

# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA 283

. 77



INTERACCION SUELO-PILOTE BAJO LA ACCION  
DE FUERZA LATERAL ESTATICA EQUIVALENTE A  
LOS EFECTOS DE UN SISMO.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
I N G E N I E R O C I V I L  
P R E S E N T A:

CARLOS RAFAEL GALVEZ BARRAGAN

Director: M. en I. AGUSTIN DEMENEGHI COLINA



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# I N D I C E

	PAGINAS
1. INTRODUCCION .....	1
2. VIGA CONJUGADA .....	9
3. DESCRIPCION DEL METODO DE INTERACCION ---- SUELO-PILOTE .....	28
4. EJEMPLO NUMERICO DE APLICACION .....	56
5. PROGRAMA DE COMPUTADORA .....	80
6. CONCLUSIONES .....	111
Referencias .....	115

## T E M A I

### INTRODUCCION

El objetivo de esta tesis es describir un método de interacción suelo-estructura en cimentaciones formadas por pilotes alojados en suelos finos, bajo la acción de una fuerza equivalente sísmica que se supone actuando en la base de la losa que aloje al cabezal de tales pilotes.

Este método es propuesto por el M. en I. Agustín Demeghi Colina, el cual está apoyado en los métodos de Interacción Suelo- Estructura propuestos por el Dr. Leonardo Leevaert.

Además, se pretende aquí elaborar un programa de computadora en lenguaje FORTRAN IV, de manera que el método descrito sea de fácil utilización.

Es conveniente aclarar lo siguiente:

Cuando una estructura cualquiera, por ejemplo un edificio, se diseña contra los efectos de un sismo, generalmente se efectúa Método Estático o un Análisis Dinámico:

a) Cuando se utiliza el Método Estático, se pretende tener una equivalencia entre los efectos dinámicos que un sismo induce a la estructura, y la resistencia que un elemento estructural puede tener cuando esta estructura se haya sujeta a un sistema de fuerzas distribuidas en sus niveles. Con las sollicitaciones estáticas equivalentes, que se obtienen en este método, se puede cuantificar los desplazamientos que provocan, y éstos nos proporcionan un intervalo de confianza para que, dado el caso de tener un movimiento sísmico que produce desplazamientos en la estructura, ésta sea capaz de soportarlos sin tener daños serios.

b) Cuando se usa el método de Análisis Dinámico, este también determina las fuerzas sísmicas de inercia equivalentes que actúan sobre una estructura cuando ocurre un sismo, y estas fuerzas equivalentes son estáticas a final de cuentas. Este segundo método -- presenta varias ventajas con respecto al Estático, siendo una de las más importantes el posible ahorro en el costo de la estructura, debido a un mejor conocimiento del comportamiento de la estructura ante el sismo, ya que los reglamentos proporcionan --

métodos de Análisis Estático que en general sobrees-  
timan la seguridad, mientras que las fuerzas que se  
obtienen en el Análisis Dinámico son, en muchas oca-  
siones, bastantes menores que las que resultan del  
Método Estático. Por otro lado, una desventaja del  
Análisis Dinámico es su complejidad con respecto al  
Estático, ya que es necesario el cálculo de los mo-  
dos de vibración de la estructura.

- c) Con cualquiera de los dos métodos mencionados que  
se utilice para el diseño sísmico de una estructu-  
ra, se obtienen sollicitaciones sísmicas equivalen-  
tes en cada nivel, de manera que una vez conocidas  
estas, se trabaja con ellas en forma estática, dis-  
tribuyéndolas en los elementos resistentes ( en el  
caso de un edificio, en marcos y muros) que forman  
parte integrante de la estructura en el sentido en  
que actúa la fuerza sísmica. Esta distribución co-  
mo se recordará se hace proporcionalmente a la rigi-  
dez de entrepiso de los elementos resistentes. Por  
último, con el sistema de fuerzas laterales equiva-  
lentes que actúan en cada marco se procede a hacer  
un análisis estructural de cada marco por medio de  
los métodos ya conocidos (Cross, Kanc, etc.).

Todo lo anteriormente dicho fue con el objeto de aclarar que el Método de Interacción Suelo-Pilote, que aquí se describirá, no involucra un Análisis Dinámico en el contacto suelo-pilote; sino que una vez obtenidas las acciones sísmicas equivalentes en la base de la superestructura, con cualquiera de los Métodos Estático o de Análisis Dinámico mencionados, se tomarán a estas solicitaciones en forma estática y se harán intervenir conjuntamente las propiedades del suelo con la rigidez de la subestructura ( en este caso los pilotes) para obtener las reacciones del suelo sobre el pilote, los desplazamientos horizontales relativos en algunos puntos del pilote y su giro en la punta, para así poder obtener la elástica del pilote.

Con los resultados anteriores se obtienen los elementos mecánicos (momentos y cortantes) del pilote, con los que se puede hacer un diseño estructural más racional del mismo. (este diseño estructural queda fuera del alcance de esta tesis), ya que se hace intervenir la rigidez conjunta de la estructura y el suelo, cosa que hasta la fecha rara vez se tomaba en consideración en los diseños.

Introduciéndonos al método de Interacción, las acciones que nos interesarán serán únicamente las que se presen-

tan en la base de la superestructura que son un momento de volteo " $M_t$ " y una fuerza horizontal " $V_t$ " como puede verse en la figura 1.

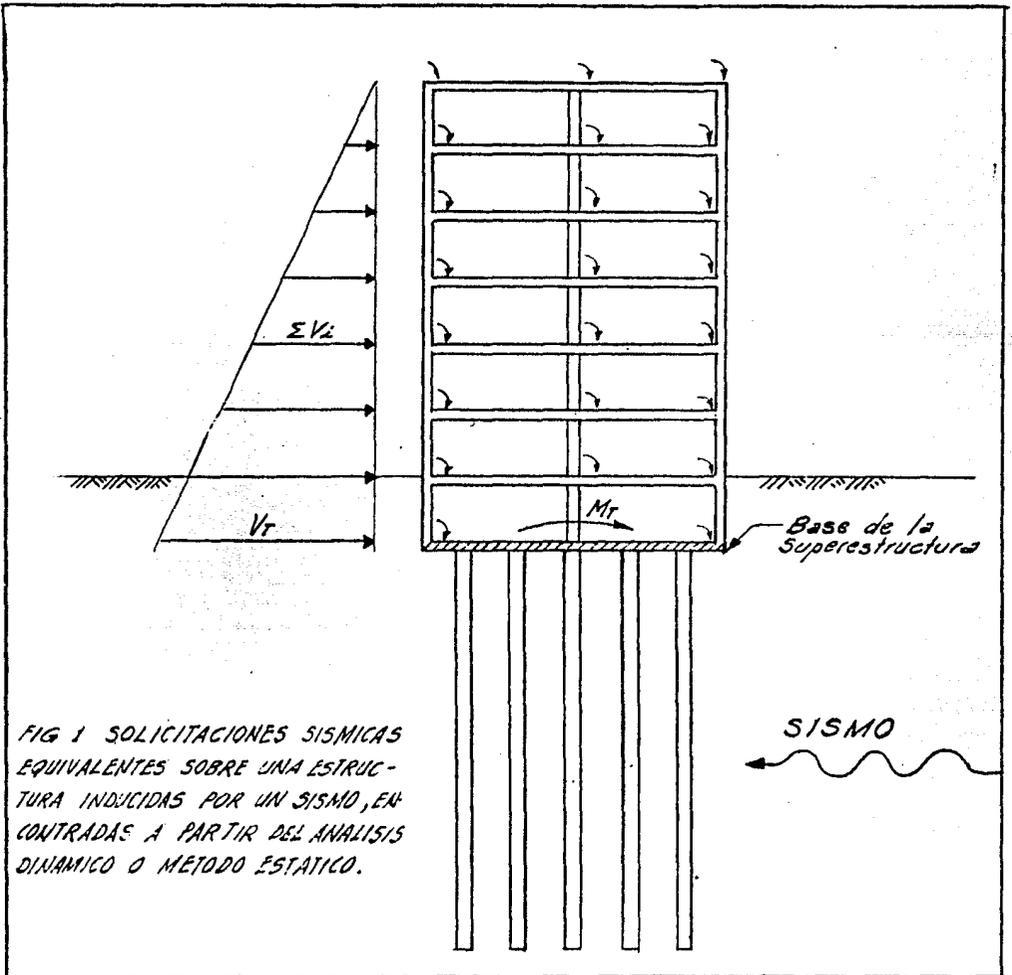


FIG 1 SOLICITACIONES SISMICAS EQUIVALENTES SOBRE UNA ESTRUCTURA INDUCIDAS POR UN SISMO, ENCONTRADAS A PARTIR DEL ANALISIS DINAMICO O METODO ESTATICO.

De la figura 1, el momento de volteo " $M_x$ " ocasiona un incremento de carga en los pilotes de un extremo de la cimentación y un decremento de carga en el otro extremo. En ocasiones, se valúa este incremento y/o decremento por medio de la fórmula de la escuadría.

De la misma figura 1, la fuerza horizontal estática -- " $V_x$ " provoca desplazamientos horizontales de la estructura con respecto al subsuelo, y genera en cada pilote fuerzas -- cortantes y momentos flexionantes a lo largo de su fuste.

Es bueno aclarar, que el momento de volteo " $M_x$ " también pudiera llegar a provocar desplazamientos horizontales en el pilote, dependiendo de la esbeltez y confinamiento de éste, aunque para el método de interacción suelo-pilote se consideró que los desplazamientos eran despreciables, tomando en cuenta un buen confinamiento del suelo.

Por lo anterior, en el método de interacción que se -- describirá, solo se trató el efecto de la fuerza cortante -- " $V_x$ ", suponiendo que ésta ya se valió con alguno de los análisis sísmicos mencionados.

La compatibilidad de los desplazamientos horizontales

en la interfase entre pilotes y suelo es importante en el diseño estructural de dicha cimentación, de manera que conocida la fuerza sísmica equivalente " $V_x$ " en la base de la superestructura y las reacciones que se provocan entre suelo y pilote, se pueden, como ya se mencionó, valuar los momentos flexionantes y fuerzas cortantes que actúan en el pilote para realizar un diseño estructural más justificado y económico.

En resumen, este trabajo pretende describir un método de Interacción Suelo-Estructura investigado por el M. en I. Agustín Deméneghi Colina y elaborar un programa de computadora que haga fácil su utilización práctica.

El tema 2 de este trabajo, hace un recordatorio muy somero del método de la Viga Conjugada para obtener giros y desplazamientos, con algunos ejemplos sencillos de aplicación en el método de Interacción.

El tema 3 describe el método de Interacción en forma detallada y se hace un desarrollo matemático para llegar a la obtención de las fórmulas a utilizar.

El tema 4 consta de un ejemplo de sencilla aplicación,

en donde se podrá observar que el método es muy largo a pesar de lo sencillo del ejemplo de aplicación.

En el tema 5 se incluye un programa de computadora en lenguaje FORTRAN IV y se realiza el mismo ejemplo del tema anterior.

En el tema 6, se hacen algunos comentarios del método de Interacción y se dan las conclusiones.

T E M A 2

V I G A C O N J U G A D A

Con objeto de entender la posterior aplicación del método de la viga conjugada en el método de Interacción Suelo Pilote, que aquí se describirá, se considera necesario hacer un somero recordatorio de este tema y se dan algunos ejemplos sencillos.

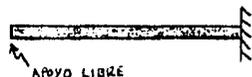
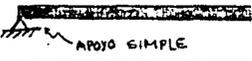
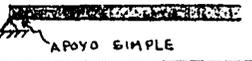
LA VIGA CONJUGADA es una viga ficticia que tiene la -- misma longitud que la viga real pero sus apoyos son tales que, si la viga conjugada se carga con el diagrama "  $M/EI$  " ----- de la viga real, la fuerza cortante de ella en una sección -- cualquiera es igual a la pendiente de la tangente de la 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.

Los apoyos de la viga conjugada se pueden determinar --

considerando las características de la viga real y las condiciones correspondientes a la viga conjugada.

