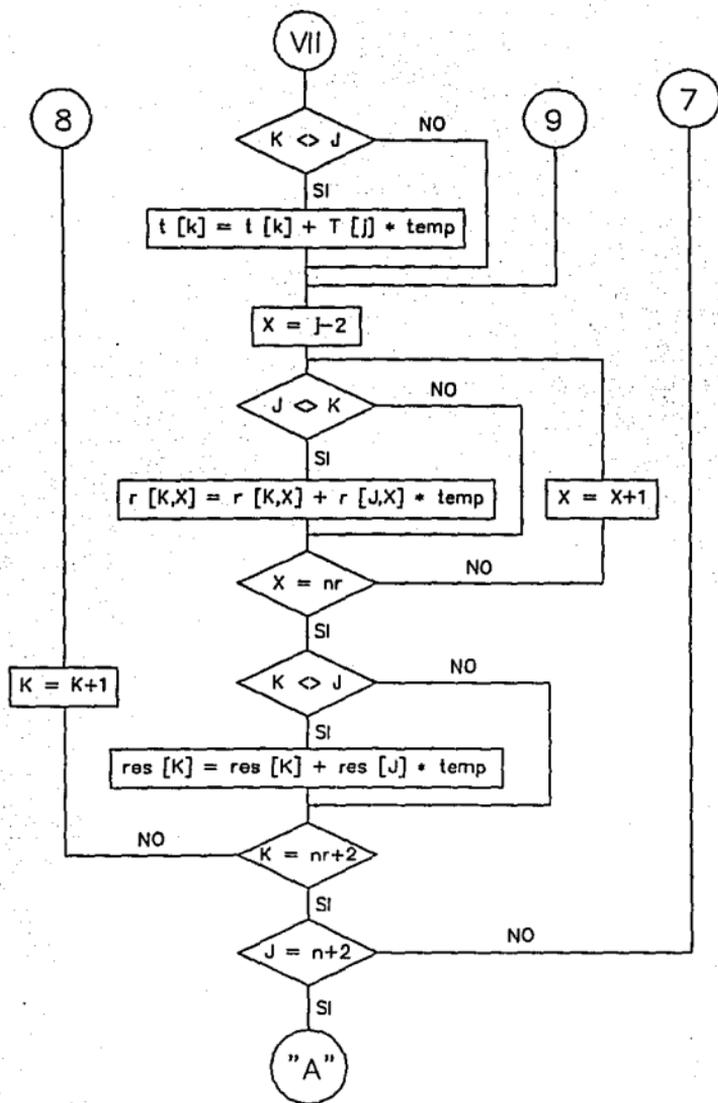
CALCULO DE LJ











PROGRAM DISP;

USES

DOS, {módulo para manejo de llamadas al sistema operativo}
CRT, {módulo para manejo del monitor}
Graph; {módulo para manejo de gráficas}

VAR

ci, {momento de inercia}
vt,
np, {no. de pilotes}
l, {longitud del pilote}
diam, {diámetro de la sección transversal del pilote si es redondo}
a, {área de la sección transversal del pilote}
i, {momento de inercia}
ancho, {ancho del pilote si es prismático}
largo, {largo del pilote si es prismático}
fc,
vn,
me,
temp, {variable de usos múltiples}
ht, {espesor de los estratos verticales}
prim, {primer sumatoria en la ecuación de suelos}
bc, {diámetro o lado más largo}

sum
:REAL;

sec,
tipoc {tipo de sección circular o prismática}
:BOOLEAN;

nr, {no. de reacciones}
nc, {no. de estratos}
j, {variable contador}
k, { " " }
x, { " " }
y, { " " }
respuesta, {variable para manejo de entradas}
p {no. de estratos verticales}

:INTEGER;

ts,
resp,
sal
:CHAR;

d, {matriz de longitudes de las reacciones}
h, {matriz de espesores de los estratos}
lj, {matriz de valores lj}
mc,
mp,
mv, {Módulo longitudinal de deformación}
t, {teta}
res, {segundos términos en el sistema resultante}

```

resd          {desplazamientos}
:ARRAY[1..30] OF REAL;

delta,        {valores deltas en la ecuación de estructuras}
deltas,       {Matriz de los valores de los deltas en la ec. de suelos}
r             {valores de las reacciones en la ecuación}
:ARRAY[1..20,1..20] OF REAL;

paso1,        {variable para verificar que se paso por el módulo anterior}
paso2,        {"}
paso3,        {"}
paso4,        {"}
paso5,        {"}
salida
:BOOLEAN;

tc,
st,
nombre
:STRING;

direc:dirstr;
name:namestr;
ext:extstr;

```

```

FUNCTION XI(J:INTEGER):REAL;

```

```

VAR
X:REAL;

BEGIN
X:=0;
FOR Y:=1 TO J-1 DO
X:=X+D[Y];
X:=X+D[J]/2;
XI:=X;
END;

```

```

FUNCTION INFLU(I,J,K:INTEGER):REAL;

```

```

VAR
A0,FI1,FI2,X,Z,INF:REAL;

BEGIN
Z:=(I-1)*HT+(HT/2);
X:=ABS(XI(K)-LJ[J]);
A0:=ARCTAN(BE/200/SQRT(SQR(X)+SQR(Z)));
FI1:=ARCTAN((X+D[K]/2)/Z);
FI2:=ARCTAN((X-D[K]/2)/Z);
INF:=3/2/PI*(SIN(A0)-SIN(A0)*SIN(A0)*SIN(A0)/3)*(FI1-FI2+SIN(FI1-FI2)*COS(FI1+FI2));
INFLU:=INF;
END;

```

PROCEDURE DIBUJA_PANTALLA;

BEGIN

WINDOW (1,1,80,25);

CLRSCR;

TEXTCOLOR(7);

FOR X:=2 TO 78 DO

BEGIN

GOTOXY(X,1);

WRITE('-');

GOTOXY(X,4);

WRITE('-');

GOTOXY(X,25);

WRITE('-');

END;

FOR X:=2 TO 24 DO

BEGIN

GOTOXY(1,X);

WRITE(' ');

GOTOXY(79,X);

WRITE(' ');

END;

GOTOXY(1,1);

WRITE('+');

GOTOXY(79,1);

WRITE('+');

GOTOXY(79,25);

WRITE('+');

GOTOXY(1,25);

WRITE('+');

TEXTCOLOR(15);

WRITELN(' PROGRAMA PARA EL DISEÑO DE PILOTES POR MEDIO DEL ANÁLISIS');

WRITELN(' INTERACCIÓN SUELO-PILOTE PROVOCADA POR EFECTOS SÍSMICOS');

WRITELN('1) - INGRESAR DATOS GENERALES');

WRITELN('2) - INGRESAR PROPIEDADES GEOMÉTRICAS');

WRITELN('3) - INGRESAR PROPIEDADES DE LOS MATERIALES');

WRITELN('4) - PRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS DATOS DE ENTRADA');

WRITELN('5) - PRESENTACIÓN GRÁFICA DE RESULTADOS');

WRITELN('6) - PRESENTACIÓN DE RESULTADOS');

WRITELN('7) - ABRIR ARCHIVO DE DATOS');

WRITELN('8) - GUARDAR ARCHIVO DE DATOS');

WRITELN('0) - SALIR');

WRITE(' OPRIMA EL NÚMERO DE OPCIÓN:');

END;

PROCEDURE DIBUJA_PANTALLA;

BEGIN

WINDOW (0,0,80,25);

CLRSCR;

TEXTCOLOR(7);

FOR X:=2 TO 79 DO

BEGIN

GOTOXY(X,1);

WRITE('-');

GOTOXY(X,4);

WRITE('-');

GOTOXY(X,25);

WRITE('-');

GOTOXY(X,23);

WRITE('-');

END;

FOR X:=2 TO 24 DO

BEGIN

GOTOXY(1,X);

WRITE(' ');

GOTOXY(79,X);

WRITE(' ');

END;

GOTOXY(1,1);

WRITE('+');

GOTOXY(79,1);

WRITE('+');

GOTOXY(79,25);

WRITE('+');

GOTOXY(1,25);

WRITE('+');

TEXTCOLOR(14)

END;

FUNCTION LEE_VAR(RE:REAL;I,K:INTEGER):REAL;

VAR

CH:CHAR;

ST:STRING;

I:INTEGER;

SALIDA:BOOLEAN;

VALOR:REAL;

BEGIN

SALIDA:=FALSE;

STR(RE:4:2,ST);

```

IF RE=0 THEN ST:= "";
GOTOXY(J,K);
CLREOL;
WRITE(ST);
GOTOXY(J,K);
I:=1;
WHILE NOT(SALIDA) DO
BEGIN
    CH:=UPCASE(READKEY);
    CASE CH OF
        'I','9','0','.':BEGIN
            INSERT(CH,ST,I);
            INC(I);
            GOTOXY(J,K);
            WRITE(ST);
        END;
        #13:BEGIN
            VAL(ST,VALOR,I);
            SALIDA:=TRUE;
        END;
        #8:BEGIN
            IF I<>1 THEN
            BEGIN
                DEC(I);
                DELETE(ST,I,1);
                GOTOXY(J,K);
                WRITE(ST);
                GOTOXY(J+1-1,K);
            END;
        END;
        #0:BEGIN
            CH:=READKEY;
            CASE CH OF
                #83:BEGIN
                    IF LENGTH(ST)<>0 THEN DELETE(ST,I,1);
                    GOTOXY(J,K);
                    WRITE(ST);
                    GOTOXY(J+1-1,K);
                END;
                #77:BEGIN
                    IF I<LENGTH(ST)+1 THEN
                        INC(I);
                        GOTOXY(J+1-1,K);
                    END;
                #75:BEGIN
                    IF I<>1 THEN
                        DEC(I);
                        GOTOXY(J+1-1,K);
                    END;
                END;
            END;
        END;
    END;
END;
LEE_VAR:=VALOR;

```

END;

FUNCTION LEE_INT(RE:INTEGER;J,K:INTEGER):INTEGER;

VAR

CH:CHAR;
ST:STRING;
I:INTEGER;
SALIDA:BOOLEAN;
VALOR:INTEGER;

BEGIN

SALIDA:=FALSE;
STR(RE:2,ST);
IF RE=0 THEN DELETE(ST,1,2);
GOTOXY(J,K);
WRITE(ST);
GOTOXY(J,K);
I:=1;
WHILE NOT(SALIDA) DO
BEGIN
CH:=UPCASE(READKEY);
CASE CH OF
' '..'9','0':BEGIN
INSERT(CH,ST,I);
INC(I);
GOTOXY(J,K);
WRITE(ST);
GOTOXY(J+I-1,K);
END;
#13:BEGIN
VAL(ST,VALOR,I);
SALIDA:=TRUE;
END;
#8:BEGIN
IF I<>1 THEN
BEGIN
DEC(I);
DELETE(ST,I,1);
GOTOXY(J,K);
WRITE(ST);
GOTOXY(J+I-1,K);
END;
END;
#0:BEGIN
CH:=READKEY;
CASE CH OF
#83:BEGIN
IF LENGTH(ST)<>0 THEN DELETE(ST,I,1);
GOTOXY(J,K);
WRITE(ST);
GOTOXY(J+I-1,K);
END;

```

#77:BEGIN
  IF I<LENGTH(ST)+1 THEN
    INC(I);
    GOTOXY(J+1-I,K);
  END;
#75:BEGIN
  IF I<=1 THEN
    DEC(I);
    GOTOXY(J+1-I,K);
  END;
END;
END;
END;
LEE_INT:=VALOR;
END;

```

PROCEDURE LEE_GENERALES;

```

BEGIN
  WINDOW (1,1,80,25);
  GOTOXY(27,2);
  WINDOW(2,5,50,25);
  TEXTCOLOR(15);
  VT:=LEE_VAR(VT,13,5);
  REPEAT
    NP:=LEE_VAR(NP,13,8);
  UNTIL NP<=0;
  GOTOXY(15,13);
  WRITELN(VN:4:2,'',[TON]);
  L:=LEE_VAR(L,12,17);
  WINDOW (33,5,59,22);
  NR:=LEE_INT(NR,13,4);
  WINDOW (33,13,59,22);
  SUM:=0;
  FOR J:=1 TO NR DO
  BEGIN
    TEXTCOLOR(14);
    WRITE(' D',J,' ');
    TEXTCOLOR(15);
    D[J]:=LEE_VAR(D[J],8,J);
    WRITELN;
    TEXTCOLOR(14);
    SUM:=SUM+D[J];
  END;
  WINDOW (60,5,78,21);
  TEXTCOLOR(15);
  NE:=LEE_INT(NE,13,3);
  WINDOW (60,13,78,22);
  SUM:=0;
  FOR J:=1 TO NE DO
  BEGIN
    TEXTCOLOR(14);

```

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

```

WRITE(' H'J,' ');
TEXTCOLOR(15);
H[J]:=LEE_VAR(H[J],8,J);
WRITELN;
SUM:=SUM+H[J];
TEXTCOLOR(14);
END;
PASO1:=TRUE;
END;

```

PROCEDURE DATOS_GENERALES;

```

BEGIN
WINDOW (1,1,80,25);
DIBUJA_PANTALLA;
GOTOXY(27,2);
WRITE(' D A T O S');
GOTOXY(27,3);
WRITE(' G E N E R A L E S');
WINDOW(2,5,79,25);
WRITELN;
WRITELN('- CORTANTE TOTAL DE LA');
WRITELN(' ESTRUCTURA A NIVEL');
WRITELN(' DEL SUELO [TON]');
WRITE(' VT = ');
IF NOT(PASO1) THEN VT:=0;
TEXTCOLOR(15);
WRITELN(VT:4:2);
TEXTCOLOR(14);
WRITELN;
WRITELN('- NÚMERO DE PILOTES');
WRITE(' NP = ');
IF NOT(PASO1) THEN NP:=0;
TEXTCOLOR(15);
WRITELN(NP:1:0);
TEXTCOLOR(14);
WRITELN;
WRITELN('- CORTANTE EN CADA PILOTE');
WRITELN;
WRITELN(' VT');
WRITE(' ---- = VN = ');
IF NP<>0 THEN
BEGIN
TEXTCOLOR(15);
VN:=VT/NP;
WRITELN(VN:4:2,'',[TON]);
TEXTCOLOR(14);
END
ELSE
WRITELN;
WRITELN(' NP');
WRITELN;
WRITELN('- LONGITUD DEL PILOTE [M]');