La correspondencia entre apoyos se presenta en la siguiente tabla "A";

T A B L A "A"  
TIPOS DE APOYO EN LAS VIGAS REAL Y CONJUGADA

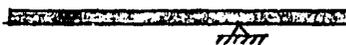
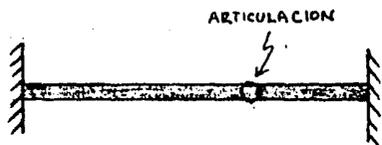
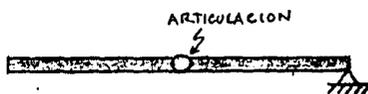
VIGA REAL	VIGA CONJUGADA
 EMPOTRAMIENTO	 APOYO LIBRE
 APOYO SIMPLE	 APOYO SIMPLE
 ARTICULACION	 APOYO SIMPLE INTERMEDIO
 APOYO LIBRE	 DOBLE EMPOTRAMIENTO

Las vigas reales isostáticas tienen vigas conjugadas - que también son isostáticas. Las vigas reales hiperestáticas tienen vigas inestables aparentemente. Como ejemplo -- considerese las vigas siguientes:

VIGA REAL



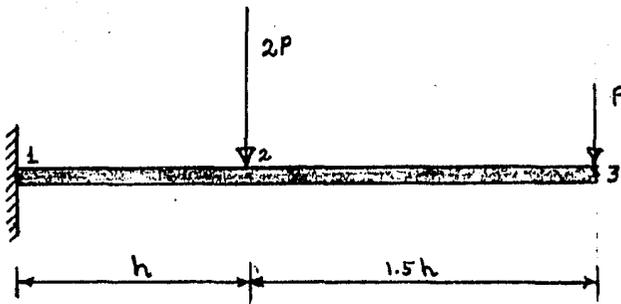
VIGA CONJUGADA



La estabilidad de las vigas conjugadas en el caso hiperestático se obtiene con el equilibrio proporcionado por el diagrama " $M/EI$ ". Esta condición permite determinar momentos hiperestáticos. A continuación se muestran una serie de ejemplos:

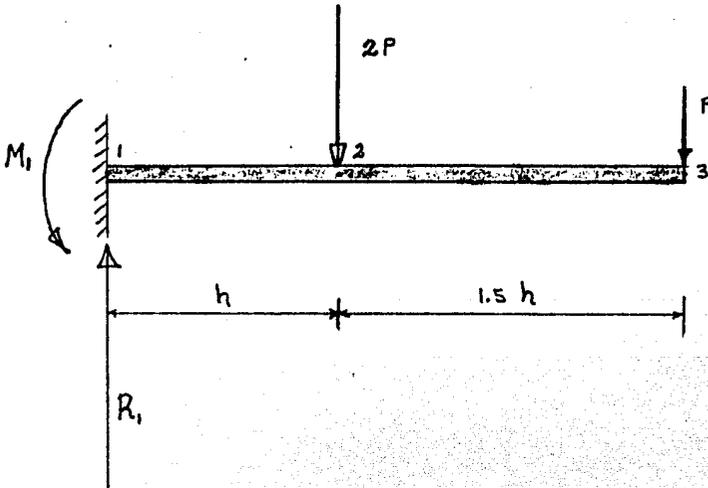
Ejemplo 1 :

Encontrar los giros ( $\theta$ ) y los desplazamientos ( $\Delta$ ) en los puntos 1, 2 y 3, indicados en la viga en voladizo -- siguiente, suponiendo  $EI$  (rigidez) constante:



Solución:

En la viga anterior, las reacciones que se presentan -  
dado su tipo de apoyo son "M," y "R," como se muestra a con  
tinuación:



Como se trata de una viga isostática, es factible usar  
las ecuaciones de equilibrio para conocer los valores de --  
las reacciones:

$$\uparrow (+) \quad \downarrow (-) \quad \Sigma F_y = 0 \quad \Sigma M_i = 0 \quad (+) \quad (-)$$

$$R_1 - 2P - P = 0$$

$$- M_1 + 2P(h) + P(2.5h) = 0$$

∴

∴

$$\underline{R_1 = 3P}$$

$$\underline{M_1 = 4.5 hP}$$

Las ecuaciones de Momentos flexionantes por tramos son:

a) TRAMO 1 a 2 :

$$\text{DE } 0 \leq x \leq h$$

$$\underline{M(x) = 3Px - 4.5 hP} \quad \text{----- (A)}$$

b) TRAMO 2 a 3:

$$h \leq x \leq 2.5h$$

$$M(x) = 3Px - 4.5hP - 2P(x-h)$$

reduciendo términos semejantes

da:

$$\underline{M(x) = Px - 2.5 hP} \quad \text{----- (B)}$$

Si se observa, las ecuaciones (A) y (B) son rectas, -- por lo que, para graficar tales ecuaciones y así ob--- tener el diagrama de Momentos flexionantes, solo es necesar--- ho darle 2 valores a "X" y obtener su correspondiente "M" como sigue:

A la ecuación (A)

Si  $x = 0 \Rightarrow M(0) = -4.5 hP$

Si  $x = h \Rightarrow M(h) = 3P(h) - 4.5hP = -1.5hP$

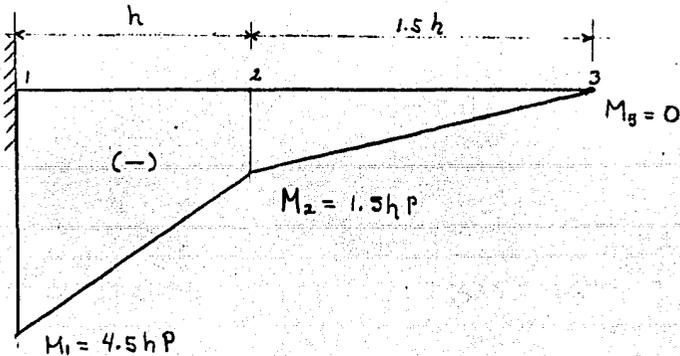
A la ecuación (B)

Si  $x = h \Rightarrow M(h) = P(h) - 2.5 hP = -1.5hP$

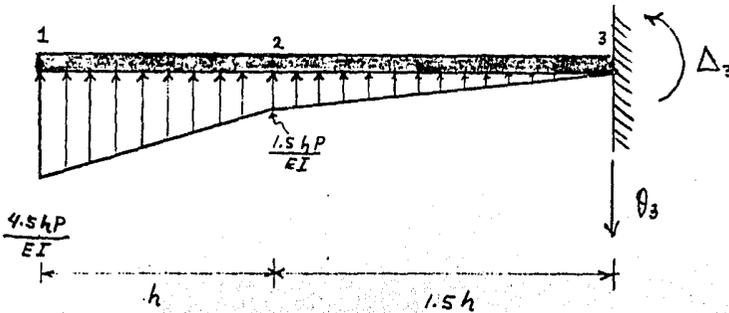
Valor que coincide con el encontrado en el tramo anterior para  $x = h$

Si  $x = 2.5h \Rightarrow M(2.5h) = P(2.5h) - 2.5hP = 0$

Si graficamos sobre la viga real los 4 valores encontrados anteriormente da el siguiente diagrama de Momentos flexionantes:



Si al anterior diagrama lo dividimos entre "EI" y suponemos que se trata de un diagrama de cargas en otra viga -- ficticia de iguales dimensiones que la real; cambiando los apoyos conforme a la tabla "A" anteriormente vista, se tratará de la viga conjugada de la viga real en este ejemplo, como a continuación se puede observar:



Si recordamos lo dicho en la definición de viga conjugada: "... La fuerza cortante en la viga conjugada en una sección cualquiera es igual al giro de la viga real en ese punto y el momento flexionante de la conjugada en un punto cualquiera es el desplazamiento de ese punto en la viga ---

real".

Con lo anterior, y del diagrama " $M/EI$ " pasado se tiene que:

$$\underline{-\theta_1 = 0}$$

$$\underline{-\theta_2 = \left( \frac{\frac{4.5 Ph}{EI} \quad \frac{1.5 Ph}{EI}}{2} \right) h = \underline{\underline{\frac{3 Ph^2}{EI}}}$$

$$\theta_3 = \frac{3 Ph^2}{EI} + 1.5 \frac{Ph}{EI} \times 1.5h \frac{1}{2} = \frac{3 Ph^2}{EI} + 1.125 \frac{Ph^2}{EI}$$

$$\underline{-\theta_3 = \underline{\underline{4.125 \frac{Ph^2}{EI}}}}$$

$$\underline{-\Delta_1 = 0}$$

$$\underline{-\Delta_2 = \frac{3 Ph^2}{EI} + \frac{\frac{1.5 Ph}{EI} + 2 \times \frac{4.5 Ph}{EI}}{6 \frac{Ph}{EI}} \frac{h}{3} = \underline{\underline{1.75 \frac{Ph^3}{EI}}}}$$

$$\underline{-\Delta_3 = \frac{1.5 Ph}{EI} \times h \frac{h}{2} + 1.5h + \frac{3 Ph}{EI} \times \frac{h}{2} \frac{2}{3} + 1.5h +$$

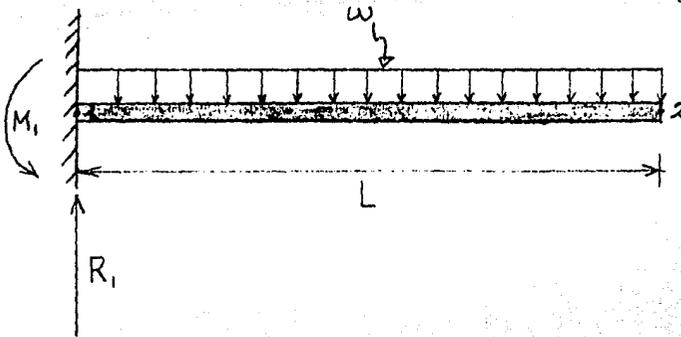
$$+ 1.5 \frac{Ph}{EI} \times 1.5 \frac{Ph}{EI} \times \frac{1.5 h}{2} \frac{2}{3} \times 1.5 h$$

$$\Delta_3 = 7.375 \frac{Ph^3}{EI}$$


---

### Ejemplo 2

Calcular el desplazamiento máximo ( $\Delta_{máx}$ ) de la viga isostática indicada, suponiendo  $EI$  constante:



Para obtener las reacciones se usan las ecuaciones de equilibrio:

$$F_y = 0 \uparrow (+) \quad \sum M_i = 0 \quad + \curvearrowright$$

$$R_1 - WL = 0 \quad - M_1 + \frac{WL^2}{2} = 0$$

∴

$$\underline{R_1 = WL} \quad \underline{M_1 = \frac{WL^2}{2}}$$

Para el tramo  $0 \leq x \leq L$ ; la ecuación representativa de los momentos flexionantes en la viga real será:

$$M(x) = wLx - \frac{wL^2}{2} - wL \frac{x}{2} \quad \text{--- (1)}$$

(Que corresponde a la ecuación de una parábola)

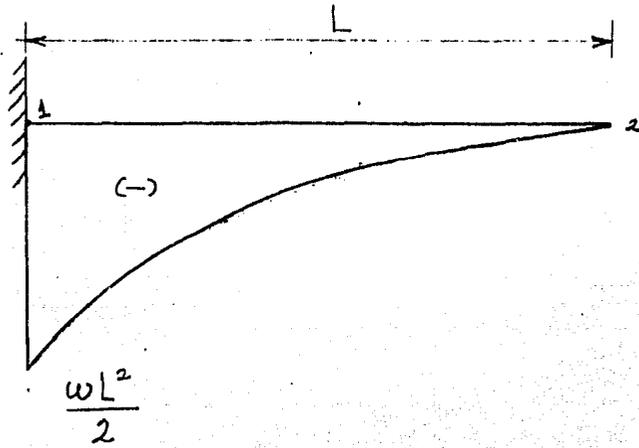
- Si  $x = 0$  en (1) :

$$M(0) = - \frac{wL^2}{2}$$

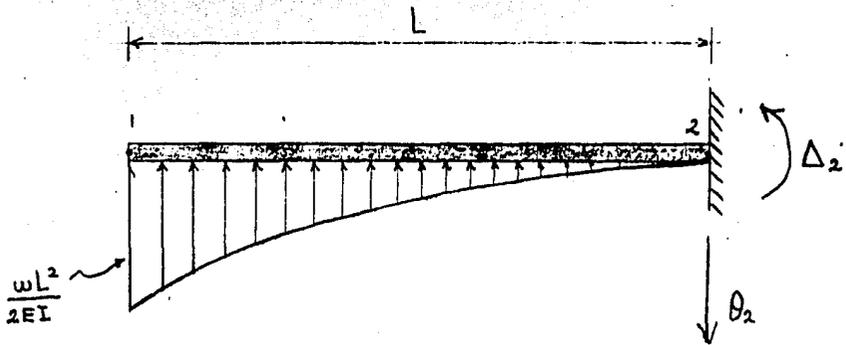
Si  $x = L$  en (1) :

$$M(L) = wL^2 - w \frac{L^2}{2} - \frac{wL^2}{2} = 0$$

Graficando da el diagrama de momentos siguiente:



La viga conjugada de la viga real aquí tratada será:



Si vemos en la viga real al principio de este ejemplo, el desplazamiento máximo ( $\Delta_{m\acute{a}x}$ ) se presenta en el punto (2), por lo que se calculará el momento flexionante en su viga conjugada en ese punto como sigue:

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \Delta_2 \quad (\text{para este caso})$$

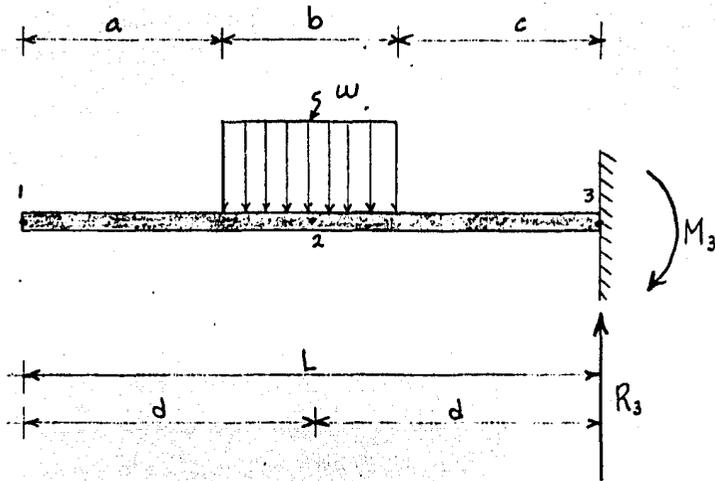
$$\Delta_2 = \frac{wL^2}{2EI} \times \frac{L}{3} \left( \frac{3}{4} L \right)$$

$$\underline{\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{wL^4}{8EI}}$$

### Ejemplo (3)

En este ejemplo presentaremos un caso similar con el que nos enfrentaremos en la aplicación de la viga conjugada en el método de interacción suelo-cimiento que aquí se describe.

Obtener los giros ( $\theta$ ) y desplazamientos ( $\Delta$ ) en los puntos (1), (2) y (3) de la siguiente viga isostática con EI constante:



$$\sum F_y = 0 \quad \uparrow (+)$$

$$-wb + R_3 = 0$$

$$\underline{R_3 = -wb}$$

$$\sum M_3 = 0 \quad +\curvearrowright$$

$$M_3 - wbd$$

$$\underline{M_3 = wbd}$$

La ecuación de momentos flexionantes en la viga real - será la siguiente:

1° Para el intervalo  $0 \leq x \leq a$  :

$M(x) = 0$  ya que no hay fuerzas actuando

2° Para el intervalo  $a \leq x \leq (a + b)$  :

$$\underline{M(x) = \frac{w(x-a)^2}{2}} \quad (\text{ecuación de una parábola})$$

$$\text{Si } x = a ; \quad M(a) = 0$$

$$\text{Si } x = a + \frac{b}{2} ; \quad M\left(a + \frac{b}{2}\right) =$$

$$= \frac{\left(a + \frac{b}{2} - a\right)^2}{2} = \frac{wb^2}{8}$$

$$\text{Si } x = (a + b) ; \quad M(a + b) = \frac{w(a + b - a)^2}{2} =$$

$$= \frac{wb^2}{2}$$

3° Para el intervalo  $(a + b) \leq x \leq L$  :

$$\underline{M(x) = wb \left(x - (a + b) + \frac{b}{2}\right)}$$

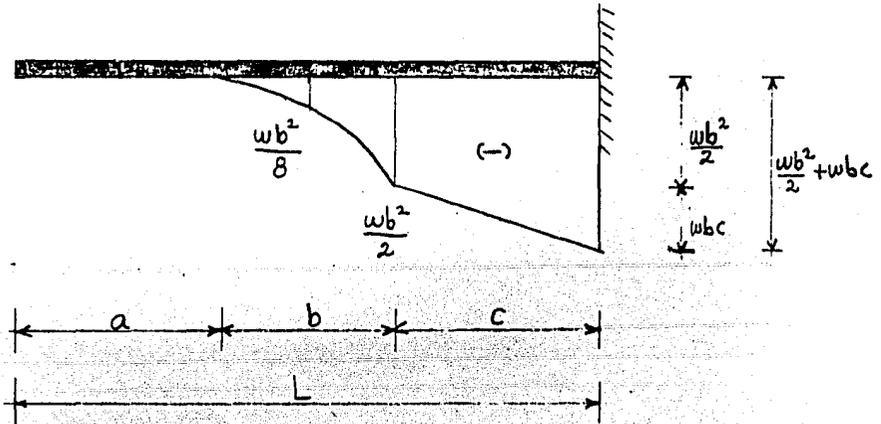
$$\text{Si } x = (a + b) ; \quad M(a + b) = wb \left(a + b - a - b + \frac{b}{2}\right) =$$

$$= \frac{wb^2}{2}$$

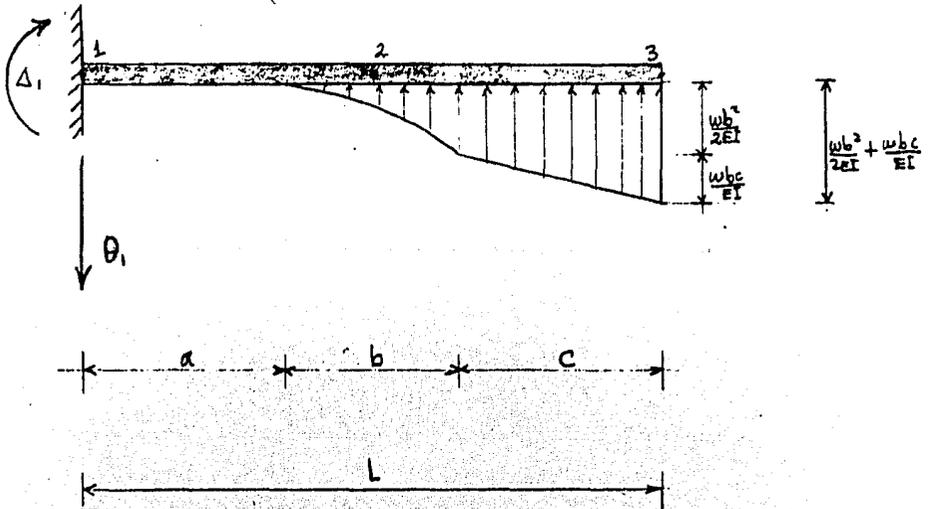
$$\text{Si } x = L = a + b + c ; M(L) = wb \left( a + b + c - a - b + \frac{b}{2} \right)$$

$$M(L) = wb \left( c + \frac{b}{2} \right) = \frac{wb^2}{2} + wbc$$

Si graficamos las 3 ecuaciones encontradas nos da el siguiente diagrama de momentos flexionantes en la viga real:



Por lo tanto la viga conjugada de la anterior viga ---  
real será la siguiente:



Haciendo uso de la definición de la viga conjugada, tenemos que:

$$+ \theta_1 = \frac{w b^2}{2EI} \left( \frac{b}{3} \right) + \frac{w b^2 c}{2EI} + \frac{w b c^2}{2EI}$$

$$\theta_1 = \frac{w b^3}{6 EI} + \frac{w b^2 c}{2 EI} + \frac{w b c^2}{2 EI}$$

$$+ \Delta_1 = + \frac{w b^3}{6 EI} \left( a + \frac{3a}{4} \right) + \frac{w b^2 c}{2 EI} \left( a + b + \frac{c}{2} \right) +$$

$$+ \frac{w b c^2}{2 EI} \left( a + b + \frac{2}{3} c \right)$$

$$+ \theta_2 = - \theta_1 + \frac{w b^2}{8 EI} \left( \frac{b}{2} \right) \frac{1}{3} = - \theta_1 + \frac{w b^3}{48 EI}$$

$$+ \Delta_2 = \Delta_1 - \theta_1 \left( a + \frac{b}{2} \right) + \frac{w b^3}{48 EI} \left( \frac{b}{4} \right)$$

$$\theta_3 = - \theta_1 + \frac{w b^2}{2 EI} \times \frac{b}{3} + \frac{w b^2}{2 EI} c + \frac{w b c}{EI} \times \frac{c}{2}$$

$$\theta_3 = - \theta_1 + \frac{w b^3}{6 EI} + \frac{w b^2 c}{2 EI} + \frac{w b c^2}{2 EI}$$

$$\Delta_3 = \Delta_1 - \theta_1 L + \left( \frac{w b^2}{2 EI} \times \frac{b}{3} \right) \left( \frac{b}{3} + c \right) + \left( \frac{w b^2}{2 EI} \times c \right) \times$$

$$\left( \frac{c}{2} \right) + \left( \frac{w b c}{EI} \times \frac{c}{2} \right) \left( \frac{c}{3} \right)$$

$$\Delta_3 = \Delta_1 - \theta_1 L + \frac{w}{EI} \left( \frac{b^4}{24} + \frac{b^3 c}{6} + \frac{b^2 c^2}{4} + \frac{b c^3}{6} \right)$$

Los resultados de todos los ejemplos anteriores aquí tratados, dan la apariencia de que se está empleando un método muy complicado, lo anterior es debido a la gran cantidad de términos que contiene cada resultado, pero hay que tomar en cuenta que en dichos ejemplos se trabajó con valores literales. A pesar de lo anterior, el método de la viga conjugada para la obtención de giros y desplazamientos es, por lo general, muy sencillo de aplicar en vigas isostáticas reales, pues en ellas es muy fácil la obtención de diagramas de cortante y momento flexionantes.

En el presente trabajo, la viga que se analiza (pilote) es isostática y el método de la viga conjugada aplica al método de interacción suelo-cimiento resultó de fácil utilización en la obtención de las formulas del análisis estructural del pilote, como se verá en el siguiente capítulo.

## T E M A 3

DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE INTERACCIÓN SUELO-CIMIENTO Y  
DESARROLLO MATEMÁTICO DE FÓRMULAS.

## 3-1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES DEL MÉTODO.

Como ya se dijo, considérese una estructura que vaya a ser desplantada en un suelo cohesivo situado en una zona de alta sismicidad, como es el caso de la Ciudad de México, y que después de un análisis de Mecánica de Suelos se determinó que su cimentación sería formada por pilotes de punta o fricción; la aplicación del método de interacción que --- aquí se describirá pretende encontrar los desplazamientos horizontales, giros en algunos puntos de los pilotes y sus elementos mecánicos, provocados por una fuerza estática equivalente a los efectos del sismo más desfavorable que se pueda presentar y así dejar pie a que se diseñen en forma más racional los pilotes.

Con la fuerza estática equivalente al sismo " $V_x$ " determinada con cualquiera de los métodos mencionados en el tema 1, se procede a dividir a ésta entre el número de pilotes que formen la cimentación, suponiendo que cada pilote recibe por igual una parte de la total, de manera de obtener la fuerza cortante en la cabeza de un pilote individual, la cual será denominada " $V_n$ ".

Debido al efecto del sismo, representado por una fuerza estática localizada en la base de la losa que aloje a los pilotes de su cimentación, hay un movimiento horizontal del suelo, el cual, por facilidad, se pondrá en un plano de referencia  $X - X'$  y se llamará " $S_s$ ", este desplazamiento puede ser determinado también por un método propuesto inicialmente por el Dr. Leonardo Zeevaert (1973), sobre el cual se basa el aquí descrito.

Al mismo tiempo, por efecto de la fuerza cortante " $V_n$ ", el pilote experimenta un desplazamiento horizontal " $S_p$ ", con respecto al mismo plano de referencia  $X - X'$ . En estas condiciones, se presenta un desplazamiento relativo  $S = S_s - S_p$  entre el suelo y el pilote (Zeevaert 1973), el cual ocasiona una reacción repartida del suelo sobre el pilote ( fig. 2 )

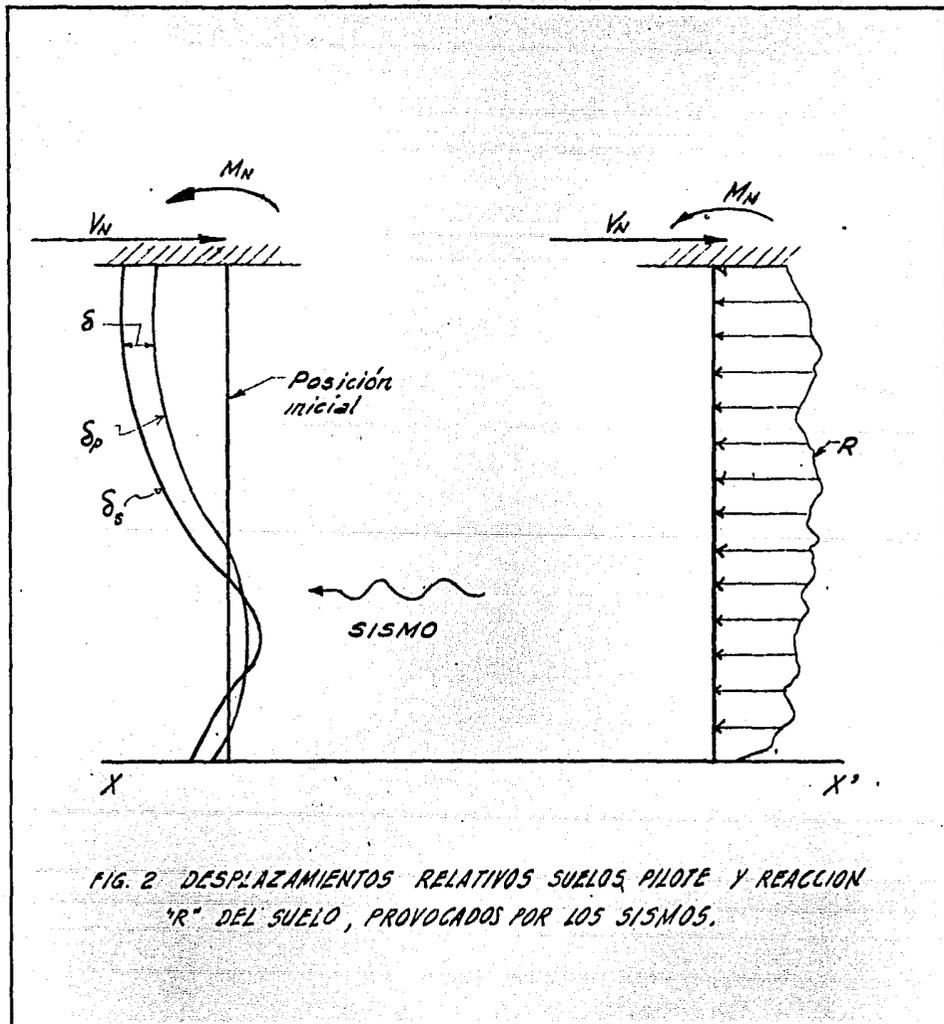


FIG. 2 DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS SUELOS, PILETE Y REACCION "R" DEL SUELO, PROVOCADOS POR LOS SISMOS.

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

### 3 - 1.1 RIGIDEZ DEL PILOTE.

La rigidez del pilote esta dada por el producto " $EI$ ", donde " $E$ " es el módulo de Young o de Elasticidad del material que forma el pilote y que para el caso del concreto su valor varía entre  $3,000\sqrt{f'_c} \leq E \leq 10,000\sqrt{f'_c}$ , (en  $\text{Kg/cm}^2$ ) siendo " $f'_c$ " la resistencia del concreto en compresión simple a los 28 días de fabricado. " $I$ " es el momento de inercia de la sección de un pilote prismático o cilíndrico, es decir, de sección constante en toda su longitud.