```

```

WRITE(' L = ');
IF NOT(PASO1) THEN L:=0;
TEXTCOLOR(15);
WRITELN(L:4:2);
TEXTCOLOR(14);
WINDOW (33,5,79,24);
WRITELN;
WRITELN('- NÚMERO DE REACCIONES');
WRITELN(' UNIFORMES EN EL PILOTE');
WRITE(' NR = ');
IF NOT(PASO1) THEN NR:=0;
TEXTCOLOR(15);
WRITELN(NR:1);
TEXTCOLOR(14);
WRITELN;
WRITELN('- LONGITUD DE CADA UNA');
WRITELN(' DE LAS REACCIONES [M]');
IF NOT(PASO1) THEN
  FOR J:=1 TO 10 DO
    D[J]:=0;
WINDOW (33,13,59,22);
  FOR J:=1 TO NR DO
    BEGIN
      WRITE(' D',J,' = ');
      TEXTCOLOR(15);
      WRITELN(D[J]:4:2);
      TEXTCOLOR(14);
    END;
WINDOW (60,5,79,21);
WRITELN;
WRITELN('- NO. DE ESTRATOS');
WRITE(' NE = ');
IF NOT(PASO1) THEN NE:=0;
TEXTCOLOR(15);
WRITELN(NE:1);
TEXTCOLOR(14);
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN('- ESPESOR DE CADA');
WRITELN(' ESTRATO [M]');
IF NOT(PASO1) THEN
  FOR J:=1 TO 10 DO
    H[J]:=0;
WINDOW (60,13,78,22);
  FOR J:=1 TO NE DO
    BEGIN
      WRITE(' H',J,' = ');
      TEXTCOLOR(15);
      WRITELN(H[J]:4:2);
      TEXTCOLOR(14);
    END;
REPEAT
  WINDOW(1,1,80,25);
  GOTOXY(2,24);

```

```

WRITE(' <R>EGRESAR <M>ODIFICAR
SAL:=UPCASE(READKEY);
IF SAL='M' THEN
  LEE_GENERALES;
UNTIL (SAL='R');
END;

```

OPCIÓN:);

PROCEDURE LEE_GEOMET;

```

VAR
CH:CHAR;

```

BEGIN

```

WINDOW(2,5,70,23);
TEXTCOLOR(15);
GOTOXY(20,4);
REPEAT
  CH:=UPCASE(READKEY);
UNTIL (TS='C') OR (TS='P');
WRITE(TS);
IF UPCASE(TS)='C' THEN
  BEGIN
    GOTOXY(3,6);
    CLREOL;
    GOTOXY(3,7);
    CLREOL;
    GOTOXY(3,6);
    TEXTCOLOR(14);
    WRITE(' DIÁMETRO [CM] = ');
    TEXTCOLOR(15);
    DIAM:=LEE_VAR(DIAM,20,6);
    A:=(PI*(DIAM*DIAM))/4;
    I:=(PI*(DIAM*DIAM*DIAM*DIAM))/64;

```

END

ELSE

BEGIN

```

  GOTOXY(3,6);
  CLREOL;
  TEXTCOLOR(14);
  WRITE(' ANCHO [CM] = ');
  TEXTCOLOR(15);
  GOTOXY(20,6);
  READLN(ANCHO);
  GOTOXY(3,7);
  CLREOL;
  TEXTCOLOR(14);
  WRITE(' LARGO [CM] = ');
  TEXTCOLOR(15);
  GOTOXY(20,7);
  READLN(LARGO);
  A:=ANCHO*LARGO;
  I:=(ANCHO*LARGO*LARGO*LARGO)/12;

```

END;

```

GOTOXY(1,10);
TEXTCOLOR(14);
WRITE('- AREA');
GOTOXY(8,12);
WRITE('A = ');
GOTOXY(12,12);
TEXTCOLOR(15);
WRITELN(A:4:2,'',[CM²]);
GOTOXY(1,15);
TEXTCOLOR(14);
WRITE('- MOMENTO DE INERCIA');
GOTOXY(8,17);
WRITE('I = ');
GOTOXY(12,17);
TEXTCOLOR(15);
WRITELN(I:4:2,'',[CM⁴]);
TEXTCOLOR(14);
PASO2:=TRUE;
END;

```

PROCEDURE PROP_GEOMET;

```

BEGIN
  IF PASO1 THEN
    BEGIN
      WINDOW (1,1,80,25);
      DIBUJA_PANTALLA;
      GOTOXY(27,2);
      WRITE(' PROPIEDADES');
      GOTOXY(27,3);
      WRITE(' GEOMÉTRICAS');
      WINDOW(2,5,79,24);
      WRITELN;
      WRITELN('- TIPO DE SECCIÓN');
      WRITELN;
      IF NOT(PASO2) THEN
        BEGIN
          TS='';
          DIAM:=0;
          LARGO:=0;
          ANCHO:=0;
        END;
      WRITE(' TS (C/P) = ');
      IF (TS='C') OR (TS='P') THEN
        BEGIN
          TEXTCOLOR(15);
          WRITELN(TS);
          TEXTCOLOR(14);
          WRITELN;
          IF UPCASE(TS)='C' THEN
            BEGIN
              WRITE(' DIÁMETRO [CM] = ');
              TEXTCOLOR(15);
            END;
        END;
    END;

```

```

WRITELN(DIAM:4:2);
TEXTCOLOR(14);
A:=(PI*(DIAM*DIAM))/4;
I:=(PI*(DIAM*DIAM*DIAM*DIAM))/64;
WRITELN;
END
ELSE
BEGIN
WRITE(' LADO A [CM] = ');
TEXTCOLOR(15);
WRITELN(ANCHO:4:2);
TEXTCOLOR(14);
WRITE(' LADO B [CM] = ');
TEXTCOLOR(15);
WRITELN(LARGO:4:2);
A:=ANCHO*LARGO;
I:=(ANCHO*LARGO*LARGO*LARGO)/12;
TEXTCOLOR(14);
END;
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN('- AREA');
WRITELN;
WRITE(' A = ');
TEXTCOLOR(15);
WRITELN(A:4:2,'',[CM^2]);
TEXTCOLOR(14);
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN('- MOMENTO DE INERCIA');
WRITELN;
WRITE(' I = ');
TEXTCOLOR(15);
WRITELN(I:4:2,'',[CM^4]);
TEXTCOLOR(14);
END;
REPEAT
WINDOW(1,1,80,25);
GOTOXY(2,24);
WRITE(' <R>EGRESAR <M>ODIFICAR OPCIÓN:');
SAL:=UPCASE(READKEY);
IF SAL='M' THEN
LEE_GEOMET;
UNTIL (SAL='R');
END;
END;

```

```

PROCEDURE LEE_MAT;

```

```

VAR
CH:CHAR;
X,Y:INTEGER;

```

```

BEGIN
WINDOW(1,1,34,25);
TEXTCOLOR(15);
FC:=LEE_VAR(FC,24,8);
GOTOXY(22,11);
X:=WHEREX;
Y:=WHEREY;
REPEAT
  CH:=UPCASE(READKEY);
  IF CH='I' THEN
    BEGIN
      TC:=TC+CH;
      GOTOXY(X,Y);
      WRITE(TC);
      IF LENGTH(TC)>2 THEN
        BEGIN
          GOTOXY(X,Y);
          WRITE(' ');
          GOTOXY(X,Y);
          TC:="";
        END;
    END;
UNTIL (CH=#13) AND ((TC='I') OR (TC='II') OR (TC='I '));
IF TC='II' THEN
  ME:=8000*SQRT(FC)
ELSE
  BEGIN
    ME:=14000*SQRT(FC);
    TC:='I ';
  END;
GOTOXY(15,16);
WRITE(ME:4:2,'',[KG/CM3]);
WINDOW (35,13,51,22);
FOR J:=NE DOWNT0 1 DO
BEGIN
  TEXTCOLOR(14);
  WRITE(' G',J,' ');
  TEXTCOLOR(15);
  MC[J]:=LEE_VAR(MC[J],10,NE-J+1);
  WRITELN;
  TEXTCOLOR(14);
END;
WINDOW (51,13,63,22);
FOR J:=NE DOWNT0 1 DO
BEGIN
  WRITE(' _',J,' ');
  TEXTCOLOR(15);
  MP[J]:=LEE_VAR(MP[J],8,NE-J+1);
  WRITELN;
  TEXTCOLOR(14);
END;
WINDOW (63,13,78,22);
FOR J:=NE DOWNT0 1 DO
BEGIN

```

```

WRITE(' MV,J.' = ');
TEXTCOLOR(15);
IF 1/(2*MC[J]*(1+MP[J]))<>0 THEN
  MV[J]:=1/(2*MC[J]*(1+MP[J]))
ELSE
  MV[J]:=0;
WRITELN(MV[J]:7:5);
TEXTCOLOR(14);
END;
PASO3:=TRUE;
END;

```

PROCEDURE PROP_MAT;

```

VAR
CH:CHAR;
X,Y:INTEGER;
BEGIN
  IF PASO2 THEN
    BEGIN
      WINDOW (1,1,80,25);
      DIBUJA_PANTALLA;
      GOTOXY(25,2);
      WRITE('PROPIEDADES DE LOS');
      GOTOXY(25,3);
      WRITE(' MATERIALES');
      WINDOW(2,5,79,24);
      WRITELN;
      WRITELN('- A) PILOTE');
      WRITELN;
      WRITE(' + F'C [KG/CM3] = ');
      IF NOT(PASO3) THEN FC:=0;
      TEXTCOLOR(15);
      WRITELN(FC:3:0);
      TEXTCOLOR(14);
      WRITELN;
      WRITELN(' + TIPO DE CONCRETO');
      WRITE(' TC (1/I) = ');
      IF NOT(PASO3) THEN TC:=0;
      TEXTCOLOR(15);
      WRITE(TC);
      TEXTCOLOR(14);
      WRITELN;
      WRITELN;
      IF TC='1' THEN
        ME:=8000*SQRT(FC)
      ELSE
        ME:=14000*SQRT(FC);
      WRITELN(' + MÓDULO DE');
      WRITELN(' ELASTICIDAD');
      WRITELN;
      WRITE(' EC = ');
    END;
  END;

```

```

IF NOT(PASO3) THEN ME:=0;
TEXTCOLOR(15);
WRITE(ME:4:2,' ','[KG/CM²]');
TEXTCOLOR(14);
WINDOW(35,5,50,21);
WRITELN;
WRITELN('- B) SUELO');
WRITELN;
WRITELN(' + MÓDULO DE');
WRITELN(' RIGIDEZ');
WRITELN(' CORTANTE');
WRITELN(' [TON/M²]');
IF NOT(PASO3) THEN
  FOR J:=10 DOWNT0 1 DO
    MC[J]:=0;
WINDOW (35,13,51,22);
FOR J:=NE DOWNT0 1 DO
BEGIN
  WRITE(' G',J,' = ');
  TEXTCOLOR(15);
  WRITELN(MC[J]:4:3);
  TEXTCOLOR(14);
END;
WINDOW (51,5,63,21);
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN('+ MÓDULO');
WRITELN(' DE');
WRITELN(' POISSON');
WRITELN;
IF NOT(PASO3) THEN
  FOR J:=10 DOWNT0 1 DO
    MP[J]:=0;
WINDOW (51,13,63,22);
FOR J:=NE DOWNT0 1 DO
BEGIN
  WRITE(' _',J,' = ');
  TEXTCOLOR(15);
  WRITELN(MP[J]:4:3);
  TEXTCOLOR(14);
END;
WINDOW (63,5,78,24);
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN;
WRITELN('+ MÓDULO');
WRITELN(' LONGITUDINAL');
WRITELN(' DE DEFORMACIÓN');
IF NOT(PASO3) THEN
  FOR J:=10 DOWNT0 1 DO
    MV[J]:=0;
WINDOW (63,13,78,22);
FOR J:=NE DOWNT0 1 DO

```

```

BEGIN
  WRITE(' MV,J,' );
  TEXTCOLOR(15);
  IF (2*MC[J]*(1+MP[J])) <= 0 THEN
    MV[J]:=1/(2*MC[J]*(1+MP[J]));
  WRITELN(MV[J]:7:5);
  TEXTCOLOR(14);
END;
REPEAT
  WINDOW(1,1,80,25);
  GOTOXY(2,24);
  WRITE(' <R>EGRESAR <M>ODIFICAR          OPCIÓN:');
  SAL:=UPCASE(READKEY);
  IF SAL='M' THEN
    LEE_MAT;
  UNTIL (SAL='R');
END;
END;

```

PROCEDURE GRAFI;

```

VAR
  GD, GM : INTEGER;
  PL:REAL;
  STRI:STRING;

BEGIN
  IF PASO3 THEN
    BEGIN
      GD := DETECT;
      INITGRAPH(GD, GM, "");
      IF GRAPHRESULT <> GROK THEN
        CLRSCR
      ELSE
        BEGIN
          LINE(540,100,540,400);
          Y:=100;
          LINE(555,100,555,400);
          LINE(540,100,570,100);
          FOR K:=1 TO NE DO
            BEGIN
              SETFILLSTYLE(K+3,6);
              X:=Y;
              PL:=H[NE-K+1]*300/L;
              Y:=Y+ROUND(PL);
              LINE(540,Y,570,Y);
              SETLINESTYLE(0,1,3);
              LINE(550,Y,560,Y);
              LINE(553,Y-5,553,Y);
              LINE(557,Y+5,557,Y);
              SETLINESTYLE(0,1,1);
              BAR(200,X,540,Y);
              STR(H[NE-K+1]:4:2,STRI);
            END
          END
        END
      END
    END
  END