### 3 - 1.2 RIGIDEZ DEL SUELO EN CONDICIONES DINAMICAS.

Antes de comentar acerca de la rigidez del suelo en condiciones dinámicas, es conveniente partir de lo siguiente:

Las deformaciones comprendidas dentro del rango elástico que se presentan en cualquier material sometido a la acción de una fuerza de compresión o tensión, son calculadas por medio de la conocida expresión:

$$S = \frac{FL}{AE}$$

en donde:

S = deformación elástica en mts.

F = fuerza de compresión o tensión, en ton.

L = longitud total del material sometido a deformación por la acción de la fuerza actuante, en mts.

A = área transversal perpendicular a la -- fuerza aplicada, en m<sup>2</sup>

E = Módulo de deformación elástica del material, en ton/m<sup>2</sup>

Partiendo de lo anterior y pasando ahora a nuestro presente inciso, para el caso de un suelo sometido a la acción cíclica de un movimiento sísmico, se supuso que las deformaciones que se puedan producir en él, bajo estas circunstancias, son deformaciones elásticas. Bajo la anterior suposición, la expresión de deformaciones elásticas mencionada es válida para nuestro caso, vista de la siguiente manera:

$$S = M_p \times e \times A_p \dots \dots [ ] ]$$

Siendo:

$$Mv = \frac{I}{E}$$

$$e = L$$

$$\Delta P = \frac{F}{A}$$

donde:

S = deformación elástica de los estratos de espesor "e", en mts.

Mv = módulo longitudinal de deformación del suelo en condiciones dinámicas, en m<sup>2</sup>/ton.

ΔP = esfuerzo promedio aplicado a la mitad del estrato deformable, en ton/m<sup>2</sup>

Es bueno subrayar, que la rigidez del suelo debe ser -- obtenida en condiciones dinámicas, de manera que sea representativa a los efectos dinámicos provocados por un sismo.

El módulo longitudinal dinámico de deformación "Mv" esta relacionado con el módulo cortante de rigidez "G" del suelo de acuerdo con la siguiente expresión:

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

donde:

$V$  = módulo de Poisson

Para el caso de suelos finos saturados sujetos a una sollicitación dinámica, se puede considerar que  $V = 0.50$ , por lo que la expresión [2] queda como sigue:

$$M_v = \frac{1}{3} G \quad \text{-----} \quad (3)$$

En términos generales, en dinámica de suelos ha resultado de mayor facilidad la determinación en la práctica del módulo cortante "G", para después obtener el módulo longitudinal "M<sub>v</sub>" con las 2 expresiones anteriores.

La forma de obtener el valor del módulo cortante "G" en condiciones dinámicas es la siguiente:

En general, el módulo cortante "G" se puede determinar en el campo y en el laboratorio. Dentro de las pruebas de campo se pueden mencionar el ensayo acústico, la prueba del vibrador de superficie y un cierto tipo de prueba de placa de carga y descarga. Parece ser que 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, que es intervalo usual de deformaciones ocasionadas en el sismo. (Wilson 1972).

Las pruebas de laboratorio empleadas son: la prueba triaxial cíclica, la prueba de corte cíclico y la prueba de la columna de torsión. Aparentemente, esta última es el ensaye más realista para la determinación de " $G$ "; aunque es de difícil ejecución. (Wilson 1972).

La obtención del módulo " $G$ " por medio del péndulo de torsión ha dado buenos resultados en la práctica de la ingeniería. Esta prueba consiste en hacer una pequeña modificación a la cámara triaxial convencional, la cual se emplea para someter una muestra de suelo a diferentes esfuerzos de confinamiento. Al espécimen de suelo se le da una pequeña torsión (en un plano horizontal), permitiendo que el sistema vibre libremente, movimiento debido a la respuesta elástica de los elementos del suelo. De esta manera se puede hallar el módulo de cortante " $G$ " (ZEEVAERT 1973).

Los resultados de pruebas con el péndulo de torsión, indican que " $G$ " aumenta con el confinamiento, tanto en suelos cohesivos como en suelos no cohesivos; en estos materiales parece necesario determinar la variación causada por la amplitud usada en las pruebas y por el método de aplicación -----

del esfuerzo de confinamiento ( ZEEVAERT 1973).

En lo que respecta al módulo de Poisson " $\nu$ ", se puede emplear un valor de 0.25 para materiales granulares parcialmente saturados y un valor de 0.42 a 0.45 como límite para suelos cohesivos no consolidados (ZEEVAERT 1973).

### 3-2 ANALISIS ESTRUCTURAL DE PILOTES SUJETOS A CARGA ESTÁTICA EQUIVALENTE SISMICA.

Interesa conocer la distribución de la reacción " $R$ " del suelo debida al desplazamiento relativo " $S$ " entre suelos y pilote, desplazamiento provocado por la fuerza horizontal sísmica equivalente " $V_n$ ", para después poder valorar el diagrama de momentos flexionantes y el diagrama de fuerza cortante en el pilote.

Por facilidad de cálculo se puede sustituir la reacción " $R$ " de la figura 2, por cargas repartidas en tramos de longitud " $H$ " como se muestra en la figura 3a, de manera que si se desea mayor precisión se tendrá que disminuir la longitud " $H$ " de cada tramo y aumentar el número " $n$ " de tramos.

En la figura 3b, se muestra la elástica del pilote, la cual corresponde al desplazamiento relativo "S" entre suelo y pilote, causante de la reacción del suelo. La posición original se refiere a la posición de desplazamiento relativo nulo entre pilote y terreno.

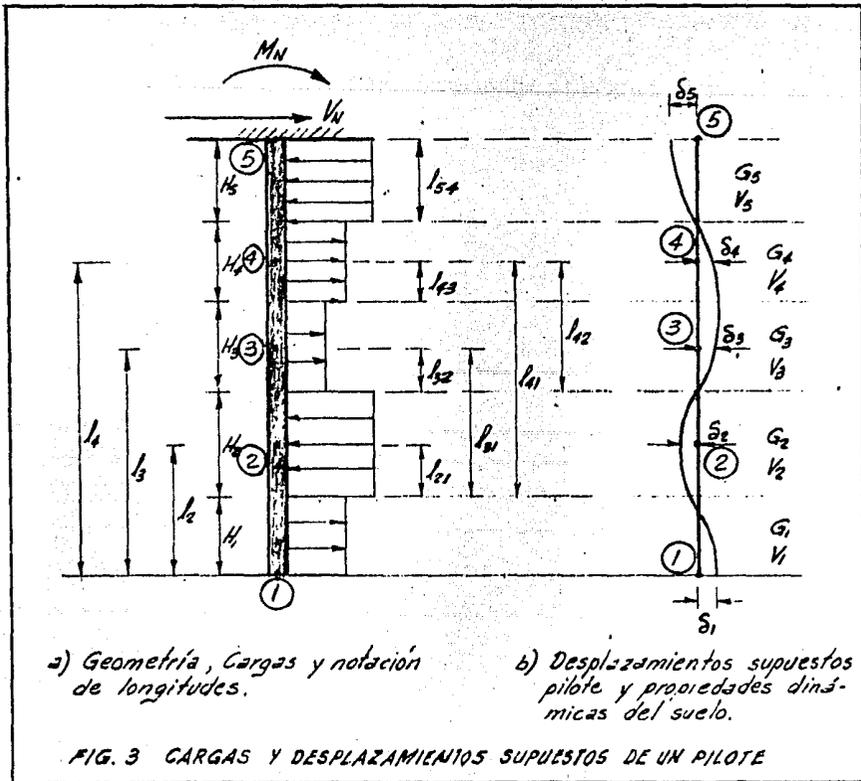
La figura 3b, muestra las propiedades dinámicas del suelo en cada uno de los tramos "H", es decir, "G" y "V".

El procedimiento propuesto por el M. en T. Agustín Deméneghi para el análisis de la interacción suelo-pilote es, en términos generales, el siguiente:

Una vez que se ha supuesto que las reacciones "R" del suelo son cargas uniformemente repartidas en tramos de longitud "H" [fig. 3a], estas se manejan como incógnitas y mediante el análisis estructural del pilote se hallan los desplazamientos horizontales del suelo " $S_x$ " [fig. 3b] en función de reacciones "R"; con esto se obtiene un sistema de ecuaciones en el que tenemos, como incógnitas los desplazamientos del suelo " $S_x$ " y las reacciones "R", mediante un cálculo de deformaciones elásticas en el suelo, se obtiene otro sistema de ecuaciones en el que también los desplazamientos " $S_x$ " quedan en función de las reacciones "R". Substituyendo las " $S_x$ " del 2º sistema de ecuaciones en el obtenido con la aplicación del análisis estructural del pilote, queda otro sistema de ecuaciones --

en el cual únicamente están las reacciones "R", se resuelve este último sistema y se hallan las reacciones "R", y finalmente se substituyen estos valores en el sistema de ecuaciones encontrado mediante el cálculo de deformaciones del suelo en el que se tenían los " $S_i$ " en función de las "R".

Al finalizar el proceso anterior, se conocen las " $S_i$ " y las "R". (DEMENEGLI 1979).



Como ya se dijo en el tema de Introducción de este trabajo, el análisis estructural del pilote se efectuará utilizando el método de la viga conjugada.

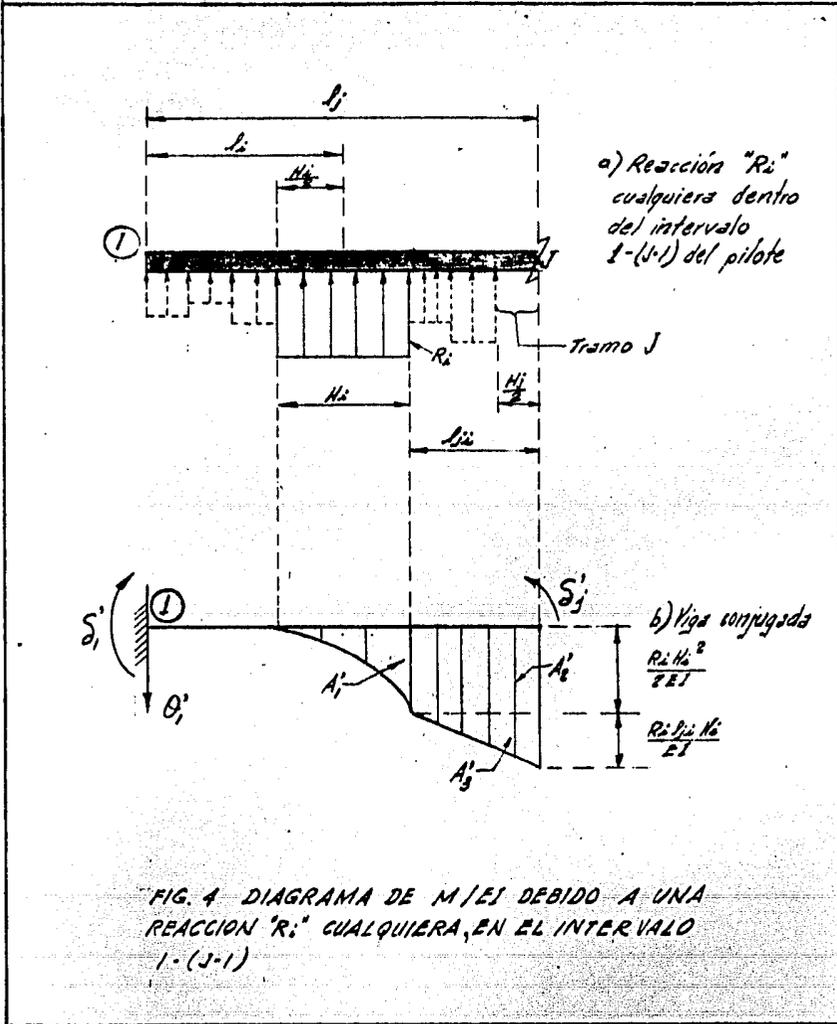
Para determinar los desplazamientos " $S_i$ " del pilote en función de las reacciones "R" y de la rigidez de la pieza, conviene trabajar con una sola reacción "R" y después, por -- superposición de causas y efectos, tomar en cuenta las reacciones restantes.

De aquí en adelante, por facilidad, en las figuras en que aparezca, se dibujará al pilote en forma horizontal.

Como se recordará, la reacción del suelo sobre el pilote tenía una forma muy complicada (fig. 2) y para facilidad de cálculo, esta reacción se podría considerar como varias -- reacciones uniformemente repartidas (con diferentes valores para cada una) en tramos de longitud "H". Se llamarán puntos "J" a los puntos medios de cada tramo de longitud "H" escogido, exceptuando en los tramos localizados en los extremos del pilote, en el que los puntos "J" se localizan en la punta y ----- cabezal. (Fig. 3a)

En la figura 4a. se muestra un intervalo de pilote comprendido del punto 1 (punta del pilote) a un punto "J" cualquiera, se usará un algoritmo que calcule el efecto de cualquier reacción " $R_i$ " localizada en los tramos existentes dentro de dicho intervalo, exceptuando el efecto de la reacción " $R_j$ " (reacción localizada en el último tramo del intervalo - de análisis es solo en parte igual a los diagramas de momentos de cada una de las reacciones " $R_i$ " comprendidos en los tramos restantes de 1 a (J-1), como se puede ver comparativamente en las figuras 4 y 5. El cálculo para la obtención del efecto de la reacción " $R_j$ " situada en el tramo "J" se obtendrá por separado y posteriormente se sumará su efecto al del resto de las " $R_i$ " comprendidas en el intervalo 1 - (J-1).

En otras palabras, dentro de un intervalo (J-1) cualquiera de análisis, se calculará el efecto producido por las " $R_i$ " colocadas en el sub-intervalo 1 a (J-1) y se sumará su efecto al producido por la reacción " $R_j$ " localizada en el tramo último faltante dentro del intervalo (J-1).



En la figura 4b, se indica la viga conjugada de una "R<sub>i</sub>" cualquiera comprendida en el intervalo 1-(J-1).

De la figura 4b :

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

$$A_2' = L_{jl} \frac{R_i H_i^2}{2EI} = \frac{1}{EI} R_i \left( \frac{1}{2} H_i^2 L_{jl} \right)$$

$$A_3' = \frac{1}{2} L_{jl} \frac{R_i H_i^2}{EI} = \frac{1}{EI} R_i \left( \frac{1}{2} H_i L_{jl}^2 \right)$$

Ahora si llamamos a:

$$A_i = \frac{H_i^3}{6} \quad \text{----- (4)}$$

$$B_{jl} = \frac{1}{2} H_i^2 L_{jl} \quad \text{----- (5)}$$

$$C_{jl} = \frac{1}{2} H_i L_{jl}^2 \quad \text{----- (6)}$$

Queda que:

$$A_1' = \frac{R_i}{EI} A_i ; A_2' = \frac{R_i}{EI} B_{jl} ; A_3' = \frac{R_i}{EI} C_{jl}$$

Tomando momentos en la viga conjugada (fig. 4b) con respecto al nudo "J":

$$- S'_i - \theta'_i L_j - A'_i \left( \frac{H_i}{4} + L_{jl} \right) - A'_2 \left( \frac{L_{jl}}{2} \right) - A'_3 \cdot X \left( \frac{L_{jl}}{3} \right) - S'_j = 0$$

o sea:

$$S'_i - \theta'_i L_j + S'_j + \frac{R_i}{ET} A_i \left( \frac{H_i}{4} + L_{jl} \right) - \frac{R_i}{ET} B_{jl} \left( \frac{L_{jl}}{2} \right) - \frac{R_i}{ET} C_{jl} \left( \frac{L_{jl}}{3} \right) = 0$$

agrupando y multiplicando por (-1):

$$- S'_i + \theta'_i L_j + S'_j + \frac{R_i}{ET} \left[ A_i \left( \frac{H_i}{4} + L_{jl} \right) + \frac{B_{jl} L_{jl}}{2} + \frac{C_{jl} L_{jl}}{3} \right] = 0$$

Ahora si llamamos:

$$D_{jl} = A_i \left( L_{jl} + \frac{H_i}{4} \right) + \frac{B_{jl} L_{jl}}{2} + \frac{C_{jl} L_{jl}}{3} \quad \text{----- (7)}$$

Queda que:

$$- S'_i + \theta'_i L_j + S'_j + \frac{R_i}{ET} D_{jl} = 0 \quad \text{----- (8)}$$

Recordemos que ( 5 ) es válida para una reacción "R<sub>i</sub>" en el intervalo 1 a (J - 1), por lo que falta el último tramo que se encuentra en el punto "J", por lo que para una reacción colocada en el tramo "J". (Fig. 5 )

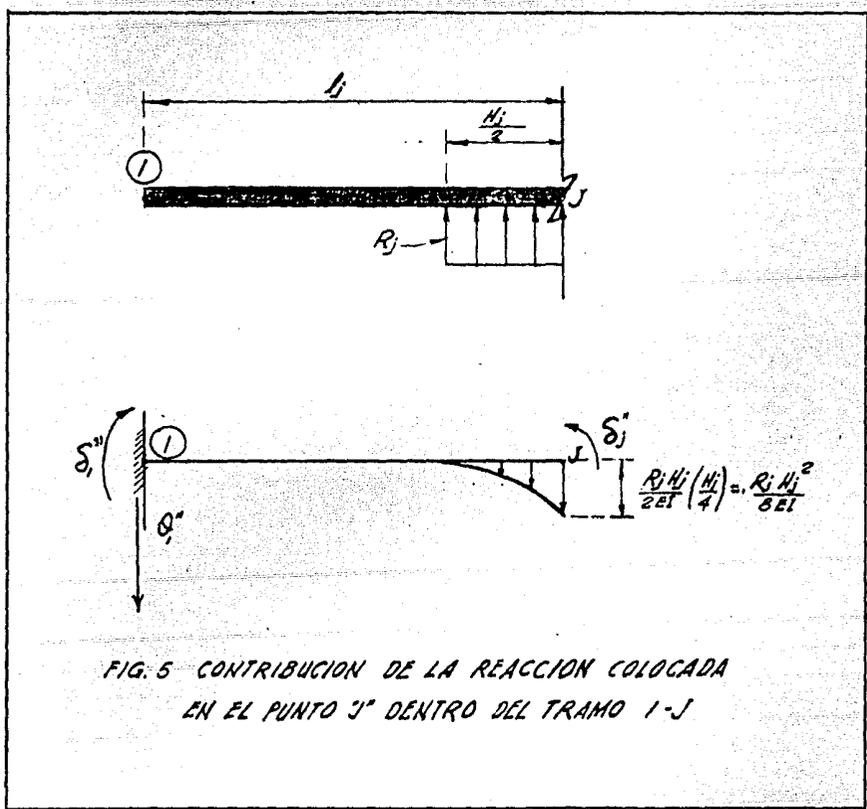


FIG. 5 CONTRIBUCION DE LA REACCION COLOCADA EN EL PUNTO "J" DENTRO DEL TRAMO 1-J

Tomando momentos con respecto al punto "J" en la viga conjugada de la figura 5 y multiplicando por (-1) la expresión queda:

$$- S_i'' + \theta_i'' L_j + S_j'' + \frac{1}{3} \left( \frac{R_j H_j^2}{8} \right) \left( \frac{H_j}{8} \right) = 0$$

Recordando la ecuación (4), en forma similar para la expresión anterior queda que:

$$A_j = \frac{H_j^3}{6} \quad \text{Por lo que:}$$

$$- S_i'' + \theta_i'' L_j + \frac{R_j}{64 EI} A_j H_j = 0 \quad \text{----- (9)}$$

Si sumamos la contribución de todas las reacciones "R<sub>l</sub>" (ecuación (8)) al efecto de la reacción "R<sub>j</sub>" (expresión (9)) nos queda que:

$$\boxed{- S_i'' + \theta_i'' L_j + \frac{1}{EI} \sum_{l=1}^{j-1} R_l D_{jl} + \frac{1}{64 EI} \times A_j H_j R_j = 0} \quad \text{-- (10)}$$

(Ecuación obtenida de la suma de momentos en la viga conjugada para un intervalo  $2 \leq J \leq (n-1)$  de izquierda a derecha).

en donde  $\theta_i$ ,  $S_i$  y  $S_j$  son el giro en la punta del pilote --- (punto (1)) y los desplazamientos en (1) y en (J) respectivamente, debidos a la totalidad de los efectos de todas las reacciones. El cuarto término de la ecuación (10) es la suma de los efectos de todas las reacciones " $R_i$ " en el intervalo  $1 - (J-1)$ , mientras que el quinto y último término, es el efecto de la reacción " $R_j$ " comprendida en el punto -- "J" dentro del intervalo  $(J-1)$ .

Para la reacción " $R_i$ " :  $L_i = 0$  y  $L_{ji} = L_j - H_i$ , --- (11)

Para el resto de las reacciones " $R_i$ " :

$$L_{ji} = L_j - \left( L_i + \frac{H_i L_i}{2} \right) \text{ ----- (12)}$$

Andlogamente a lo anteriormente realizado, cuando el punto "J" de análisis es el "N" (cabezal del pilote), se obtiene una ecuación muy similar a la (10) y es la siguiente:

$$- S_i + \theta_i L_n + S_n + \frac{1}{EI} \sum_{i=1}^{n-1} D_{mi} R_i + \frac{1}{4} A_n H_n R_n = 0 \text{ --- (13)}$$

$$\text{donde } A_n = \frac{H_n^3}{6}$$

(Ecuación obtenida de realizar suma de momentos en toda la viga conjugada de izquierda a derecha hasta el punto  $J=N$ ) (ver fig. 6).

Si hacemos suma de fuerzas en las vigas conjugadas de cada reacción en la figura 6 y procediendo análogamente a las deducciones encontradas anteriormente, se obtiene la expresión:

$$\frac{1}{EI} \sum_{i=1}^{n-1} (A_i + B_{ni} + C_{ni}) R_i + \frac{A_n R_n}{EI} + \theta_1 + \theta_n = 0$$

pero como se considera que el pilote está empotrado en su unión con la superestructura ( punto  $J = n$  ),  $\theta_n = 0$  por lo que:

$$\sum_{i=1}^{n-1} (A_i + B_{ni} + C_{ni}) R_i + A_n R_n + EI \theta_1 = 0 \quad \text{--- (14)}$$

(ecuación obtenida de hacer suma de fuerzas a lo largo de toda la viga conjugada).

Por último en la viga real (pilote) de la figura 6, -- por equilibrio de fuerzas se obtiene la siguiente expresión:

$$\sum_{i=1}^n R_i H_i = V_n^i \quad \text{--- (15)}$$

(ecuación obtenida de efectuar la suma de fuerzas en toda la viga real).

Es bueno aclarar que las expresiones 10, 13, 14 y 15

son válidas para pilotes de tipo prismático o cilíndrico, o sea, para pilotes de sección constante en toda su longitud. También hay que recordar que se está considerando al pilote como empotrado en su cabeza con la unión a la superestructura ( nudo  $J = n$  ).

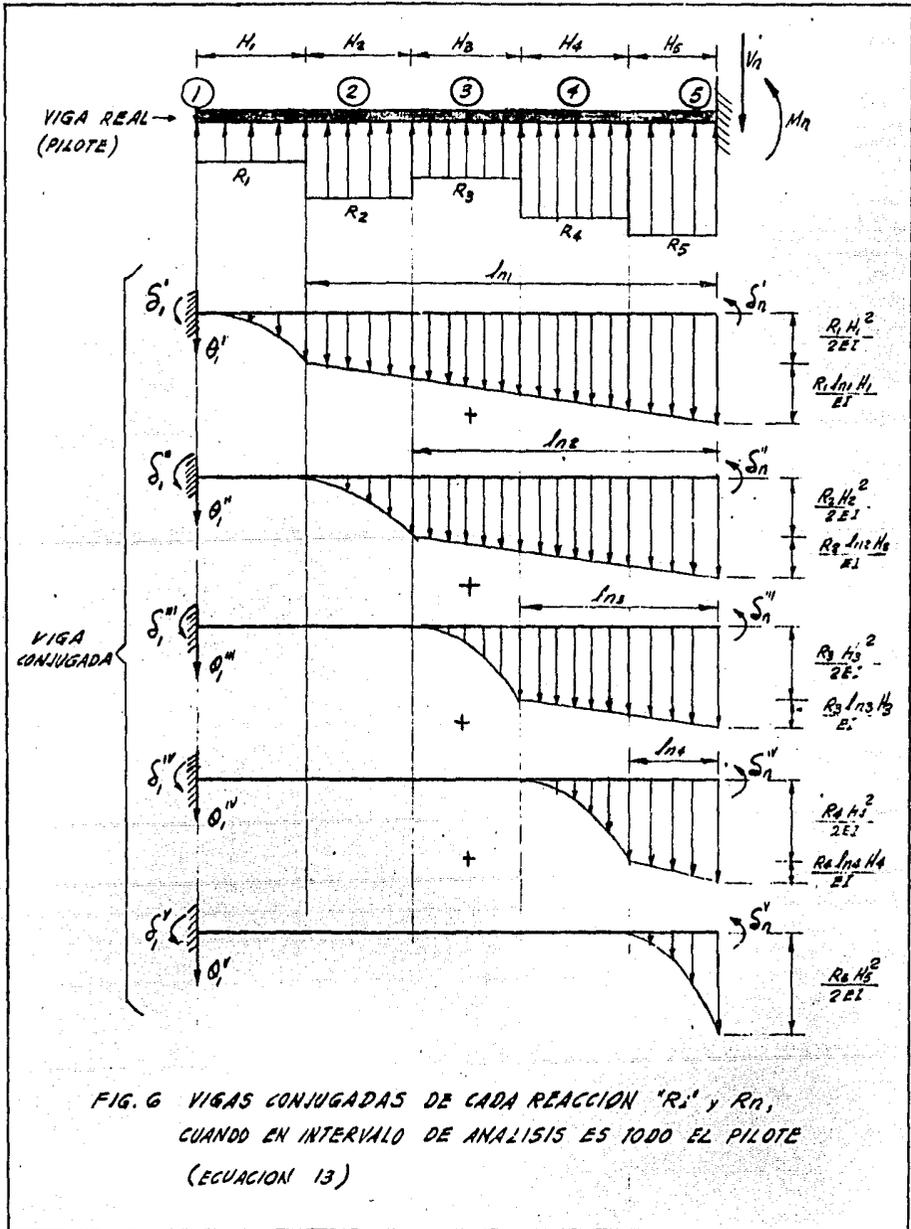


FIG. 6 VIGAS CONJUGADAS DE CADA REACCION "R<sub>i</sub>" y R<sub>n</sub>, CUANDO EN INTERVALO DE ANALISIS ES TODO EL PILOTE (ECUACION 13)

En resumen, de todo el análisis estructural del pilote anteriormente realizado, las ecuaciones que se emplearán serán la 10, 13, 14 y 15, con las que se tiene como incógnitas: el giro en el nudo 1 ( $\theta$ ), los desplazamientos " $S_i$ " y las reacciones " $R_i$ ". A continuación falta por obtener los desplazamientos " $S_i$ " en función de las " $R_i$ " por medio de un análisis de deformaciones elásticas del suelo.