```

```

OUTTEXTXY(570,(X+Y) DIV 2,STRI+' M');
STR(MC[K]:4:2,STRI);
OUTTEXTXY(320,(X+Y) DIV 2,'G= '+STRI+' TON/M²');
STR(MP[K]:4:2,STRI);
OUTTEXTXY(480,(X+Y) DIV 2,'_ = '+STRI);
END;
SETCOLOR(14);
SETTEXTSTYLE(1,0,5);
OUTTEXTXY(160,20,'GRAFICA INICIAL');
SETCOLOR(15);
SETTEXTSTYLE(0,0,1);
SETLINESTYLE(0,1,3);
LINE(100,100,540,100);
LINE(100,85,540,85);
SETLINESTYLE(0,1,1);
MOVETO(540,75);
LINETO(540,90);
LINETO(545,90);
LINETO(535,95);
LINETO(540,95);
LINETO(540,110);
MOVETO(100,75);
LINETO(100,90);
LINETO(105,90);
LINETO(95,95);
LINETO(100,95);
LINETO(100,110);
LINE(180,400,180,430);
LINE(200,400,200,430);
SETLINESTYLE(0,1,3);
LINE(180,100,180,400);
MOVETO(180,400);
LINETO(190,415);
LINETO(200,400);
LINETO(200,100);
SETLINESTYLE(0,1,1);
IF TS='C' THEN CIRCLE(190,430,10)
ELSE
BEGIN
    LINE(180,420,200,420);
    LINE(180,440,200,440);
    LINE(180,420,180,440);
    LINE(200,420,200,440);
END;
LINE(50,100,100,100);
Y:=100;
SETCOLOR(14);
STR(DIAM:4:2,STRI);
IF TS='C' THEN
    OUTTEXTXY(220,430,'D = '+STRI+' CM')
ELSE
BEGIN
    STR(ANCHO:4:2,STRI);
    OUTTEXTXY(220,420,'A = '+STRI+' CM');

```

```

    STR(LARGO:4:2,STRJ);
    OUTTEXTXY(220,430,'B = '+STRJ+' CM');
END;
SETCOLOR(15);
FOR K:=1 TO NR DO
BEGIN
    X:=200+20*(NR-K+2);
    PL:=D[NR-K+1]*300/L;
    STR(D[NR-K+1]:4:2,STRJ);
    SETCOLOR(14);
    OUTTEXTXY(80,Y+(ROUND(PL) DIV 2),STRJ+' M');
    STR(NR-K+1,STRJ);
    OUTTEXTXY(50,Y+(ROUND(PL) DIV 2),'R'+STRJ);
    SETCOLOR(15);
    MOVETO(X,Y);
    Y:=Y+ROUND(PL);
    LINETO(X,Y);
    LINETO(50,Y);
    SETLINESTYLE(0,1,3);
    LINE(65,Y,75,Y);
    LINE(68,Y-5,68,Y);
    LINE(72,Y+5,72,Y);
    SETLINESTYLE(0,1,1);
END;
LINE(70,100,70,400);
OUTTEXTXY(330,440,'<< OPRIMA UNA TECLA PARA CONTINUAR >>');
REPEAT UNTIL KEYPRESSED;
CLOSEGRAPH;
END;
END;
END;

```

PROCEDURE GRAF2;

```

VAR
    GD, GM, O, TEMX, TEMY, POSY : INTEGER;
    PL: REAL;
    STR1, STR2: STRING;
    A: CHAR;
BEGIN
    IF PASO4 THEN
    BEGIN
        GD := DETECT;
        INITGRAPH(GD, GM, "");
        IF GRAPHRESULT <> GROK THEN
            CLRSCR
        ELSE
            BEGIN
                SETTEXTSTYLE(1,0,1);
                SETCOLOR(14);
                OUTTEXTXY(120,20,'PRESENTACION GRAFICA DE LOS RESULTADOS');
                SETTEXTSTYLE(0,0,1);
            END
        END
    END

```

```

SETLINESTYLE(0,0,3);
LINE(100,150,540,150);
SETLINESTYLE(0,1,1);
SETCOLOR(15);
OUTTEXTXY(550,150,'TON/M');
X:=100;
POSY:=160;
FOR K:=1 TO NR DO
BEGIN
O:=X;
PL:=D[K]*440/L;
Y:=ROUND(RES[K+2]*100)+150;
STR(RES[K+2]:2:6,STR1);
STR(K:1,STR12);
SETCOLOR(14);
IF Y>150 THEN POSY:=Y+7 ELSE POSY:=Y-10;
OUTTEXTXY(X+ROUND(PL/2)-30,POSY,'R'+STR12+'=''+STR1);
SETCOLOR(15);
X:=X+ROUND(PL);
IF Y>150 THEN
RECTANGLE(O,150,X,Y)
ELSE
RECTANGLE(O,Y,X,150);
END;
OUTTEXTXY(330,440,'<< OPRIMA UNA TECLA PARA CONTINUAR >>');
REPEAT UNTIL KEYPRESSED;
CLEARVIEWPORT;
SETTEXTSTYLE(1,0,1);
SETCOLOR(14);
OUTTEXTXY(120,20,'PRESENTACION GRAFICA DE LOS RESULTADOS');
SETTEXTSTYLE(0,0,1);
SETLINESTYLE(0,0,3);
LINE(100,150,540,150);
SETLINESTYLE(0,1,1);
SETCOLOR(15);
O:=100;
TEMX:=O;
Y:=150;
OUTTEXTXY(550,150,'CM');
FOR K:=1 TO NR DO
BEGIN
PL:=D[K]*440/L;
TEMY:=Y;
IF K=1 THEN
TEMY:=ROUND(-RESD[K+1]*40000+150);
Y:=ROUND(-RESD[K+1]*40000+150);
STR(RESD[K+1]*100:2:6,STR1);
STR(K:1,STR12);
SETCOLOR(14);
IF Y>150 THEN POSY:=Y+7 ELSE POSY:=Y-10;
OUTTEXTXY(O+ROUND(PL/2)-30,POSY,'_' +STR12+'=''+STR1);
O:=O+ROUND(PL);
SETCOLOR(15);
MOVETO(TEMX,TEMY);

```

```

IF K=1 THEN X:=100
ELSE
  IF K=NR THEN X:=X+ROUND((D[K-1]/2+D[K])*440/L)
  ELSE
    IF K=2 THEN X:=X+ROUND(D[K-1]*440/L+PL/2)
    ELSE
      X:=X+ROUND((D[K-1]/2+D[K]/2)*440/L);
    LINETO(X,Y);
    TEMX:=X;
  END;
OUTTEXTXY(330,440,'<< OPRIMA UNA TECLA PARA CONTINUAR >>');
A:=READKEY;
REPEAT UNTIL KEYPRESSED;
CLOSEGRAPH;
END;
END;
END;

```

PROCEDURE CALLJ;

```

BEGIN
  CLRSCR;
  LJ[1]:=0;
  LJ[NR]:=L;
  FOR J:=2 TO NR-1 DO
    BEGIN
      LJ[J]:=0;
      FOR K:=1 TO J-1 DO
        LJ[J]:=LJ[J]+D[J];
        LJ[J]:=LJ[J]+D[K]/2;
      END;
    END;
END;

```

FUNCTION AI(K:INTEGER):REAL;

```

BEGIN
  AI:=(1/6)*(D[K]*D[K]*D[K]);
END;

```

FUNCTION LJI(J,K:INTEGER):REAL;

```

BEGIN
  TEMP:=0;
  FOR X:=1 TO K DO
    TEMP:=TEMP+D[X];
  LJI:=LJ[K]-TEMP;
END;

```

FUNCTION BJI(J,K:INTEGER):REAL;

```

BEGIN
  BJI:=0.5*SQR(D[J])*LJI(J,K);

```

END;

FUNCTION CJI(J,K:INTEGER):REAL;

BEGIN

CJI:=0.5*D[J]*SQR(LJI(J,K));

END;

FUNCTION DJI(J,K:INTEGER):REAL;

BEGIN

DJI:=AI(K)*(LJI(J,K)+0.25*D[K])+(BJI(J,K)*LJI(J,K))/2+(CJI(J,K)*LJI(J,K))/3;

END;

PROCEDURE ECUACION;

BEGIN

FOR J:=1 TO 20 DO

BEGIN

T[J]:=0;

FOR K:=1 TO 20 DO

BEGIN

R[J,K]:=0;

DELTA[J,K]:=0;

DELTAS[J,K]:=0;

END;

END;

EI:=ME*1/10000000;

FOR J:=2 TO NR-1 DO

BEGIN

FOR K:=1 TO J-1 DO

R[J,K]:=DJI(J,K);

T[J]:=EI*LJ[J];

DELTA[J,1]:=-EI;

DELTA[J,J]:=EI;

R[J,J]:=AI(J)*D[J]/64;

END;

T[NR]:=EI*LJ[NR];

DELTA[NR,1]:=-EI;

DELTA[NR,NR]:=EI;

FOR K:=1 TO NR-1 DO

R[NR,K]:=DJI(NR,K);

R[NR,NR]:=0.25*AI(NR)*D[NR];

J:=NR;

T[J+1]:=EI;

FOR K:=1 TO NR DO

BEGIN

R[J+1,K]:=AI(K)+BJI(J,K)+CJI(J,K);

R[J+2,K]:=D[K];

END;

END;

PROCEDURE SUELOS:

```

VAR
I,J,K:INTEGER;

BEGIN
  FOR J:=1 TO 11 DO
    FOR K:=1 TO 11 DO
      DELTAS[K,J]:=0;
    IF UPCASE(TS)='C' THEN
      BEGIN
        BE:=DIAM;
      END
    ELSE
      BEGIN
        IF LARGO>ANCHO THEN
          BE:=LARGO
        ELSE
          BE:=ANCHO;
        END;
      FOR I:=1 TO NR DO
        BEGIN
          PRIM:=MV[NR+1-I]*(HT/BE)*100;
          FOR J:=1 TO P DO
            FOR K:=1 TO NR DO
              DELTAS[I+1,K]:=DELTAS[I+1,K]+INFLU(J,I,K)*PRIM;
            END;
          WRITELN('MATRIZ DE DESPLAZAMIENTOS (SUELOS)');
          WRITELN:
          FOR I:=2 TO NR+1 DO
            BEGIN
              FOR K:=1 TO NR DO
                WRITE(DELTAS[I,K]:2:10,' R',K,' ');
              WRITELN;
            END;
          END;
        END;
      END;

```

PROCEDURE SUSTITUCION:

```

BEGIN
  FOR J:=2 TO NR+1 DO
    FOR K:=1 TO NR DO
      FOR X:=1 TO NR DO
        R[J,X]:=R[J,X]+(DELTA)J,K]*DELTAS(K+1,X);
      END;
    END;
  END;

```

PROCEDURE SISTEMA:

```

BEGIN
  FOR J:=2 TO NR+2 DO
    RES[J]:=0;
    RES[NR+2]:=VN;
  END;

```

```

FOR J:=2 TO NR+2 DO
BEGIN
  IF J=2 THEN
  BEGIN
    TEMP:=T{2};
    T{J}:=T{J}/T{2};
  END
  ELSE
  BEGIN
    TEMP:=R{J,J-2};
    RES{J}:=RES{J}/TEMP;
    FOR K:=J-1 TO NR DO
      R{J,K}:=R{J,K}/TEMP;
    FOR K:=2 TO NR+2 DO
    BEGIN
      IF J=2 THEN
      BEGIN
        TEMP:=T{K}*(-1.0);
        IF K<>J THEN T{K}:=T{K}+T{J}*TEMP;
      END
      ELSE
        TEMP:=R{K,J-2}*(-1.0);
      FOR X:=J-2 TO NR DO
      BEGIN
        IF K<>J THEN
        BEGIN
          R{K,X}:=R{K,X}+R{J,X}*TEMP;
        END;
      END;
      IF K<>J THEN RES{K}:=RES{K}+RES{J}*TEMP;
    END;
  END;
END;

```

```

FUNCTION EXIST(FILENAME:STRING):BOOLEAN;

```

```

  VAR
  SR : SEARCHREC;
  BEGIN
  FINDFIRST(FILENAME, READONLY + HIDDEN + SYSFILE, SR);
  EXIST := (DOSERROR = 0) AND (POS("?", FILENAME) = 0) AND
    (POS("!", FILENAME) = 0);
  END; { EXISTS }

```

```

FUNCTION OPEN(VAR FP:TEXT; NAME: STRING): BOOLEAN;

```

```

  BEGIN
  ASSIGN(FP,NAME);
  {$I-}
  RESET(FP);
  {$I+}
  OPEN := IORESULT = 0;
  END { OPEN };

```

PROCEDURE LEE_ARCHIVO;

```
VAR
  K:INTEGER;
  F:TEXT;

BEGIN
  SALIDA:=FALSE;
  REPEAT
    CLRSCR;
    WRITELN;
    WRITELN;
    WRITE('NOMBRE DEL ARCHIVO: ');
    READLN(NOMBRE);
    FSPLIT(NOMBRE,DIREC,NAME,EXT);
    IF NOT OPEN(F,NOMBRE) THEN
      BEGIN
        GOTOXY(5,18);
        WRITE('ARCHIVO NO ENCONTRADO');
        DELAY(1000);
      END
    ELSE
      SALIDA:=TRUE;
  UNTIL SALIDA;
END;
```

PROCEDURE IMPRIME(NAME:STRING);

```
VAR
  F:TEXT;
  MAXI,
  RENG:INTEGER;
  AN,M,DI,S:WORD;
  SEC:STRING;

BEGIN
  CLRSCR;
  WRITE('IMPRIMIENDO...');
  DELAY(1000);
  ASSIGN(F,NAME);
  MAXI:=66;
  GETDATE(AN,M,DI,S);
  WRITELN(F,' D I S P          PRESENTACION DATOS DE ENTRADA          1');
  WRITELN(F,' ,DI:2,/,M:2,/,AN,'          DATOS GENERALES');
  WRITELN(F,' -----');
  WRITELN(F);
  WRITELN(F);
  WRITELN(F);
  WRITELN(F,' CORTANTE TOTAL DE LA ESTRUCTURA A NIVEL SUELO VT =
',VT:4:4,' [TON]');
  WRITELN(F);
  WRITELN(F,' NÚMERO DE PILOTES          NP = ',NP:4:0);
  WRITELN(F);
```

```

WRITELN(F,' CORTANTE EN CADA PILOTE          VN = 'VN:4:4,' [TON]');
WRITELN(F);
WRITELN(F,' LONGITUD DEL PILOTE              L = ',L:4:4,' [M]');
WRITELN(F);
WRITELN(F,' REACCIONES UNIFORMES EN EL PILOTE      NR = ',NR:1);
WRITELN(F);
WRITELN(F,' LONGITUD DE LAS REACCIONES');
WRITELN(F);
RENG:=17;
FOR J:=1 TO NR DO
BEGIN
  WRITELN(F,'          D 'J,' = ',D[J]:4:4,' [M]');
  INC(RENG);
END;
WRITELN(F);
WRITELN(F);
WRITELN(F,' NÚMERO DE ESTRATOS                      NE = ',NE:1);
WRITELN(F);
WRITELN(F);
WRITELN(F,' ESPESOR DE CADA ESTRATO');
WRITELN(F);
FOR J:=1 TO NE DO
BEGIN
  WRITELN(F,'          H 'J,' = ',H[J]:4:4,' [M]');
  INC(RENG)
END;
WRITELN(F,#12);
WRITELN(F,' D I S P          PRESENTACION DATOS          2');
WRITELN(F,' ',DI:2,'/',M:2,'/',AN,'          PROPIEDADES GEOMETRICAS');
WRITELN(F,' -----');
WRITELN(F);
WRITELN(F);
WRITELN(F);
IF TS='C' THEN SEC:='CIRCULAR' ELSE SEC:='PRISMÁTICA';
WRITELN(F,' TIPO DE SECCIÓN          TS = ',SEC);
WRITELN(F);
IF TS='C' THEN
  WRITELN(F,' DIÁMETRO          D = ',DIAM:4:4,' [CM]')
ELSE
  BEGIN
    WRITELN(F,' LADO A          L = ',LARGO:4:4,' [CM]');
    WRITELN(F,' LADO B          L = ',ANCHO:4:4,' [CM]');
  END;
WRITELN(F);
WRITELN(F,' AREA          A = ',A:4:4,' [CM²]');
WRITELN(F);
WRITELN(F,' MOMENTO DE INERCIA          I = ',I:4:4,' [CM4]');
WRITELN(F,#12);
WRITELN(F,' D I S P          PRESENTACION DATOS DE ENTRADA      3');
WRITELN(F,' ',DI:2,'/',M:2,'/',AN,'          PROPIEDADES DE LOS MATERIALES');
WRITELN(F,' -----');
WRITELN(F);
WRITELN(F);

```

```

WRITELN(F,' A) PROPIEDADES DEL PILOTE');
WRITELN(F);
WRITELN(F,' F"C F"C = ',FC:4:4,' [KG/CM²]');
WRITELN(F);
WRITELN(F,' TIPO DE CONCRETO TC = ',TC);
WRITELN(F);
WRITELN(F,' MÓDULO DE ELASTICIDAD EC = ',ME:4:4,' [KG/CM²]');
WRITELN(F);
WRITELN(F);
WRITELN(F,' B) PROPIEDADES DEL SUELO');
WRITELN(F);
WRITELN(F,' MÓDULO DE RIGIDEZ CORTANTE');
WRITELN(F);
FOR J:= NE DOWNT0 1 DO
  WRITELN(F,' G ',J,' = ',MC[J]:4:4,' [TON/M²]');
WRITELN(F);
WRITELN(F);
WRITELN(F,' MÓDULO DE POISSON');
WRITELN(F);
FOR J:= NE DOWNT0 1 DO
  WRITELN(F,' _ ',J,' = ',MP[J]:4:4);
WRITELN(F);
WRITELN(F);
WRITELN(F,' MÓDULO LONGITUDINAL DE DEFORMACIÓN');
WRITELN(F);
FOR J:= NE DOWNT0 1 DO
  WRITELN(F,' MV ',J,' = ',MV[J]:4:4);
WRITELN(F,#12);
WRITELN(F,' D I S P PRESENTACION RESULTADOS 4');
WRITELN(F,' ',DI:2,'/',M:2,'/',AN,' GIRO-REACCIONES-DESPLAZAMIENTOS');
WRITELN(F,' -----');
WRITELN(F);
WRITELN(F);
WRITELN(F,' GIRO');
WRITELN(F);
WRITELN(F,' _ = ',RES[2]:4:10);
WRITELN(F);
WRITELN(F);
WRITELN(F,' REACCIONES');
WRITELN(F);
FOR J:=3 TO NR+2 DO
  BEGIN
    WRITELN(F,' R ',J-2,' = ',RES[J]:4:10,' [TON/M]');
    WRITELN(F);
  END;
WRITELN(F);
WRITELN(F);
WRITELN(F,' DESPLAZAMIENTOS');
WRITELN(F);
FOR J:=2 TO NR+1 DO
  BEGIN
    TEMP:=0;
    FOR K:=1 TO NR DO

```

```

    TEMP:=TEMP+RES[K+2]*DELTAS[J,K];
    RESD[J]:=TEMP;
    WRITE(F,'_J-1, '= ');
    WRITELN(F,RESD[J]*100:4:10,' CM');
    WRITELN(F);
END;
WRITELN(F,#12);
CLOSE(F);
CLRSCR;
WRITE('IMPRESIÓN TERMINADA');
DELAY(1000);
END;

```

PROCEDURE IMPRESION;

```

VAR
  CH:CHAR;

```

BEGIN

```

  WINDOW(1,1,80,25);
  DIBUJA_PANTALLA;
  GOTOXY(27,2);
  WRITE(' R E P O R T E S');
  WINDOW(3,5,78,23);
  WRITELN;
  WRITELN;
  WRITE(' _ = ');
  TEXTCOLOR(15);
  WRITELN(RES[2]:4:10);
  TEXTCOLOR(14);
  WINDOW(3,10,40,20);
  WRITELN('REACCIONES');
  WRITELN;
  FOR J:=3 TO NR+2 DO
  BEGIN
    WRITE('R'_J-2, '= ');
    TEXTCOLOR(15);
    WRITELN(RES[J]:4:10,' TON/M');
    TEXTCOLOR(14);
  END;
  WINDOW(40,10,78,20);
  WRITELN('DESPLAZAMIENTOS');
  WRITELN;
  FOR J:=2 TO NR+1 DO
  BEGIN
    TEMP:=0;
    FOR K:=1 TO NR DO
      TEMP:=TEMP+RES[K+2]*DELTAS[J,K];
    RESD[J]:=TEMP;
    WRITE(''_J-1, '= ');
    TEXTCOLOR(15);
    WRITELN(RESD[J]*100:4:10,' CM');
    TEXTCOLOR(14);
  END;

```

```

END;
REPEAT
WINDOW(2,24,78,24);
CLRSCR;
WRITE('<1>MPRIMIR REPORTE <G>UARDAR EN ARCHIVO <R>EGRESAR
OPCIÓN:');
SAL:=UPCASE(READKEY);
IF UPCASE(SAL)='I' THEN
  IMPRIME('PRN');
IF UPCASE(SAL)='G' THEN
BEGIN
  SALIDA:=FALSE;
  REPEAT
    CLRSCR;
    WRITELN;
    WRITELN;
    WRITE('NOMBRE DEL ARCHIVO: ');
    READLN(NOMBRE);
    FSPLIT(NOMBRE,DIREC,NAME,EXT);
    IF EXIST(NOMBRE) THEN
      BEGIN
        WRITELN;
        WRITELN;
        WRITE('EL ARCHIVO YA EXISTE ¿QUIERE SOBRESERIBIRLO? (S/N) ');
        REPEAT
          CH:=UPCASE(READKEY);
          UNTIL (CH='S') OR (CH='N');
          IF CH='S' THEN SALIDA:=TRUE;
        END
        ELSE
          SALIDA:=TRUE;
        UNTIL SALIDA;
        IF NOMBRE="" THEN IMPRIME(NOMBRE);
      END;
    UNTIL (UPCASE(SAL)='R');
  END;
END;

```

```

PROCEDURE TABLA;
BEGIN
  IF PASO3 THEN
  BEGIN
    WINDOW(5,5,78,24);
    CLRSCR;
    CALLJ;
    ECUACION;
    SUELOS;
    SUSTITUCION;
    SISTEMA;
    IMPRESION;
    CLRSCR;
    PASO4:=TRUE;
  END;
END;

```

END;

PROCEDURE ABRIR;

VAR

F:TEXT;

LE:STRING;

INT:INTEGER;

BEGIN

WINDOW(20,5,78,24);

LEE_ARCHIVO;

IF NOMBRE="" THEN EXIT;

ASSIGN(F,NOMBRE);

RESET(F);

READLN(F,LE);

VAL(LE,VT,INT);

READLN(F,LE);

VAL(LE,NP,INT);

READLN(F,LE);

VAL(LE,L,INT);

READLN(F,LE);

VAL(LE,NR,NR);

FOR J:=1 TO NR DO

BEGIN

READLN(F,LE);

VAL(LE,D[J],INT);

END;

READLN(F,LE);

VAL(LE,NE,NE);

FOR J:=1 TO NE DO

BEGIN

READLN(F,LE);

VAL(LE,H[J],INT);

END;

READLN(F,TS);

READLN(F,LE);

VAL(LE,DIAM,INT);

READLN(F,LE);

VAL(LE,LARGO,INT);

READLN(F,LE);

VAL(LE,ANCHO,INT);

READLN(F,LE);

VAL(LE,FC,INT);

READLN(F,TC);

FOR J:=1 TO NE DO

BEGIN

READLN(F,LE);

VAL(LE,MC[J],INT);

END;

FOR J:=1 TO NE DO

BEGIN

READLN(F,LE);

```

    VAL(LE,MP[J],INT);
END;
VN:=VT/NP;
IF UPCASE(TS)='C' THEN
BEGIN
    A:=(PI*(DIAM*DIAM))/4;
    I:=(PI*(DIAM*DIAM*DIAM*DIAM))/64;
END
ELSE
BEGIN
    A:=ANCHO*LARGO;
    I:=(ANCHO*LARGO*LARGO*LARGO)/12;
END;
IF TC='II' THEN
    ME:=8000*SQRT(FC)
ELSE
    ME:=14000*SQRT(FC);
FOR J:=NE DOWNT0 1 DO
    IF (2*MC[J]*(1+MP[J]))<=0 THEN
        MV[J]:=1/(2*MC[J]*(1+MP[J]));
PASO1:=TRUE;
PASO2:=TRUE;
PASO3:=TRUE;
END;

```

PROCEDURE GUARDAR;

```

VAR
    F:TEXT;
    CH:CHAR;

BEGIN
    SALIDA:=FALSE;
    REPEAT
        CLRSCR;
        WRITELN;
        WRITELN;
        WRITE('NOMBRE DEL ARCHIVO: ');
        READLN(NOMBRE);
        FSPLIT(NOMBRE,DIREC,NAME,EXT);
        IF EXIST(NOMBRE) THEN
            BEGIN
                WRITELN;
                WRITELN;
                WRITE('EL ARCHIVO YA EXISTE ¿QUIERE SOBRESERIBIRLO? (S/N) ');
                REPEAT
                    CH:=UPCASE(READKEY);
                UNTIL (CH='S') OR (CH='N');
                IF CH='S' THEN SALIDA:=TRUE;
            END
        ELSE
            SALIDA:=TRUE;
    UNTIL SALIDA;

```

```

IF NOMBRE="" THEN EXIT;
ASSIGN(F,NOMBRE);
{$I-}
REWRITE(F);
IF IORESULT <> 0 THEN
BEGIN
  CLRSCR;
  WRITE('ERROR EN EL DRIVE');
  DELAY (1000);
  EXIT;
END;
{$I+}
WRITELN(F,VT:3:3);
WRITELN(F,NP:3:3);
WRITELN(F,L:3:3);
WRITELN(F,NR);
FOR J:=1 TO NR DO
  WRITELN(F,D[J]:3:3);
WRITELN(F,NE);
FOR J:=1 TO NE DO
  WRITELN(F,H[J]:3:3);
WRITELN(F,TS);
WRITELN(F,DIAM:3:3);
WRITELN(F,LARGO:3:3);
WRITELN(F,ANCHO:3:3);
WRITELN(F,FC:3:3);
WRITELN(F,TC);
WRITELN(TC);
FOR J:=1 TO NE DO
BEGIN
  WRITELN(F,MC[J]:3:3);
END;
FOR J:=1 TO NE DO
  WRITELN(F,MP[J]:3:3);
CLOSE(F);
END;

```

PROCEDURE SALIR;

```

BEGIN
  WINDOW (1,1,80,25);
  TEXTBACKGROUND(0);
  TEXTCOLOR(7);
  CLRSCR;
  HALT;
END;

```

PROCEDURE ENTRADA;

```

BEGIN
  WINDOW (1,1,80,25);
  TEXTBACKGROUND(1);
  TEXTCOLOR(7);

```

```

CLRSR;
FOR X:=2 TO 78 DO
  BEGIN
    GOTOXY(X,1);
    WRITE('-');
    GOTOXY(X,25);
    WRITE('-');
  END;
FOR X:=2 TO 24 DO
  BEGIN
    GOTOXY(1,X);
    WRITE(' ');
    GOTOXY(79,X);
    WRITE(' ');
  END;
GOTOXY(1,1);
WRITE('+');
GOTOXY(79,1);
WRITE('+');
GOTOXY(79,25);
WRITE('+');
GOTOXY(1,25);
WRITE('+');
WINDOW (8,3,78,25);
GOTOXY(2,2);
TEXTCOLOR(14);
WRITELN(' UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO');
WRITELN(' FACULTAD DE INGENIERIA');
WRITELN('');
WRITELN(' D I S P');
WRITELN('');
WRITELN(' PROGRAMA PARA EL DISEÑO DE PILOTES POR MEDIO DEL ANÁLISIS');
WRITELN(' INTERACCIÓN SUELO-PILOTE PROVOCADA POR EFECTOS SÍSMICOS');
WRITELN('');
WRITELN('');
WRITELN(' PROGRAMA ELABORADO POR LOS ALUMNOS MARCELO MORALES
SÁNCHEZ Y');
WRITELN(' HÉCTOR OLVERA DE JESÚS QUE PRESENTAN EN SU TESIS
"PROGRAMACIÓN');
WRITELN(' DE UN MÉTODO DE ANÁLISIS PARA EL DISEÑO DE PILOTES" PARA
OBTENER');
WRITELN(' EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL. ');
WRITELN('');
WRITELN(' EL DIRECTOR DE TESIS FUE EL DR. RIGOBERTO RIVERA CONSTANTINO. ');
WRITELN('');
WRITELN(' ABRIL 1994');
GOTOXY(5,23);
TEXTCOLOR(7);
WRITE(' TECLEE LA CLAVE DE ACCESO ');
END;