### 3.3 DEFORMACIONES DEL SUELO.

Como ya se dijo en el inciso 3.1.2, la obtención del módulo cortante " $G$ " se realiza en el campo o en el laboratorio y después con el uso de la ecuación (2) se puede conocer el módulo longitudinal de deformación " $M_v$ ".

Se hallarán ahora las deformaciones horizontales del suelo en función de las reacciones:

La deformación del cuadro "i, j" (fig. 7), debida a --  
una reacción aplicada en "k" valdrá:

$$\alpha_{ijk} = Mv_{ij} e_j (\Delta P)_{ijk}$$

en donde:

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

$Mv_{ij}$  = módulo longitudinal de deformación del  
cuadro i, j ( en  $m^2/ton$  ).

$e_j$  = espesor supuesto del estrato vertical  
"j" ( en metros ).

$(\Delta P)_{ijk}$  = incremento del esfuerzo normal ho-  
rizontal en el punto i, j , debido  
a la presión  $\frac{R_k}{b}$  en el contacto  
pilote-suelo ( en ton/m ).

$b$  = ancho o diámetro del pilote ( en mts. ).

$I_{ijk}$  = valor de influencia en el cuadro "i, j"  
debido a una presión unitaria colocada  
en "k".

El valor de " $T_{ijk}$ " se puede determinar calculando el esfuerzo que ocasiona una presión unitaria colocada en el tramo " $k$ " sobre la mitad del cuadro " $i, j$ " por medio de la teoría de Boussinesq (ZEEVAERT 1973). (Ver figura 7).

Con lo anterior, la deformación del cuadro " $i, j$ " (formado por los espesores supuestos verticales " $e$ " y los estratos horizontales propuestos de suelo), debida a todas las reacciones " $R_k$ " será:

$$S_{ij} = \frac{1}{b} Mv_{ij} e_j \sum_{k=1}^{k=n} T_{ijk} R_k$$

El desplazamiento horizontal de nudo " $i$ " valdrá:

$$S_i = \sum_{j=1}^p S_{ij}$$

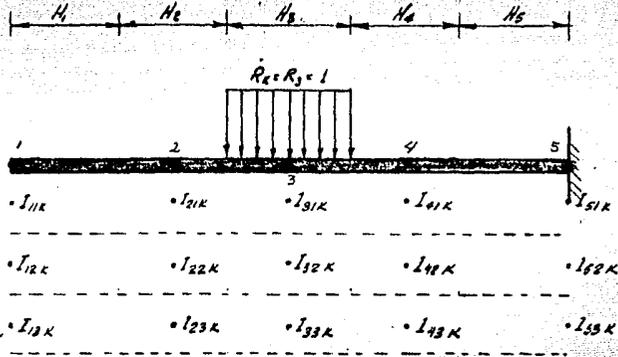
Siendo:  $p$  = número de "estratos supuestos verticales"

y por lo tanto:

$$S_i = \frac{1}{b} \sum_{j=1}^p (Mv_{ij} e_j \sum_{k=1}^n R_k) \quad \text{----- (16)}$$

Con la ecuación anterior, los desplazamientos " $S_i$ " del suelo quedan en función de las reacciones " $R_k$ "

a) Valores de influencia en cualquier cuadro "ij" debidos a la acción de una reacción unitaria "R<sub>k</sub>" localizada en cualquier tramo "k"



b) Diagramas supuestos de la variación del incremento de esfuerzos provocados por la totalidad de las reacciones "R<sub>k</sub>"

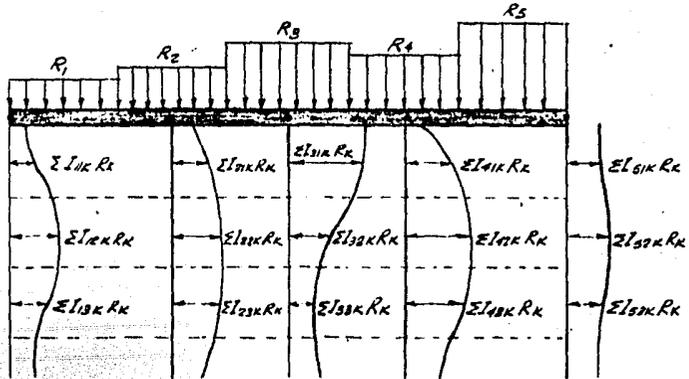


FIG. 7 PRESENTACION DE LOS VALORES DE INFLUENCIA  $I_{ij}$  EN LOS DIFERENTES CUADROS "i,j"

### 3.4 COMPATIBILIDAD DE DESPLAZAMIENTOS

En las expresiones (10) y (13) obtenidas del análisis estructural del pilote aparecen como incógnitas los desplazamientos " $S_i$ " de la pieza. Estos desplazamientos deben ser iguales a los obtenidos en la ecuación (16), para que haya compatibilidad de deformaciones entre los desplazamientos del pilote y los del suelo. Por lo tanto, hay que substituir los valores hallados con la ecuación (16) en las ecuaciones (10) y (13); de esta manera, desaparecerán como incógnitas los desplazamientos " $S_i$ " y quedarán por determinar solamente el giro en el nudo 1 ( $\theta_1$ ) y las "n" reacciones " $R_i$ ".

La ecuación (10), se aplica en los nudos 2 a (N - 1); se cuenta además con las ecuaciones (13), (14), y (15); por consiguiente se dispone de (N + 1) ecuaciones, número igual al de valores desconocidos, por lo que resolviendo el sistema de ecuaciones establecido se conocerá el giro " $\theta_1$ " y las "n" reacciones " $R_i$ ". Substituyendo estos valores en la ecuación (16) se determinarán los desplazamientos " $S_i$ " del suelo y del pilote.

El problema queda resuelto, pues se obtienen los valores de interés práctico para el ingeniero: el giro en el extremo libre del pilote " $\theta_i$ ", las reacciones del suelo sobre el pilote " $R_i$ " y los desplazamientos horizontales relativos -- del pilote con respecto al suelo " $S_i$ ". Con las reacciones " $R_i$ " se puede obtener el diagrama de momentos flexionantes y el diagrama de fuerza cortante en el pilote, con lo que se puede diseñar más racionalmente el pilote.

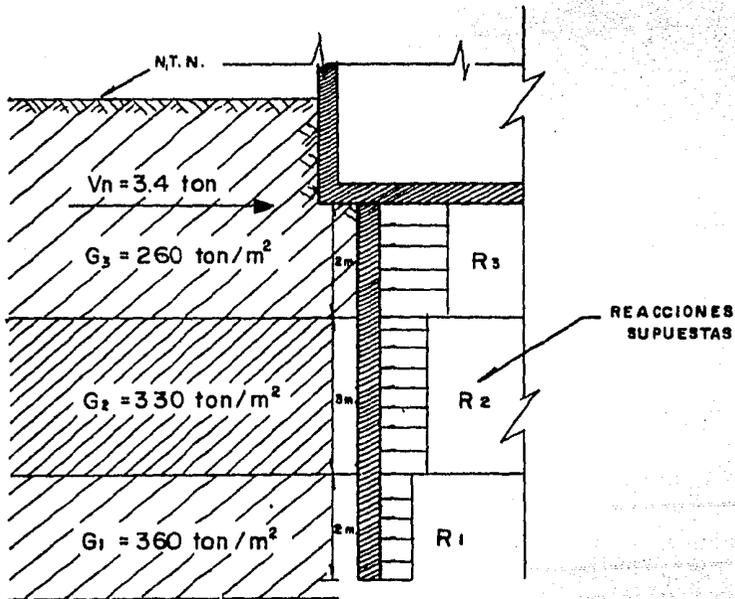
En el tema siguiente, se da un ejemplo de aplicación del método en donde se despejarán muchas dudas del presente tema.

## T E M A 4

## EJEMPLO NUMERICO DE APLICACION.

En este tema se pretende idealizar un problema muy sencillo, con objeto de entender fácilmente la utilización de las ecuaciones obtenidas en el tema anterior.

Supóngase que se quiere desplantar una estructura medianamente pesada, sobre un suelo formado por depositos lacustres arcillosos y que después de realizar los estudios geotécnicos necesarios para su cimentación se obtuvo que ésta sería la formada por pilotes de fricción; supóngase además, que después del diseño estructural efectuado en la superestructura se obtuvo una fuerza lateral horizontal equivalente sísmica sobre cada pilote de  $V_n = 3.4$  ton. y que finalmente ya fueron calculadas las propiedades dinámicas del suelo (módulos de deformación al corte "G" en cada estrato). Ver figura 8:



EJEMPLO DE APLICACION

FIG. 8

DATOS:

$$\phi = 0.35 \text{ m}$$

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

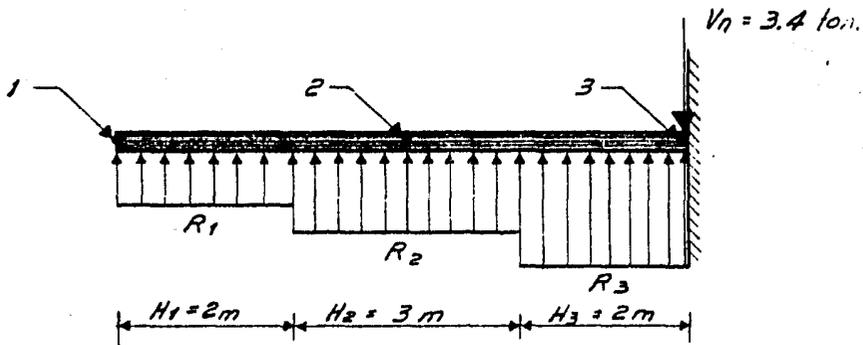
$$E_c = 10,000 \sqrt{F'_c} = 158113.8830 \text{ Kg/cm}^2 = 1581138.830 \text{ ton/m}^2$$

$$I = \frac{\pi \phi^4}{64} = 0.00601320 \text{ m}^4$$

$$EI = 1581138.83 \times 0.00601320 = 9507.7114227 \text{ ton. m}^2$$

Solución:

1° Supongamos la dirección de las reacciones:



a) ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PILOTE.

Ecuaciones a usar:

$$\theta_i L_j - S_i + S_j + \frac{1}{EI} \sum_{i=1}^{J-1} R_i D_{ji} + \frac{A_j H_j R_j}{64 EI} = 0 \dots (10)$$

(ecuación obtenida de efectuar suma de momentos en la viga conjugada para un intervalo  $2 \leq J \leq (n - 1)$  de izquierda a derecha).

$$\theta_i L_n - S_i + S_n + \frac{1}{EI} \sum_{i=1}^{N-1} R_i D_{ni} + \frac{A_n H_n R_n}{4 EI} = 0 \dots (13)$$

(ecuación obtenida de efectuar la suma de momentos en toda la viga conjugada de izquierda a derecha hasta el punto ---  $J = N$ )

$$\sum_{i=1}^{n-1} (A_i + B_{ni} + C_{ni}) R_i + A_n R_n + EI \theta_i = 0 \dots (14)$$

(ecuación obtenida de hacer la suma de fuerzas en toda la viga conjugada).

$$\sum_{i=1}^n R_i H_i = V_n \text{ ---- (15)}$$

( ecuación obtenida de efectuar la suma de fuerzas en toda la viga real).

en donde:

$$A_i = \frac{H_i^3}{6} \text{ ---- (4)}$$

$$B_{jl} = \frac{H_i^2}{2} L_{jl} \text{ ---- (5)}$$

$$C_{jl} = \frac{H_i}{2} L_{jl}^2 \text{ ---- (6)}$$

$$D_{jl} = A_i \left( L_{jl} + \frac{H_i}{4} \right) + \frac{B_{jl} L_{jl}}{2} + \frac{C_{jl} L_{jl}}{3} \text{ ---- (7)}$$

Para  $R_1 \rightarrow L_1 = 0$  y  $L_{jT} = L_j - H_1$  ---- (11)

Para el resto de " $R_i$ "  $\rightarrow L_{jl} = L_j - \left( L_i + \frac{H_i}{2} \right)$  -- (12)

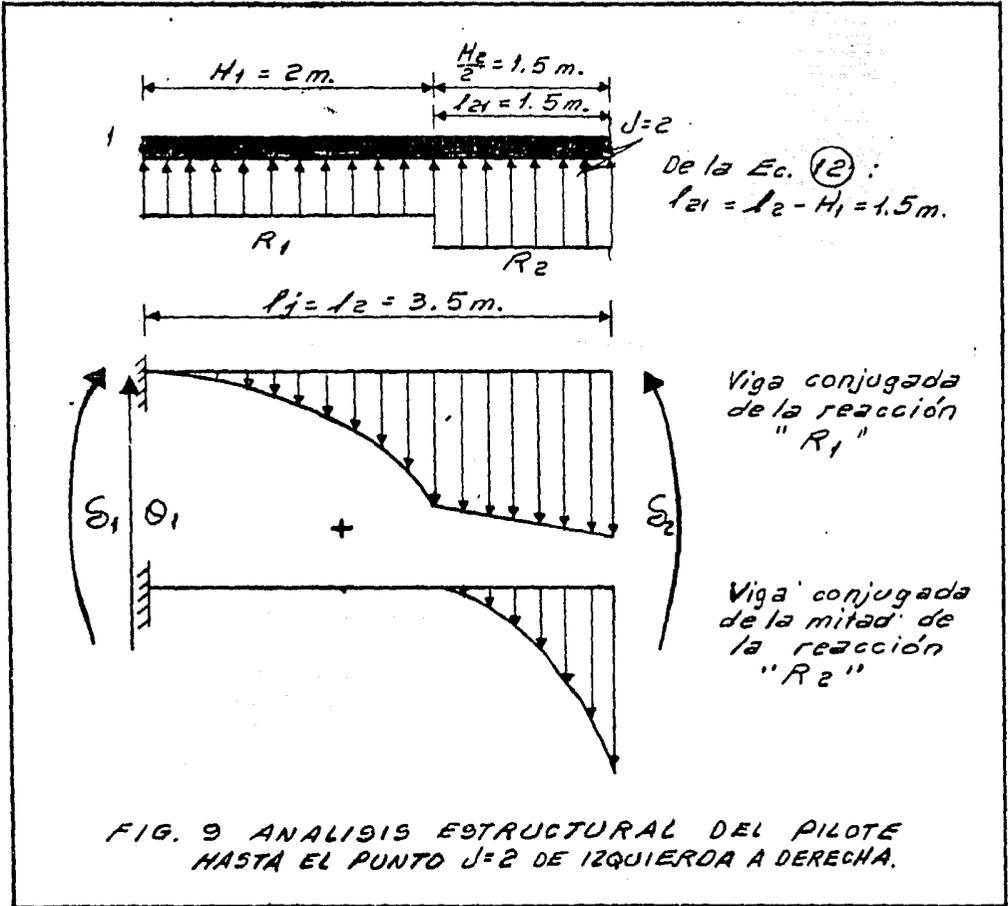


FIG. 9 ANALISIS ESTRUCTURAL DEL PILOTE HASTA EL PUNTO J=2 DE IZQUIERDA A DERECHA.