```

PROCEDURE CLAVE;

```
BEGIN
  J:=0;
  REPEAT
    ENTRADA;
    ST:="";
    IF J=5 THEN SALIR;
    REPEAT
      RESP:=UPCASE(READKEY);
      IF RESP IN ['A'..'Z','A'..'Z',' '] THEN
        BEGIN
          ST:=ST+RESP;
          WRITE('_');
        END;
    UNTIL RESP=#13;
    J:=J+1;
  UNTIL (ST='MMS-HODJ');
END;
```

PROCEDURE MENU_PRINCIPAL;

```
BEGIN
  DIBUJA_PANTALLA1;
  REPEAT
    RESP:=UPCASE(READKEY);
    CASE RESP OF
      '1':DATOS_GENERALES;
      '2':PROP_GEOMET;
      '3':PROP_MAT;
      '4':GRAF1;
      '5':GRAF2;
      '6':TABLA;
      '7':ABRIR;
      '8':GUARDAR;
      '0':SALIR;
    END;
  DIBUJA_PANTALLA1;
  UNTIL (RESP='0');
END;
```

BEGIN

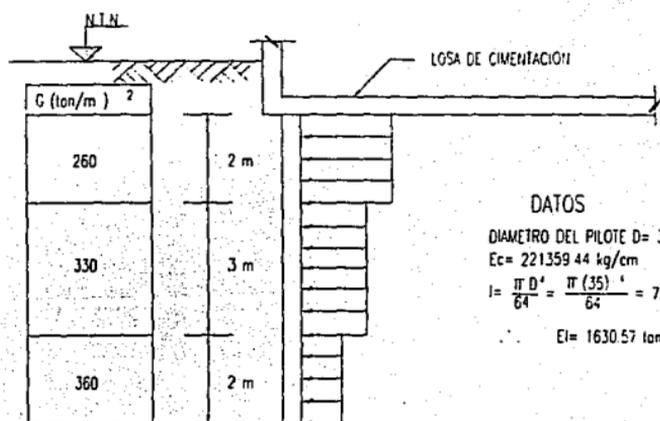
```
  REPEAT
    PASO1:=FALSE;
    PASO2:=FALSE;
    PASO3:=FALSE;
    PASO4:=FALSE;
    PASO5:=FALSE;
    CLAVE;
    HT:=0.30;
    P:=3;
```

```
MENU_PRINCIPAL;  
UNTIL RESP='7';  
END.
```

CAPITULO CINCO
APLICACION DEL PROGRAMA

III.1 EJEMPLO SIN UTILIZAR DISP

DATOS :



DATOS

DIAMETRO DEL PILOTE $D = 35 \text{ cm}$

$E_c = 221359.44 \text{ kg/cm}^2$

$$I = \frac{\pi D^4}{64} = \frac{\pi (35)^4}{64} = 73661.757 \text{ cm}^4$$

$$EI = 1630.57 \text{ ton m}$$

EXPRESIONES :

$$EI\theta_j L_j - EI\delta_j + EI\delta_j + \sum_{i=1}^{j-1} D_{ji}\eta_i + \frac{1}{64} A_j h_j r_j = 0 \quad \text{----- (A)}$$

para $2 \leq j \leq n-1$

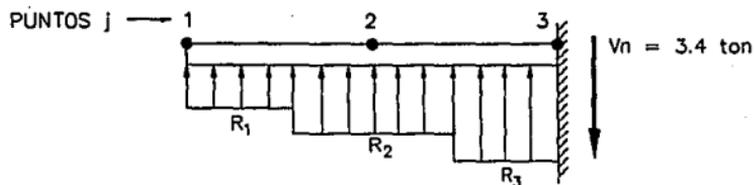
$$EIL_n\theta_n - EI\delta_n + EI\delta_n \sum_{i=1}^{n-1} D_{ni}\eta_i + \frac{1}{4} A_n h_n r_n = 0 \quad \text{----- (B)}$$

para $j = n$

$$EI\theta_i + \sum_{i=1}^n (A_i + B_{ji} + C_{ji}) r_i = 0 \quad \text{----- (C)}$$

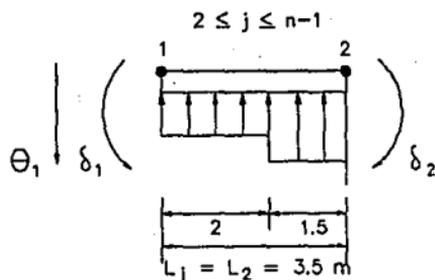
$$\sum_{i=1}^n h_i \eta_i = V_n \quad \text{----- (D)}$$

SOLUCION MANUAL :



Primero aplicamos la ecuacion (A)

para $2 \leq j \leq n-1$



$$EI\theta_j L_j - EI\delta_j + EI\delta_j + \sum_{i=1}^{j-1} D_{ji} \theta_i + \frac{1}{64} A_j h_j r_j = 0 \quad \text{----- (2)}$$

$$L_j = L_2 = 2 + 1.5 = 3.5m$$

$$D_{ji} r_i = D_{21} r_1$$

$$D_{21} = A_1 \left[L_{21} + \frac{h_1}{4} \right] + \frac{B_{21} L_{21}}{2} + \frac{C_{21} L_{21}}{3}$$

$$L_{21} = L_2 - d_1 = 3.5 - 2 = 1.5m$$

$$A_1 = \frac{d_1^3}{6} = \frac{2^3}{6} = 1.333333m$$

$$h_1 = \frac{2}{4} = 0.5m$$

$$B_{21} = \frac{d_1^2 L_{21}}{2} = \frac{2^2 (1.5)}{2} = 3.0m^3$$

$$C_{21} = \frac{d_1 L_{21}^2}{2} = \frac{2(1.5)^2}{2} = 2.25m^3$$

Sustituyendo valores en D_{21} :

$$D_{21} = 1.333333[1.5 + 0.5] + \frac{3(1.5)}{2} + \frac{2.25(1.5)}{3} = 6.0416666m^4$$

$$h_2 = 3m$$

$$A_2 = \frac{d_2^3}{6} = \frac{3^3}{6} = 4.5m^3$$

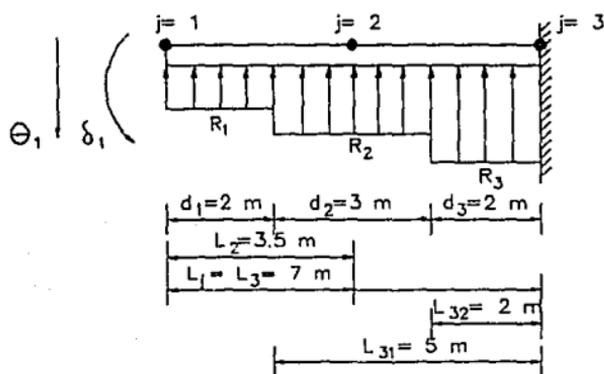
Sustituyendo todos los valores en la ecuacion (A) , tenemos :

$$5707\theta_1 - 1630.57\delta_1 + 1630.57\delta_2 + 6.0416666\eta_1 + 0.210937r_2 = 0 \quad \text{----- (1)}$$

Aplicamos la ecuacion (B)

$$EIL_n\theta_1 - EI\delta_1 + EI\delta_n + \sum_{i=1}^{n-1} D_{ni}\eta_i + \frac{1}{4} A_n h_n r_n = 0 \quad \text{----- (B)}$$

para $j = n = 3$



$$D_{p,r_1} = D_{31}r_1$$

$$D_{31} = A_1 \left[L_{31} + \frac{h_1}{4} \right] + \frac{B_{31}L_{31}}{2} + \frac{C_{31}L_{31}}{3}$$

$$A_1 = \frac{d_1^3}{6} = \frac{2^3}{6} = 1.33333m^3$$

$$B_{31} = \frac{d_1^2}{2} L_{31} = \frac{2^2}{2}(5) = 10m^3$$

$$C_{31} = \frac{d_1}{2} (L_{31})^2 = \frac{2}{2}(5)^2 = 25m^3$$

Sustituyendo valores :

$$D_{31} = (1.33333) \left[5 + \frac{2}{4} \right] + \frac{(10)(5)}{2} + \frac{(25)(5)}{3} = 74m^4$$

$D_{32}r_2$

$$D_{32} = A_2 \left[L_{32} + \frac{h_2}{4} \right] + \frac{B_{32}L_{32}}{2} + \frac{C_{32}L_{32}}{3}$$

$$A_2 = \frac{d_2^3}{6} = \frac{3^3}{6} = 4.5m^3$$

$$B_{32} = \frac{d_2^2}{2}(L_{32}) = \frac{3^2}{2}(2) = 9.0m^3$$

$$C_{32} = \frac{d_2}{2}(L_{32})^2 = \frac{3}{2}(2)^2 = 6.0m^3$$

Sustituyendo valores :

$$D_{32} = (4.5) \left[2 + \frac{3}{4} \right] + \frac{(9)(2)}{2} + \frac{(6)(2)}{3} = 25.375m^4$$

$$A_3 = \frac{d_3^3}{6} = \frac{(2)^3}{6} = 1.3333m^3$$

Finalmente la ecuación B queda :

$$11413.99\theta_1 - 1630.57\delta_1 + 1630.57\delta_3 + 74r_1 + 25.37r_2 + 0.666667r_3 = 0 \text{ - - - - - (2)}$$

Aplicamos la ecuación (C)

$$EI\theta_1 + \sum_{i=1}^n (A_i + B_i + C_i)r_i = 0 \quad \text{----- (C)}$$

$$EI\theta + (A_1 + B_{31} + C_{31})r_1 + (A_2 + B_{32} + C_{32})r_2 + A_3r_3 = 0$$

$$(A_1 + B_{31} + C_{31})r_1$$

$$A_1 = \frac{(d_1^3)}{6} = \frac{2^3}{6} = 1.33333m^3$$

$$B_{31} = \frac{d_1^2}{2} l_{31} = \frac{2^2}{2}(5) = 10m^3$$

$$C_{31} = \frac{d_1}{2} (l_{31})^2 = \frac{2}{2}(5)^2 = 25m^3$$

$$(A_2 + B_{32} + C_{32})r_2$$

$$A_2 = \frac{d_2^3}{6} = \frac{3^3}{6} = 4.5m^3$$

$$B_{32} = \frac{d_2^2}{2} l_{32} = \frac{3^2}{2}(2) = 9.0m^3$$

$$C_{32} = \frac{d_2}{2} (l_{32})^2 = \frac{3}{2}(2)^2 = 6.0m^3$$

$$(A_3)r_3$$

$$A_3 = \frac{d_3^3}{6} = \frac{2^3}{6} = 1.33333m^3$$

Sustituyendo en la ecuación C :

$$1630.57\theta_1 + 36.5833r_1 + 19.5r_2 + 1.3333r_3 = 0 \quad \text{----- (3)}$$

Por último aplicamos la ecuación (D)

$$r_1h_1 + r_2h_2 + r_3h_3 = Vn$$

Sustituyendo la ecuación (D) queda:

$$2r_1 + 3r_2 + 2r_3 = 3.40 \quad \text{----- (4)}$$

Finalmente escribiremos a manera de resumen las cuatro ecuaciones que se obtuvieron del análisis estructural del pilote :

$$5707\theta_1 + 1630.57\delta_1 + 1630.57\delta_2 + 6.0416666r_1 + 0.210937r_2 = 0 \quad \text{----- (1)}$$

$$11413.99\theta_1 - 1630.57\delta_1 + 1630.57\delta_2 + 74r_1 + 25.375r_2 + 0.666667r_3 = 0 \quad \text{----- (2)}$$

$$1630.57\theta_1 + 36.5833r_1 + 19.5r_2 + 1.3333r_3 = 0 \quad \text{----- (3)}$$

$$2r_1 + 3r_2 + 2r_3 = 3.40 \quad \text{----- (4)}$$

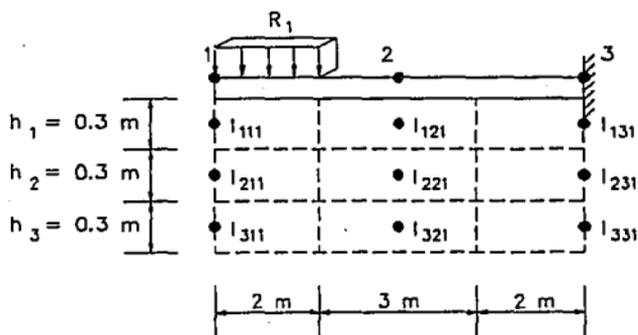
Para la segunda parte del problema , que corresponde al cálculo de la deformación del suelo provocada por carga vertical se parte de la siguiente ecuación :

$$\delta_t = \frac{1}{b} \sum_{j=1}^p M_{v_j} h_j \sum_{k=1}^n R_k I_{jk}$$

La distribución de esfuerzos en el suelo se determina por el método de Zeevaert considerando $\chi = 3$:

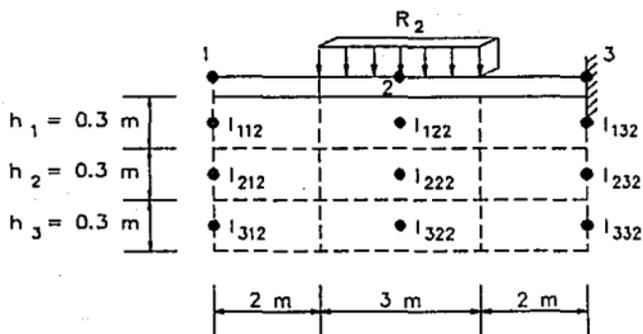
a) Obtención de los valores de influencia I_{ijk} suponiendo una presión unitaria y espesores e_j de los estratos imaginarios igual a 30 cm .

a1) Efectos debidos únicamente a r_1 .



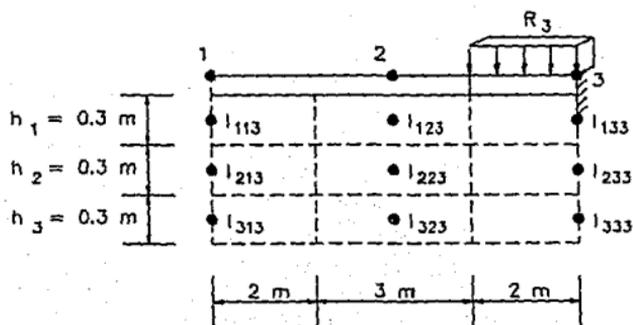
PROFUNDIDAD (m)	No ESTRATOS	NUMERO DE PUNTOS		
		1	2	3
0.15	1	0.1266344274	0.000020148	0.000000158
0.45	2	0.1168816202	0.000486163	0.000004233
0.75	3	0.101346077	0.001831724	0.000019082

a2) Efectos debidos únicamente a r_2 .



PROFUNDIDAD (m)	No ESTRATOS	NUMERO DE PUNTOS		
		1	2	3
0.15	1	0.000006221	0.919654512	0.000006221
0.45	2	0.000157727	0.514492051	0.000157727
0.75	3	0.000647954	0.3214050285	0.000647954

a3) Efectos debidos únicamente a r_3 .



PROFUNDIDAD (m)	No ESTRATOS	NUMERO DE PUNTOS		
		1	2	3
0.15	1	0.000000158	0.000020148	0.1286344274
0.45	2	0.000004233	0.000488163	0.1166816202
0.75	3	0.000019082	0.001831724	0.101346077

b) Obtención de δ_1 , δ_2 , y δ_3 :

Aplicando la ecuación (E) para los puntos 1, 2, 3 se obtienen otras tres ecuaciones que serían los desplazamientos de dichos puntos en función de las reacciones.

Para el punto 1 se tiene :

$$\delta_1 = \frac{1}{b} \sum_{j=1}^3 Mv_j h_j \sum_{k=1}^3 I_{jk} r_k$$

$$\delta_1 = \frac{1}{b} [(Mv_{11} h_1)(I_{111} r_1 + I_{112} r_2 + I_{113} r_3) + (Mv_{12} h_2)(I_{211} r_1 + I_{212} r_2 + I_{213} r_3) + (Mv_{13} h_3)(I_{311} r_1 + I_{312} r_2 + I_{313} r_3)]$$

donde :

$$h_1 = h_2 = h_3 = 0.30m$$

$$b = 0.35m$$

$$Mv_{11} = Mv_{12} = Mv_{13} = \frac{1}{3G} = \frac{1}{3(360)} = 0.000925925 m^2 / ton$$

sustituyendo :

$$\delta_1 = \frac{1}{0.35} [(0.000925925 \times 0.30)(0.1266344274r_1 + 0.000006221r_2 + 0.000000158r_3) + (0.000925925 \times 0.30)(0.1166816202r_1 + 0.000157727r_2 + 0.000004233r_3) + (0.000925925 \times 0.30)(0.101346077r_1 + 0.000647954r_2 + 0.000019082r_3)]$$

$$\delta_1 = 0.000273541r_1 + 0.000000644r_2 + 0.000000018r_3 \quad \text{----- (5)}$$

Para el punto 2 se tiene :

$$\delta_2 = \frac{1}{b} [(Mv_{21}h_1)(I_{121}r_1 + I_{122}r_2 + I_{123}r_3) + (Mv_{22}h_2)(I_{221}r_1 + I_{222}r_2 + I_{223}r_3) + (Mv_{23}h_3)(I_{321}r_1 + I_{322}r_2 + I_{323}r_3)]$$

donde:

$$h_1 = h_2 = h_3 = 0.30m$$

$$b = 0.35m$$

$$Mv_{21} = Mv_{22} = Mv_{23} = \frac{1}{3G} = \frac{1}{3(330)} = 0.001010101m^2/ton$$

sustituyendo :

$$\delta_2 = \frac{1}{0.35} [(0.001010101 \times 0.30)(0.000020148r_1 + 0.919654512r_2 + 0.000020148r_3) + (0.001010101 \times 0.30)(0.000486163r_1 + 0.514492051r_2 + 0.000486163r_3) + (0.001010101 \times 0.30)(0.001831724r_1 + 0.3214050285r_2 + 0.001831724r_3)]$$

$$\delta_2 = 0.000002024r_1 + 0.001519958r_2 + 0.00002024r_3 \quad \text{----- (6)}$$

Para el punto 3 se tiene :

$$\delta_3 = \frac{1}{b} [(Mv_{31}h_1)(I_{131}r_1 + I_{132}r_2 + I_{133}r_3) + (Mv_{32}h_2)(I_{231}r_1 + I_{232}r_2 + I_{233}r_3) + (Mv_{33}h_3)(I_{331}r_1 + I_{332}r_2 + I_{333}r_3)]$$

donde:

$$h_1 = h_2 = h_3 = 0.30m$$

$$b = 0.35m$$

$$Mv_{31} = Mv_{32} = Mv_{33} = \frac{1}{3G} = \frac{1}{3(260)} = 0.001282051m^2/i$$

sustituyendo :

$$\delta_3 = \frac{1}{0.35} \left[(0.001282051 \times 0.30)(0.000000158r_1 + 0.000006221r_2 + 0.1266344274r_3) + \right. \\ \left. + (0.001282051 \times 0.30)(0.000004233r_1 + 0.000157727r_2 + 0.1166816202r_3) + \right. \\ \left. + (0.001282051 \times 0.30)(0.000019082r_1 + 0.000647954r_2 + 0.101346077r_3) \right]$$

$$\delta_3 = 0.000000025r_1 + 0.000000892r_2 + 0.000378749r_3 \quad \text{----- (7)}$$

c) Compatibilidad de deformaciones

Sustituyendo las ecuaciones (5) y (6) en la ecuación (1) :

$$5707\theta_1 - 1630.57(0.000273541r_1 + 0.000000644r_2 + 0.000000018r_3) + 1630.57(0.000002024r_1 + 0.001519958r_2 + \\ + 0.00002024r_3) + 6.0416666r_1 + 0.210937r_2 = 0$$

Finalmente la ecuación queda de la siguiente forma :

$$5707\theta_1 + 6.490994622r_1 + 2.690385003r_2 + 0.033032087r_3 = 0 \quad \text{----- (8)}$$

Sustituyendo las ecuaciones (5) y (7) en la ecuación (2) :

$$11413.99\theta_1 - 1630.57(0.000273541r_1 + 0.000000644r_2 + 0.000000018r_3) + 1630.57(0.000000025r_1 + 0.0000000892r_2 + 0.000378749r_3) + 74r_1 + 25.375r_2 + 0.666667r_3 = 0$$

Finalmente la ecuación queda de la siguiente forma :

$$11413.99\theta_1 + 74.44606851r_1 + 25.37750456r_2 + 1.284269846r_3 = 0 \quad \text{----- (9)}$$

Por lo tanto el sistema de ecuaciones por resolver está formado por las ecuaciones (3) , (4) , (8) y (9) .

Matricialmente el sistema queda de la siguiente forma :

1630.57	36.5833	19.5	1.3333	Θ_1	○
0	2	3	2	R_1	3.4
5707.00	6.490994622	2.690385003	0.033032087	R_2	○
11413.99	71.44606851	25.37750456	1.284269846	R_3	○

La solución del sistema de ecuaciones es :

$$\theta_1 = 0.0000491285$$

$$R_1 = 0.154574 \text{ ton/m}$$

$$R_2 = -0.165233 \text{ ton/m}$$

$$R_3 = 1.93239 \text{ ton/m}$$

Sustituyendo éstos valores en las ecuaciones (5), (6) y (7),
obtenemos el valor de los desplazamientos :

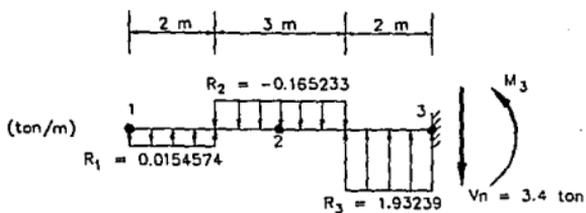
$$\delta_1 = 0.00000415m = 0.000415cm$$

$$\delta_2 = -0.000212m = -0.0212cm$$

$$\delta_3 = 0.00073174m = 0.073174cm$$

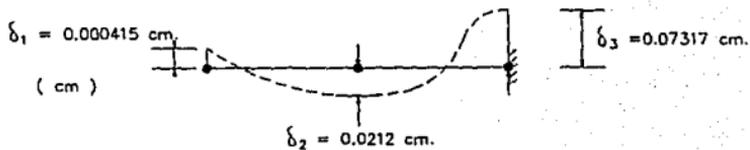
Presentación gráfica de los resultados :

Reacciones :

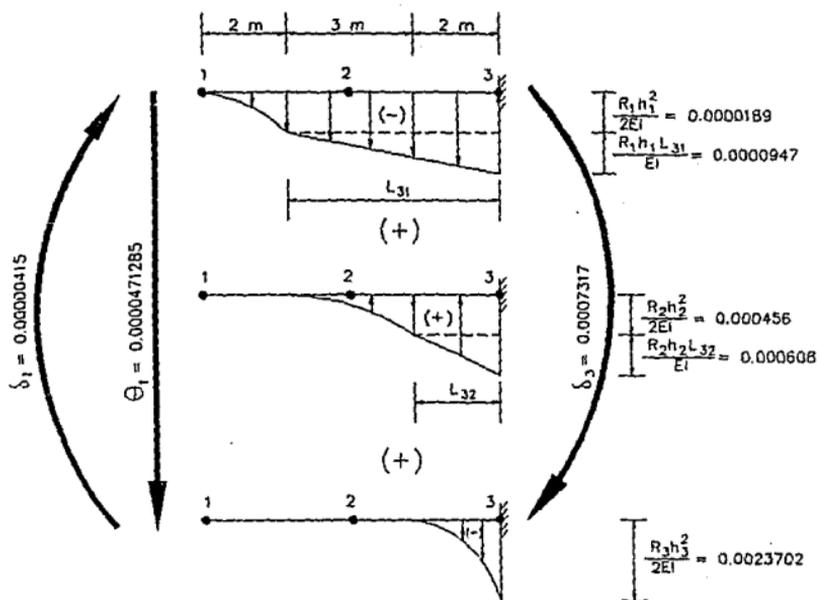


$$M_1 = (0.0154574)(2)(6) - (0.165233)(3)(3.5) + (1.93239)(2)(1) = 2.3153223 \text{ ton.m}$$

Desplazamientos :



Comprobación :



Haciendo Σ de momentos respecto al punto tres de la viga conjugada tenemos :

$$0.00000415 - (0.0000491285 \times 7) - \frac{0.0000189(2)}{3}(5.5) - 0.0000189(5)(2.5) - \frac{0.0000947(5)}{2}\left(\frac{5}{3}\right) + \frac{0.000456(3)}{3}(2.75) + \\ + 0.000456(2)(1) + \frac{0.000608(2)}{2}\left(\frac{2}{3}\right) - \frac{0.0023702(2)(0.5)}{3} = 0.000718381$$

Haciendo operaciones :

$$0.0007218623 = 0.0007183810$$

EJEMPLO UTILIZANDO EL PROGRAMA DISP

Tomando los valores del ejemplo desarrollado en el punto III.1 se llevó a cabo el análisis del pilote, presentando en un reporte todos los datos de entrada así como los resultados, los cuales se presentan en las siguientes hojas.

UUUUUUÉ	UUUUUUÝ	ÉUUUUÉ	BUUUUUÉ
UUÝ UUÝ	UUÝ	BUU ÓÓ	BUU UUÝ
UUÝ UUÝ	UUÝ	ÓUUUUÉ	BUUUUUÓ
UUÝ UUÝ	UUÝ	ÉE UUÝ	BUU
UUUUUUÓ	UUUUUUÝ	ÓUUUUÓ	BUU

DISEÑO INTERACCION SUELO - PILOTE

D I S P
3/ 5/1991

PRESENTACION DATOS DE ENTRADA
DATOS GENERALES

1

Cortante total de la estructura a nivel suelo $Vt = 3.4000$ [Ton]

Número de pilotes $Np = 1$

Cortante en cada pilote $Vn = 3.4000$ [Ton]

Longitud del pilote $L = 7.0000$ [m]

Reacciones uniformes en el pilote $Nr = 3$

Longitud de las reacciones

$d 1 = 2.0000$ [m]

$d 2 = 3.0000$ [m]

$d 3 = 2.0000$ [m]

Número de estratos $Ne = 3$

Espesor de cada estrato

$h 1 = 2.0000$ [m]

$h 2 = 3.0000$ [m]

$h 3 = 2.0000$ [m]

D I S P
3/ 5/1991

PRESENTACION DATOS
PROPIEDADES GEOMETRICAS

2

Tipo de sección

Ts = circular

Di metro

d = 35.0000 [cm]

Area

A = 962.1128 [cm²]

Momento de inercia

I = 73661.7574 [cm⁴]

a) Propiedades del pilote

$f'c$ $f'c = 250.0000$ [kg/cm²]
Tipo de concreto $Tc = 1$
Módulo de elasticidad $Ec = 221359.4362$ [kg/cm²]

b) Propiedades del suelo

Módulo de rigidez cortante
 $G 3 = 360.0000$ [Ton/m²]
 $G 2 = 330.0000$ [Ton/m²]
 $G 1 = 260.0000$ [Ton/m²]

Módulo de Poisson

$\nu 3 = 0.5000$
 $\nu 2 = 0.5000$
 $\nu 1 = 0.5000$

Módulo longitudinal de deformación

$Mv 3 = 0.0009$
 $Mv 2 = 0.0010$
 $Mv 1 = 0.0013$

D I S P
3/ 5/1991

PRESENTACION RESULTADOS
GIRO-REACCIONES-DESPLAZAMIENTOS

4

Giro

$$\delta = 0.0000622097$$

Reacciones

$$R 1 = 0.0110323035 \text{ [ton/m]}$$

$$R 2 = -0.1573848433 \text{ [ton/m]}$$

$$R 3 = 1.9250449614 \text{ [ton/m]}$$

Desplazamientos

$$\delta 1 = 0.0002952243 \text{ [cm]}$$

$$\delta 2 = -0.0235299213 \text{ [cm]}$$

$$\delta 3 = 0.0728969851 \text{ [cm]}$$

Como podemos observar los resultados obtenidos del análisis utilizando el programa DISP son semejantes a los resultados obtenidos sin utilizar el programa, por lo que podemos asegurar que realizando la comprobación el equilibrio también se cumplirá.