Tomando el punto J = 2, de izquierda a derecha (fig. 9) y aplicando la ecuación (10):

$$\theta_1 L_2 - S_1 + S_2 + \frac{1}{ET} R_1 D_{21} + \frac{A_2 H_2}{64} R_2 = 0 \quad \text{----- (A')}$$

donde:

$$\text{de la ec. (7)} \quad D_{21} = A_1 \left( L_{21} + \frac{H_1}{2} \right) + \frac{B_{21} L_{21}}{2} + \frac{C_{21} L_{21}^2}{3}$$

$$\text{de la ec. (4)} \quad A_1 = \frac{H_1^3}{6} = \frac{(2)^3}{6} = 1.3333333 \text{ m}^3$$

$$\text{de la ec. (5)} \quad B_{21} = \frac{H_1^2 L_{21}}{2} = \frac{(2)^2 \times 1.5}{2} = 3.0 \text{ m}^3$$

$$\text{de la ec. (6)} \quad C_{21} = \frac{H_1 L_{21}^2}{2} = \frac{2 \times (1.5)^2}{2} = 2.25 \text{ m}^3$$

Por lo tanto:

$$D_{21} = 1.3333333 (1.5 + 0.5) + \frac{3(1.5)}{2} + \frac{2.25(1.5)}{3} = 6.0416667 \text{ m}^4$$

$$A_2 = \frac{H_2^3}{6} = \frac{(3)^3}{6} = 4.5 \text{ m}^3$$

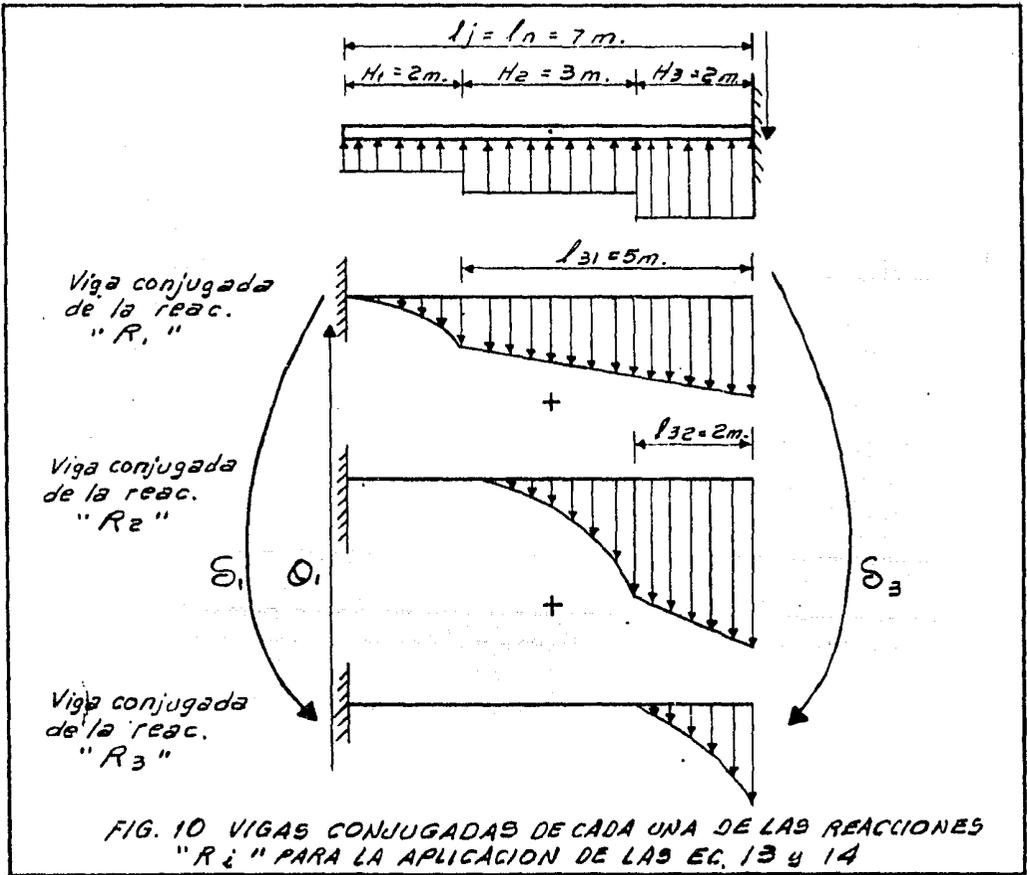
Substituyendo los resultados anteriores en (A') nos da:

$$3.5 \theta_1 - S_1 + S_2 + \frac{6.0416667 R_1}{9507.711427} + \frac{4.5 \times 3 R_2}{64 \times 9507.711427} = 0$$

Simplificando nos queda:

$$3.5 \cdot 0, - S_1 + S_2 + 0.00063545 R_1 + 0.00002219 R_2 = 0 \quad \text{--- (A)}$$

Ahora, si aplicamos a continuación la ecuación (13) (fig. 10)



Viendo la figura 10 y aplicando las ecuaciones (11) y (12):

$$+ L_{j\ell} = L_j - H_1$$

$$L_{31} = L_3 - H_1 = 7 - 2 = 5 \text{ m}$$

$$+ L_{j\ell} = L_j - L_\ell - \frac{H_\ell}{2}$$

$$L_{32} = L_3 - L_2 - \frac{H_2}{2} = 7 - 3.5 - 1.5 = 2 \text{ m}$$

Ahora aplicando la ec. (13):

$$\theta_1 L_3 - S_1 + S_3 + \frac{1}{EI} (R_1 D_{31} + R_2 D_{32}) + \frac{A_3 H_3 R_3}{4 EI} = 0 \quad \text{--- (B')}$$

Donde:

$$\text{de la ec. (7)} \quad \left\{ \begin{array}{l} D_{31} = A_1 \left( L_{31} + \frac{H_1}{4} \right) + \frac{B_{31} L_{31}}{2} + \frac{C_{31} L_{31}}{3} \\ D_{32} = A_2 \left( L_{32} + \frac{H_2}{4} \right) + \frac{B_{32} L_{32}}{2} + \frac{C_{32} L_{32}}{3} \end{array} \right.$$

$$\text{de la ec. (4)} \quad \left\{ \begin{array}{l} A_1 = 1.3333333 \text{ m}^3 \\ A_2 = \frac{H_2^3}{6} = \frac{(3)^3}{6} = 4.5 \text{ m}^3 \\ A_3 = \frac{H_3^3}{6} = \frac{(2)^3}{6} = 1.3333333 \text{ m}^3 \end{array} \right.$$

$$B_{31} = \frac{H_1^2 L_{31}}{2} = \frac{(2)^2 \times 5}{2} = 10 \text{ m}^3$$

de la ec. (5)

$$B_{32} = \frac{H_2^2 L_{32}}{2} = \frac{(3)^2 \times 2}{2} = 9 \text{ m}^3$$

$$C_{31} = \frac{H_1 L_{31}^2}{2} = \frac{2 \times (5)^2}{2} = 25 \text{ m}^3$$

de la ec. (6)

$$C_{32} = \frac{H_2 L_{32}^2}{2} = \frac{3 \times (2)^2}{2} = 6 \text{ m}^3$$

Por lo tanto:

$$D_{31} = 1.3333333 (5 + 0.5) + \frac{10 \times 5}{2} + \frac{25 \times 5}{3} = 74 \text{ m}^4$$

$$D_{32} = 4.5 (2 + 0.75) + \frac{9 \times 2}{2} + \frac{6 \times 2}{3} = 25.375 \text{ m}^4$$

Substituyendo todos los resultados anteriores en (B'):

$$1 \theta_1 - S_1 + S_3 + \frac{(74 R_1 + 25.375 R_2)}{9507.711427} + \frac{1.3333333 \times 2 R_3}{4 \times 9507.711427} = 0$$

Simplificando queda:

$$7 \theta_1 - S_1 + S_3 + 0.00778316 R_1 + 0.00266889 R_2 + 0.0007012 R_3 = 0 \quad \text{--- (B)}$$

Viendo la figura 10 y aplicando la ecuación (14):

$$(A_1 + B_{31} + C_{31}) R_1 + (A_2 + B_{32} + C_{32}) R_2 + A_3 R_3 + EI\theta_1 = 0$$

substituyendo datos y simplificando queda finalmente:

$$36.3333333 R_1 + 19.5 R_2 + 1.3333333 R_3 + 9507.711427 \theta_1 = 0 \quad \text{--- (C)}$$

Por último aplicando la ecuación (15) (ver viga real de fig. 10):

$$R_1 H_1 + R_2 H_2 + R_3 H_3 = V_n$$

Substituyendo valores queda:

$$2 R_1 + 3 R_2 + 2 R_3 = 3.4 \quad \text{----- (D)}$$

#### b) ANALISIS DE DEFORMACIONES DEL SUELO:

Se va a usar la ecuación (16):

$$S_{ij} = \frac{1}{b} \sum_{j=1}^p (Mv_{ij} e_j \sum_{k=1}^n I_{ijk} R_k)$$

Para lo cual hay que calcular primeramente los valores de influencia  $I_{ijk}$ , debidos a una supuesta reacción unitaria como sigue:

b-1) OBTENCION DE LOS VALORES DE INFLUENCIA  $I_{ijk}$ , DEBIDOS A UNA REACCIÓN UNITARIA.

Se supondrán estratos "  $e_j$  " de 0.30 m. de espesor cada uno. (ver fig. 11).

b-1.1) Esfuerzos Inducidos por una reacción " $R_1 = 1$ " en los puntos de Analisis (Fig. 11).

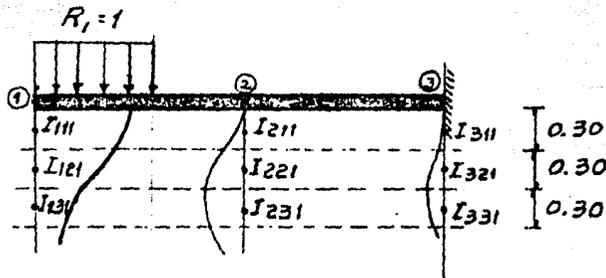


FIG. 11 VALORES DE INFLUENCIA  $I_{ij1}$  PROVOCADOS UNICAMENTE POR  $R_1 = 1$

Haciendo uso de las gráficas de esfuerzos de Fádum para áreas rectangulares cargadas uniformemente, o con el uso de la expresión:

$$\sigma_x = \frac{w}{2\pi} \left[ \tan^{-1} \frac{x y}{z(x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}} + \left( \frac{x y z}{(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} \right) \left( \frac{1}{x^2 + z^2} + \frac{1}{y^2 + z^2} \right) \right]$$

Se obtienen los valores de la siguiente tabla:

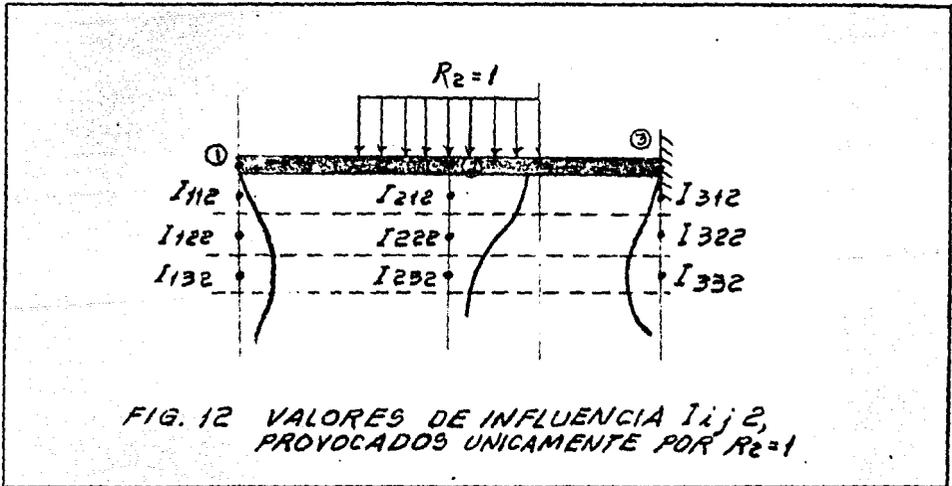
T A B L A 1

$R_i = 1$

$I_{ijl}$

PROF. (m)	Puntos "i" Estratos "j"	1	2	3
0.15	1	$I_{111} = 0.4317111$	$I_{211} = 0.0000263$	$I_{311} = 0.0000002$
0.45	2	$I_{121} = 0.2253657$	$I_{221} = 0.0006221$	$I_{321} = 0.0000044$
0.75	3	$I_{131} = 0.1425233$	$I_{231} = 0.0022727$	$I_{331} = 0.0000200$

b-1.2) Esfuerzos inducidos en los puntos de análisis por una reacción unitaria " $R_2=1$ " (Fig. 12).