ANEXO V.A.
MANUAL DEL USUARIO

INDICE

• 1) Requerimientos mínimos del sistema.	133
2) Información general.	133
3) Ejecución del programa DISP.	134
4) Descripción de las opciones del menú principal.	135

1) Requerimientos mínimos de sistema

Para poder instalar y ejecutar el programa DISP es necesario contar con el siguiente equipo como mínimo :

- Computadora IBM - PC o compatible.
- Sistema operativo 3.3 o posteriores.
- 640 KB de memoria.
- Monitor VGA.
- Impresora opcional.

2) Información general

El programa DISP permite obtener el giro en el extremo del pilote, el valor de las reacciones propuestas y el valor de los desplazamientos en ciertos puntos a lo largo de la longitud del pilote.

El programa, una vez ejecutado completamente, proporciona dos archivos con la siguiente forma :

- ARCHIVO.DAT

- ARCHIVO.RPT

El archivo con extensión DAT contiene en general toda la información referente al programa DISP , es decir, datos proporcionados y resultados. Presenta la ventaja de poder ser editado y posteriormente modificado, es el archivo con el cual se trabajará al estar dentro del programa.

El archivo con la extensión RPT contiene también toda la información referente al programa, sin embargo, éste es un archivo sólo de presentación, es decir, presenta la información como lo haría un procesador de textos. Es en general el reporte del programa que contiene los datos y resultados en forma ordenada.

3) Ejecución del programa DISP

Para poder ejecutar el programa bastará copiar los archivos base en el disco duro de la computadora, incluso puede ejecutarse desde cualquier unidad de disco de la computadora.

Una vez copiados los archivos base en la unidad de disco elegida , para iniciar el programa, es necesario teclear lo siguiente :

DISP , y oprimir la tecla (Intro), posteriormente deberá teclearse la clave de acceso. El programa desplegará en pantalla, el menú principal que contiene las opciones que a continuación se presentan :

1.- Ingresar datos generales.

2.- Ingresar propiedades geométricas.

3.- Ingresar propiedades de los materiales.

4.- Presentación gráfica de los datos de entrada.

5.- Presentación de resultados.

6.- Presentación gráfica de resultados.

7.- Abrir archivo de datos.

8.- Guardar archivo de datos.

0.- Salir.

Si se desea editar un archivo ya existente deberá iniciarse con la opción siete. Para generar un archivo nuevo deberá iniciarse con la opción uno. La ejecución de las opciones deberá ser en orden progresivo, es decir, no podrá ejecutarse la opción tres si no se han ejecutado las opciones uno y dos.

4) Descripción de las opciones del menú principal

-Opción (1). Ingresar datos generales.

Al ejecutar esta opción deberán introducirse los siguientes datos :

V_l : Cortante total a nivel del suelo. Este valor posteriormente será dividido entre el número de pilotes. La división la realiza el programa, (unidades , ton).

N_p : Es el número total de pilotes entre los cuales será dividido el cortante (V_l), (unidades, adimensional).

V_n : Es el cortante que actúa en cada uno de los pilotes en forma individual, es decir $V_n = \frac{V_l}{N_p}$, este dato no es necesario introducirlo, lo genera el programa.

L : Es la longitud total del pilote, (en , m).

N_r : Es el número total de reacciones uniformes que serán consideradas en el análisis, (adimensional).

(d_1, d_2, \dots, d_n) : Cada valor (d) es la longitud, paralela al eje del pilote de cada una de las reacciones consideradas, no necesariamente deben de ser iguales. La longitud (d_n) será medida a partir de la cabeza del pilote y la longitud (d_1) será la que termine en la punta del pilote. La suma de todas estas longitudes deberá coincidir con la longitud (L), (en, m).

N_e : Es el número total de estratos de suelo que existen desde el extremo de la cabeza hasta el extremo de la punta del pilote, (unidades, adimensional).

(h_1, h_2, \dots, h_n) : Cada valor de (h) es espesor de cada uno de los estratos de suelo, este espesor debiera ser igual a la longitud de las reacciones uniformes que actúan sobre el pilote, ya que la investigación se encuentra en una primera etapa . La suma de todas estas

longitudes deberá ser igual a la longitud del pilote (L). La longitud (h_n) corresponde al estrato superficial, (en , m).

Al pie de ésta pantalla de datos se nos presentan dos opciones ; $\langle M \rangle$ odificar y $\langle R \rangle$ egresar. la opción (R) nos regresa al menú principal y la opción (M) nos permite modificar los datos ingresados.

- Opción dos (2). Ingresar propiedades geométricas.

Al ejecutar ésta opción deberán introducirse los siguientes datos :

T_s Se refiere a la forma geométrica de la sección transversal del pilote, existen dos opciones ; C (circular) y p (prismática). Si la sección transversal es circular deberá introducirse el diámetro (d_i), (unidades, cm). Si la sección transversal es prismática deberán introducirse un ancho y un largo, (unidades, cm).

A : Es el área de la sección transversal del pilote. Este dato lo calcula el programa, (unidades, cm^2).

I : Es el momento de inercia de la sección transversal del pilote, este dato lo calcula el programa, (unidades, cm^4).

Al pie de esta pantalla de datos se nos presentan se nos presentan las opciones $\langle R \rangle$ y $\langle M \rangle$ con la misma función que en la opción uno (1).

Opción tres (3). Ingresar propiedades de los materiales.

Esta opción está dividida en dos partes :

a) Propiedades del pilote.

Contiene los siguientes datos :

$f'c$ Es la resistencia especificada del concreto a compresión, (unidades, Kg/cm^2).

Tc Se refiere a la clase de concreto considerado. Se tienen dos opciones : I , para concreto clase uno y II, para concreto clase dos. (unidades, adimensional).

E_s : Es el módulo de elasticidad del concreto , (unidades, kg/cm^2). Este dato lo calcula el programa utilizando las expresiones que recomienda el Reglamento de Construcciones del D.F. de 1987 en sus Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto :

Para concretos clase 1 se tiene $14000\sqrt{f'c}$ (unidades, kg/cm^2).

Para concretos clase 2 se tiene $8000\sqrt{f'c}$ (unidades, kg/cm^2).

b) Propiedades del suelo.

Contiene los siguientes datos :

(G_1, G_2, \dots, G_n) : Cada valor de G es el módulo de rigidez al cortante de cada uno de los estratos de suelo. G_1 corresponde al estrato que está en la punta del pilote y el G_n corresponde al estrato que está en la cabeza del pilote. (unidades, ton/m^2).

$\langle v_1, v_2, \dots, v_n \rangle$: Cada valor de v es el módulo de Poisson de cada uno de los estratos de suelo ; v_1 corresponde al estrato que está en la punta del pilote y v_n corresponde al estrato que está en la cabeza del pilote, (unidades, adimensional).

$\langle Mv_1, Mv_2, \dots, Mv_n \rangle$: Cada valor de Mv es el módulo longitudinal de deformación del suelo de cada uno de los estratos. Este dato lo genera el programa. El valor de Mv_n corresponde al estrato superficial, (unidades, m^2/ton).

Al pie de ésta pantalla se nos presentan las opciones $\langle R \rangle$ y $\langle M \rangle$ con la función ya mencionada anteriormente.

- Opción cuatro (4) Presentación gráfica de los datos de entrada.

Esta opción, como su nombre lo indica, presenta en pantalla de manera gráfica los datos introducidos con la finalidad de verificar su correcta introducción. No es posible corregir ningún dato dentro de ésta opción, es sólo informativa, en caso de existir algún error en los datos deberá entrarse a la opción correspondiente para hacer la corrección y posteriormente es recomendable volver a verificar los datos utilizando esta opción cuatro (4).

-Opción cinco (5) Presentación de resultados.

Al ejecutar esta opción el programa resuelve el análisis. Presenta en pantalla los resultados siguientes :

0 Es el giro en el extremo libre del pilote (la punta), (unidades, rad).

(R_1, R_2, \dots, R_n) : Cada valor de R corresponde al valor de cada una de las reacciones uniformes consideradas ; R_1 corresponde a la reacción en la punta del pilote y R_n corresponde a la reacción en la cabeza del pilote, (unidades, ton/m).

($\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$) : Cada valor de δ corresponde al valor del desplazamiento en un punto considerado ; δ_1 corresponde al desplazamiento en la punta del pilote , δ_n corresponde al desplazamiento del punto de unión entre pilote y tosa de cimentación. Los valores δ intermedios corresponden al desplazamiento de los puntos medios de las reacciones, (unidades, cm).

Esta opción a su vez contiene las siguientes alternativas :

(I) mprimir reporte. Al ejecutar esta opción se imprime el reporte de resultados.

(G)uardar en archivo. Esta opción nos permite salvar el archivo con extensión RPT en la unidad de disco que se elija.

(R)egresar. Esta opción nos regresa al menú principal.

- Opción seis (6) Presentación gráfica de resultados.

Esta opción presenta en pantalla los resultados obtenidos, de manera gráfica. En primer lugar presenta las reacciones y al oprimir una t́ecla cualquiera presenta los desplazamientos y la configuracion de deformaci3n del pilote.

- Opci3n siete (7) Abrir archivo de datos.

Esta opción permite editar un archivo de análisis generado con anterioridad y si se desea puede ser modificado y resuelto nuevamente. Después de ejecutar esta opción deberá teclearse el nombre del archivo que se desea editar con la ruta de acceso completa.

- Opción ocho (8) Guardar archivo de datos.

Esta opción nos permite salvar en la unidad de disco elegida el trabajo completo, es decir, el archivo con extensión DAT.

Opción cero (0) Salir.

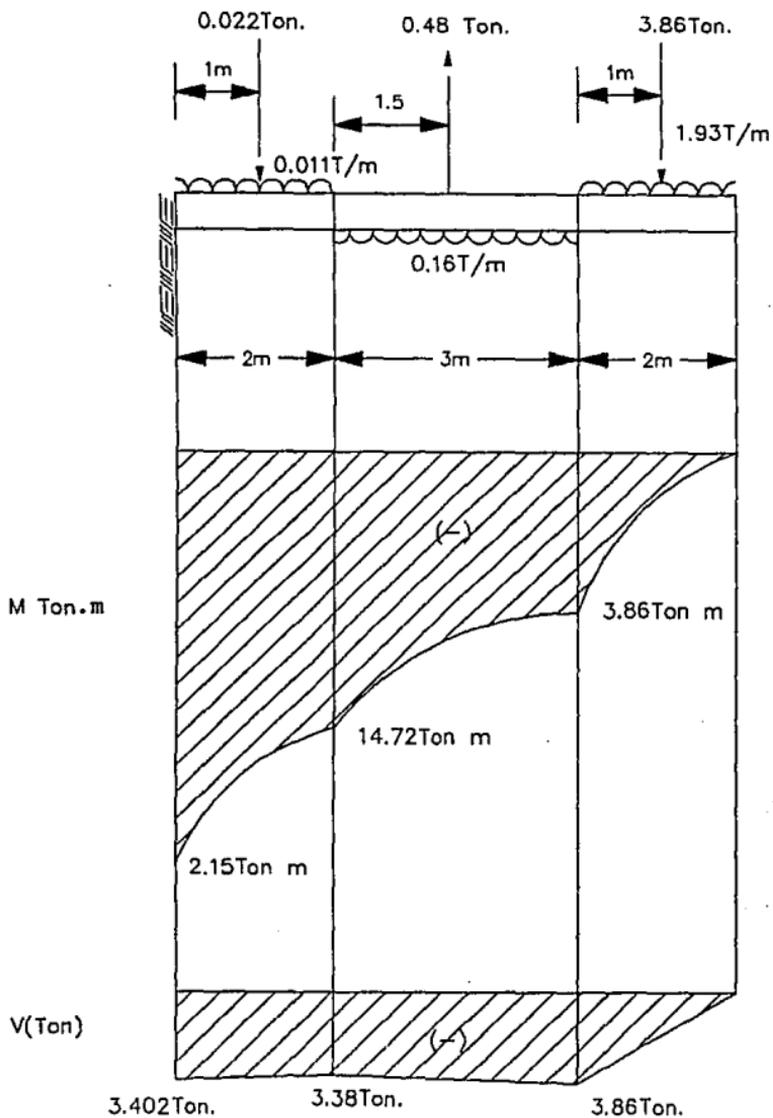
Esta opción finaliza la ejecución del programa DISP cerrándolo completamente y regresa el cursor al sistema operativo, en la unidad de disco que se haya utilizado.

CAPITULO SEIS

ANALISIS DE RESULTADOS

VI.1 Diseño Estructural del Pilote

Tomando los valores de las reacciones a lo largo del pilote, obtenidas de la aplicación del programa DISP, y los datos geométricos así como las propiedades de los materiales que se manejaron en el ejemplo del capítulo cinco, se realizará en éste capítulo el diseño estructural del pilote.



DATOS :

$$f'_c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ ton/cm}^2$$

$$P = 26.24 \text{ ton}$$

$$M = 21.50 \text{ ton-m}$$

$$D = 35 \text{ cm}$$

$$e_x = e_y = 0.05D = 0.05(35) = 1.75 \text{ cm}$$

PARAMETROS PARA EL CALCULO DE LA RESISTENCIA.

$$f^*c = 0.8f'_c = 0.8(250) = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f^rc = 0.85f^*c = 0.85(200) = 170 \text{ kg/cm}^2$$

Se suponen barras longitudinales del No. 6 , con estribos del No. 3 y un recubrimiento igual a 5 cm .

$$d = D - 2r = 35 - 2(5) = 25\text{cm}$$

$$\frac{d}{D} = \frac{25}{35} = 0.714$$

Con la relación peralte efectivo a peralte total, y haciendo uso de la fig. 20 (diagramas de Interacción) de la publicación del Instituto de Ingeniería.

Siguiendo con el diseño, obtenemos la carga última P_u y el momento último sin considerar efectos de esbeltez :

$$P_u = F.C.(P) = 1.4(26.24) = 36.74\text{ton}$$

$$M_x = M_y = 21.5(0.0175) = 0.376\text{ton} - m$$

EFFECTOS DE ESBELTEZ

$$r = \frac{D}{4} = \frac{35}{4} = 8.75\text{cm}$$

$$\frac{H'}{r} = \frac{700\text{cm}}{8.75\text{cm}} = 80$$

$$34 - 12 \frac{M_1}{M_2} = 34 - 12 \left(\frac{21.5}{21.5} \right) = 22$$

Se cumple que $80 > 22$, por lo tanto, deben de considerarse los efectos de esbeltez.

Se diseñará para P_u y un momento amplificado.

$$M = FaM$$

$$Fa = \frac{Cm}{1 - \left(\frac{P_u}{P_c}\right)} \geq 1.0$$

$$Cm = 0.6 + 0.4 \left(\frac{M_1}{M_2}\right) = 0.6 + 0.4(1) = 1 \geq 0.4$$

$$E_c = 14000 \sqrt{f'_c} = 14000 \sqrt{250} = 221359.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$\nu = \frac{12}{36.74} = 0.33$$

$$I_g = \frac{\Pi D^4}{64} = \frac{\Pi (35)^4}{64} = 73662 \text{ cm}^4$$

$$EI = 0.4 \frac{E_c I_g}{(1 + \nu)} = 0.4 \frac{221359.44 (73662)}{(1 + 0.33)} = 1.23 \times 10^{10} \text{ kg-cm}^2$$

$$P_c = \frac{F_c \Pi^2 EI}{(H')^2} = \frac{0.85 \Pi^2 (1.23 \times 10^{10})}{700^2} = 210585.13 \text{ kg}$$

Aplicando la ecuación 1.2 de las Normas Técnicas Complementarias de Concreto del RDDF - 87 :

$$Fa = \frac{1}{1 - \left(\frac{36.74}{210.585} \right)} = 1.21$$

Ahora, con la ecuación 1.1 de las Normas, la columna se diseñará para :

$$M = 1.21(0.376) = 0.455 \text{ ton} - m$$

PARAMETROS ADIMENSIONALES DE LAS CARGAS DE DISEÑO.

$$e = \frac{M}{Pu} = \frac{0.455}{36.74} = 0.012m$$

$$\frac{e}{D} = \frac{0.012}{0.35} = 0.035$$

$$K = \frac{Pu}{F.RD^2 f'c} = \frac{36740}{0.75(35)^2(170)} = 0.235$$

Con los valores de $K = 0.235$ y $\frac{e}{D} = 0.035$, de la fig. 20 de los diagramas de interacción, se obtiene el valor de q :

$$q = 0.20$$

Que corresponde a la siguiente área de acero :

$$A_s = q \frac{\pi D^2}{4} \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) = 0.20 \frac{\pi (35)^2}{4} \left(\frac{170}{4200} \right) = 7.78 \text{ cm}^2$$

$$P = q \frac{f'_c}{f_y} = 0.20 \frac{170}{4200} = 0.00809$$

Como $A_s = 7.78 \text{ cm}^2$, que equivale a 3 varillas del número 6 , se cambiará a 6 varillas del No. 6, que por reglamento, es el número mínimo de varillas para una sección circular.

Con 6 varillas del No. 6, se tiene un $A_s = 17.10 \text{ cm}^2$

El porcentaje de acero que se obtiene es el siguiente :

$$P = \frac{4 A_s}{\pi D^2} = \frac{4(17.10)}{\pi (35)^2} = 0.0178$$

Este porcentaje de acero cumple con el rango que indica las Normas Técnicas Complementarias.

$$\frac{20}{f_y} < \rho' < 0.06$$

$$0.0047 \leq 0.0178 \leq 0.06$$

Se revisará ahora el refuerzo transversal, el cual se propuso del No. 3.

El porcentaje volumétrico del refuerzo helicoidal, ρ' , no será menor que :

$$0.45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f_c}{f_y} = 0.45 \left(\frac{962.11}{660.50} - 1 \right) \frac{250}{4200} = 0.0122$$

$$A_g = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (35)^2}{4} = 962.11 \text{ cm}^2$$

$$A_c = \frac{\pi D^2}{4} \frac{\pi (29)^2}{4} = 660.50 \text{ cm}^2$$

Ni tampoco que :

$$0.12 \frac{f_c}{f_y} = 0.12 \frac{250}{4200} = 0.0071$$

$$A_e = 0.71 \text{ cm}^2 (\text{barra- No.3})$$

$$P' = \frac{4 \times 0.71}{5 \times 29} = 0.0195$$

$$P' = 0.0195 > 0.012 \therefore \text{cumple.}$$

Se obtiene ahora el paso del zuncho :

$$S = \frac{A_{sp} \Pi d_s}{P A_c} = \frac{0.71 \Pi (27)}{(0.0195)(660.50)} = 4.67 \text{ cm} \doteq 5.0 \text{ cm}$$

La separación con la cual se debe de comparar la calculada anteriormente, se hará con la menor de las siguientes cuatro condiciones :

$$S_1 = \frac{850}{\sqrt{f_y}} d_{v.v} = \frac{850}{\sqrt{4200}} (1.9) = 24.9 \text{ cm} \doteq 25 \text{ cm}$$

$$S_2 = 48 d_e = 48 (0.95) = 45.6 \text{ cm} \doteq 45 \text{ cm}$$

$$S_3 = D = 35 \text{ cm}$$

S4 = el claro libre entre dos vueltas consecutivas no debe ser mayor de 7 cm ,por reglamento.

Por lo tanto la separación que rige es la calculada :

$$S = 5.0 \text{ cm}$$

En la parte cercana a la conexión entre el pilote y la losa de cimentación, la separación del paso del zuncho se reducirá a la mitad de la calculada, en una longitud, que dependerá de las siguientes condiciones :

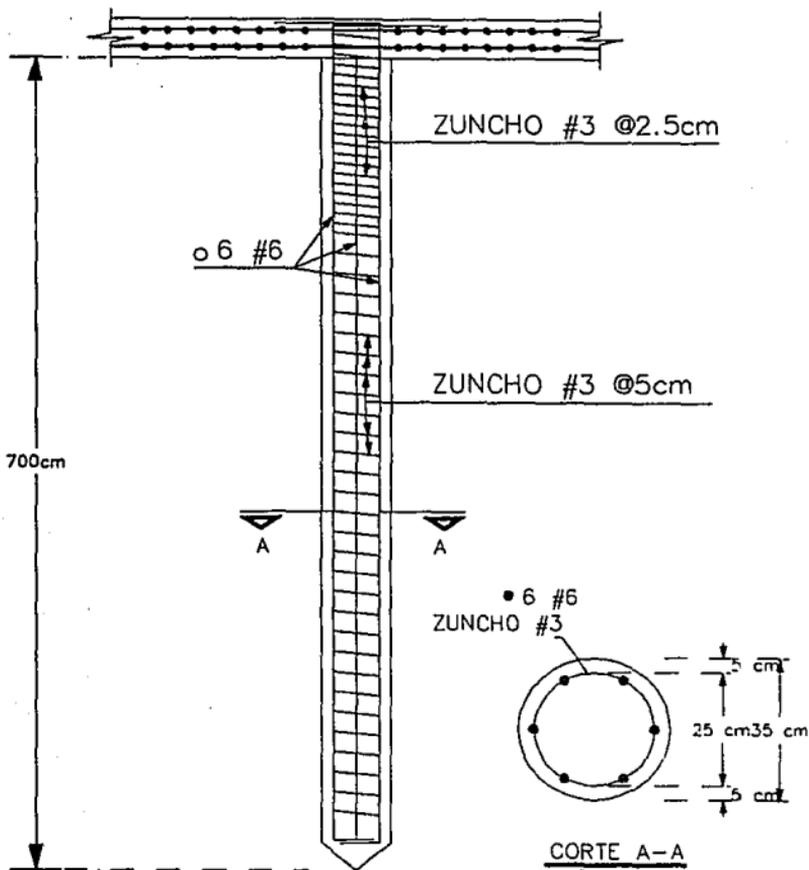
$$\frac{D}{6} = \frac{35}{6} = 5.8\text{cm} \doteq 6.0\text{cm}$$

$$60\text{cm}$$

$$D = 35\text{cm}$$

De éstas tres condiciones se escoge la mayor, por lo que la condición que se elige es L = 60 cm.

En las siguientes figuras se presenta el armado final del pilote.



CAPITULO SIETE

CONCLUSIONES

Se ha presentado un procedimiento para el análisis del pilote en un suelo estratificado, sujetos a cargas laterales, las cuales pueden ser debidas a un sismo.

El método tiene la ventaja de ser relativamente sencillo de aplicar, el análisis estructural se efectúa utilizando únicamente el método de la viga conjugada.

La determinación de los desplazamientos relativos entre suelo y pilote, tomando en cuenta la rigidez de la pieza estructural, se lleva a cabo considerando la influencia de las reacciones del suelo en cualquier punto de la masa, mediante el concepto de valores de influencia propuesto por Zeevaert (1973).

Estableciendo la compatibilidad de deformaciones del pilote y deformaciones del suelo, se puede resolver el problema sin recurrir a iteraciones.

Lo anterior se consigue empleando las ecuaciones de la 4 a la 13 en la parte Estructural y la ecuación 14 en la parte de Mecánica de Suelos.

La precisión se aumenta incrementando el número n y disminuyendo la longitud d de los tramos.

Desde luego, la aproximación del análisis depende de los datos con los que se alimenta. En este sentido, la determinación de las propiedades dinámicas del suelo en el campo o en el laboratorio es de gran importancia.

Resulta conveniente la instrumentación de pilotes sujetos a cargas laterales, así como el uso de modelos en el laboratorio, para calibrar los métodos de análisis y diseño que se emplean.

La principal aplicación del análisis de pilotes sujetos a cargas laterales estriba en la determinación del desplazamiento relativo entre suelo y pilote y en la obtención del diagrama de reacción del suelo sobre el pilote. Con éste último resultado se pueden calcular el diagrama de fuerza cortante y el diagrama de momento flexionante, y a partir de éstos poder efectuar el diseño estructural del pilote.

Cabe aclarar que el procedimiento es válido para pilotes de sección constante en toda su longitud. En el caso de que estos miembros sean de sección variable, se pueden desarrollar ecuaciones semejantes a las aquí presentadas, tomando en cuenta la variación de EI a lo largo del pilote.

En la actualidad existen muchos estudios sobre los efectos de las fuerzas perpendiculares al eje longitudinal de los pilotes, sin embargo, el análisis y diseño desarrollado por las oficinas de cálculo estructural sigue siendo demasiado simple, a pesar de existir evidencias muy claras de que las fuerzas horizontales pueden causar efectos muy dañinos en los pilotes.

En la actualidad, el diseño estructural de pilotes se realiza tomando en cuenta la carga axial que actúa sobre ellos y un momento flexionante, que resulta de la fuerza cortante basal y una longitud equivalente de empotramiento del pilote.

Al realizar un análisis y diseño más detallado, y por consiguiente más realista de los efectos de las fuerzas laterales en los pilotes, implica necesariamente un análisis de interacción suelo-estructura, lo que a su vez involucra la participación de especialistas en Mecánica de Suelos y la de especialistas en Estructuras. Ahora, por otra parte, la mayoría de los métodos de interacción suelo-estructura son, en general, muy laboriosos y se considera que su utilización no contribuye con mucho en términos prácticos.

A nuestra consideración , éstas son las principales causas por las que la mayoría de las oficinas de cálculo no realizan análisis y diseños más refinados.

Por todo lo comentado anteriormente, se ve clara la necesidad de contar con herramientas y métodos que faciliten la aplicación práctica de mejores y mas completos análisis que conduzcan a diseños más satisfactorios. En virtud de ello, se decidió desarrollar en éste trabajo un programa para computadora que facilita los cálculos necesarios en el análisis de la interacción suelo-pilote.

Contando con un programa de análisis de las características antes mencionadas, se pueden obtener reacciones a todo lo largo del pilote, las cuales nos considerarán un momento de diseño más real que con los métodos tradicionales.

BIBLIOGRAFIA

Alfredo Sánchez G. , Gabriel Dimas J.

Interacción suelo-estructura y diseño estructural de cimentaciones.

Editorial. SMMS, México, 1992.

Deméneghi A.

Un método para el análisis conjunto de la estructura y el suelo, Rev. Ingeniería.

Editorial. Nueva Epoca, Vol. XLIX, No.3, pag. 56-64, 1979.

José Raúl Flores B.

Respuesta dinámica de pilotes de punta sujetos a sismos

Segunda edición, 1984.

Luthe García, Rodolfo.

Análisis Estructural.

Editorial : México, Representaciones y Servicios.

M. Flores Ojeda.

Comunicación personal, 1980.

Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcción para el D.F.

Editado por : Centro de Actualización Profesional.

Alfonso Olivera López : Centro de Ingenieros Civiles de México.

Oscar M. González C. , Francisco Robles F.-v.
Aspectos fundamentales del concreto reforzado.
Editorial. Limusa, Segunda edición, 1985.

Roberto Meli, Mario Rodríguez.
Gráficas para diseñar columnas de concreto reforzado.
Versión actualizada del Apéndice del Informe 175

Zeevaert L.
Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions.
Chap. XII, Van Nostrand R., 1973.

Zeevaert. L.
Interacción suelo-estructura de cimentaciones.
Editorial. Limusa, 1980