Por medio de la utilización de las gráficas de FADUM (en el libro MECÁNICA DE SUELOS TOMO II DE JUAREZ BADILLO RICO, gráfica página ), para áreas rectangulares cargadas uniformemente, o con el uso de la siguiente expresión:

$$\sigma_z = \frac{w}{2\pi} \left[ \text{TAN}^{-1} \frac{x y}{z(x^2+y^2+z^2)^{1/2}} + \left( \frac{x y z}{(x^2+y^2+z^2)^{1/2}} \right) \left( \frac{1}{x^2+z^2} + \frac{1}{y^2+z^2} \right) \right]$$

Se obtienen los valores de la siguiente tabla:

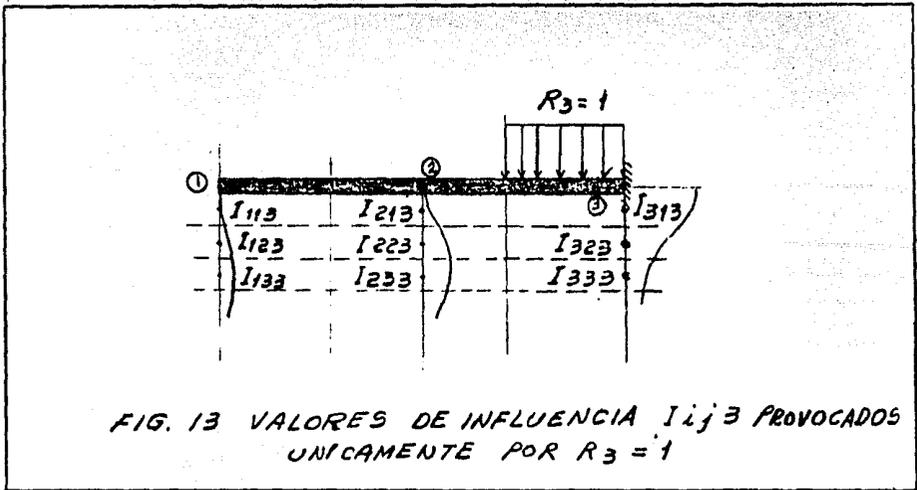
T A B L A 2

$R_2 = 1$

$I_{ij2}$

(z) PROF. (m)	PUNTS ESTRA- TOS "j"	$I_{ij2}$		
		1	2	3
0.15	1	$I_{112} = 0.0000085$	$I_{212} = 0.8633852$	$I_{312} = 0.0000085$
0.45	2	$I_{122} = 0.0002122$	$I_{222} = 0.4498744$	$I_{322} = 0.0002122$
0.75	3	$I_{132} = 0.0008537$	$I_{232} = 0.2820453$	$I_{332} = 0.0008537$

b-1.3) Esfuerzos Inducidos En Los Puntos De Análisis, Por Una Reacción unitaria " $R_3=1$ " (Fig. 13).



Haciendo uso de las gráficas de esfuerzos de Fódum para áreas rectangulares uniformemente cargadas, o por medio la expresión:

$$\sigma_z = \frac{w}{2\pi} \left[ \text{TAN}^{-1} \frac{xy}{z(x^2+y^2+z^2)^{1/2}} + \left( \frac{xyz}{(x^2+y^2+z^2)^{1/2}} \right) \left( \frac{1}{x^2+z^2} + \frac{1}{y^2+z^2} \right) \right]$$

se obtienen los valores de la siguiente tabla:

T A B L A 3

$R_3=1$

$I_{ij3}$

(z) PROF. (m)	PUNTOS ESTRA- TOS "J"	1	2	3
0.15	1	$I_{113}=0.00000002$	$I_{213}=0.0000263$	$I_{313}=0.4317111$
0.45	2	$I_{123}=0.0000044$	$I_{223}=0.0006221$	$I_{323}=0.2253657$
0.75	3	$I_{133}=0.0000200$	$I_{233}=0.0022727$	$I_{333}=0.1425233$

b-2) OBTENCION DE LAS DEFORMACIONES HORIZONTALES DEL SUELO ( $S_1, S_2, S_3$ ),  
POR MEDIO DEL USO DE LA ECUACION (16) Y DE LAS TABLAS 1, 2, 3:

$$b - 2.1) S_1 = \frac{1}{b} \sum_{j=1}^3 (Mv_{1j} e_j \sum_{k=1}^3 I_{1jk} R_k)$$

b = lado o diámetro del pilote = 0.35 m.

$$Mv_{11} = Mv_{12} = Mv_{13} = \frac{1}{3G_1} = \frac{1}{3 \times 360} = 0.00092593 \text{ m}^2 / \text{ton.}$$

$$e_1 = e_2 = e_3 = 0.30 \text{ m}$$

$$S_1 = \frac{Mv_{1j} e}{b} R_1 (I_{111} + I_{121} + I_{131}) + R_2 (I_{112} + I_{122} + I_{132}) + R_3 (I_{113} + I_{123} + I_{133})$$

Substituyendo valores y simplificando parcialmente:

$$S_1 + \frac{0.00092593 \times 0.30}{0.35} (0.7996001 R_1 + 0.0010744 R_2 + 0.0000246 R_3)$$

finalmente:

$$S_1 = 0.00063460 R_1 + 0.00000085 R_2 + 0.00000002 R_3 \quad \text{---- (E)}$$

$$b-2.2) S_2 = \frac{1}{b} \sum_{j=1}^3 (Mv_{2j} e_j \sum_{k=1}^3 I_{2jk} R_k)$$

b = 0.35 m

$$Mv_{21} = Mv_{22} = Mv_{23} = \frac{1}{3G_2} = \frac{1}{3 \times 330} = 0.0010101 \text{ m}^2 / \text{ton.}$$

$$S_2 = \frac{Mv_{21}e_2}{b} (R_1 (I_{211} + I_{221} + I_{231}) + R_2 (I_{212} + I_{222} + I_{232}) + R_3 (I_{213} + I_{223} + I_{233}))$$

substituyendo valores:

$$S_2 = \frac{0.0010101 \times 0.30}{0.35} (0.00292110 R_1 + 1.5953048 R_2 + 0.00292110 R_3)$$

simplificando:

$$S_2 = 0.0000025 R_1 + 0.0013812 R_2 + 0.0000025 R_3 \quad \text{---- (F)}$$

$$b-2.3) S_3 = \frac{1}{b} \left( \sum_{j=1}^3 Mv_{3j} e_j \sum_{k=1}^3 I_{3jk} R_k \right)$$

$$b = 0.35 \text{ m}$$

$$Mv_{31} = Mv_{32} = Mv_{33} = \frac{1}{3G_3} = \frac{1}{3 \times 260} = 0.00128205 \text{ m}^2 / \text{ton.}$$

$$S_3 = \frac{Mv_{3j}e_3}{b} (R_1 (I_{311} + I_{321} + I_{331}) + (I_{312} + I_{322} + I_{332}) R_2 + (I_{313} + I_{323} + I_{333}) R_3)$$

Substituyendo y simplificando da finalmente:

$$S_3 = 0.00000003 R_1 + 0.00000118 R_2 + 0.00087868 R_3 \quad \text{---- (G)}$$

b-3) COMPATIBILIDAD DE DEFORMACIONES.

1° Substituyendo las ecuaciones (E) y (F) en la (A):

$$3.50, - (0.00063460 R_1 + 0.00000085 R_2 + 0.00000002 R_3 + (0.0000025 R_1 + 0.0013812 R_2 + 0.0000025 R_3) + 0.00063545 R_1 + 0.00002219 R_2 = 0$$

Simplificando queda:

$$3.50, + 0.00000335 R_1 + 0.00140254 R_2 + 0.00000248 R_3 = 0 \quad \text{--- (H)}$$

2° Substituyendo las ecuaciones (E) y (G) en la (B):

$$70, - (0.00063460 R_1 + 0.00000085 R_2 + 0.00000002 R_3 + 0.00000003 R_1 + 0.00000118 R_2 + 0.00087868 R_3) + 0.00778316 R_1 + 0.00266889 R_2 + 0.00007012 R_3 = 0$$

Simplificando queda:

$$70, + 0.00714859 R_1 + 0.00266922 R_2 + 0.00094878 R_3 = 0 \quad \text{--- (I)}$$

3° Nuestro sistema de ecuaciones por resolver, se ha simplificado y son las ecuaciones: (C), (D), (H) e (I).

Visto matricialmente, el sistema de ecuaciones por resolver queda:

$$\begin{bmatrix}
 36.3333333 & 19.5000000 & 1.33333333 & 9507.711427 \\
 2 & 3 & 2 & 0 \\
 0.00000335 & 0.00140254 & 0.00000248 & 3.5000000 \\
 0.00714859 & 0.00266922 & 0.00094878 & 7.0000000
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 R_1 \\
 R_2 \\
 R_3 \\
 \theta_1
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 0 \\
 3.4 \\
 0 \\
 0
 \end{bmatrix}$$

y su solución es:

$$R_1 = -0.18303123 \text{ ton/m.}$$

$$R_2 = 0.30294963 \text{ ton /m.}$$

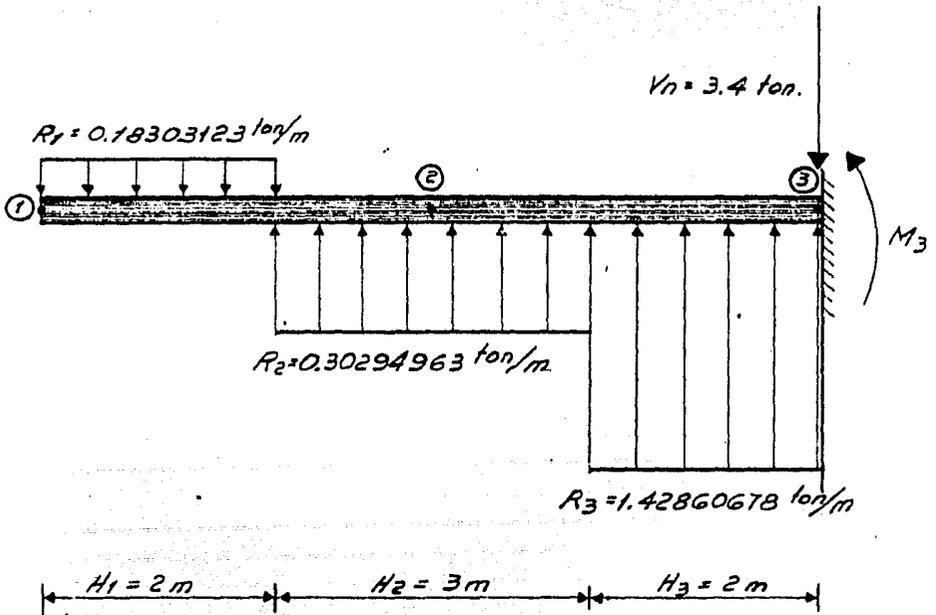
$$R_3 = 1.42860678 \text{ ton /m.}$$

$$\theta_1 = -0.00012224 \text{ rad}$$

Finalmente, substituyendo los anteriores valores en las ecuaciones (E), (F) y (G) da:

$S_1 = -0.00011587 \text{ m}$
$S_2 = 0.00042155 \text{ m}$
$S_3 = 0.00125564 \text{ m}$

c) REPRESENTACION GRAFICA DE RESULTADOS:



de la anterior figura:

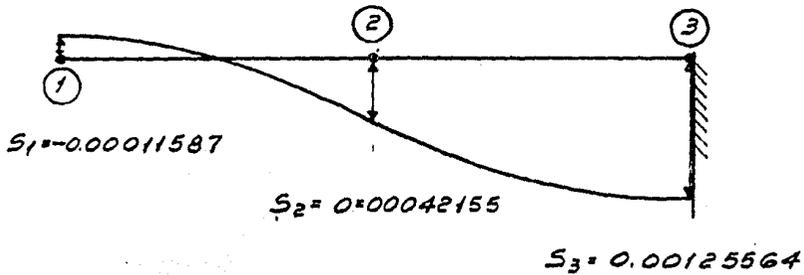
$$\sum M_3 = 0 \quad \curvearrowright$$

$$- 0.18303123 \times 2 (6) + 0.30294963 \times 2 (3.5) + 1.42860678 (2)(1) - M_3 = 0$$

Simplificando y despejando  $M_3$  :

$$M_3 = 2.78148621 \text{ ton/m.}$$

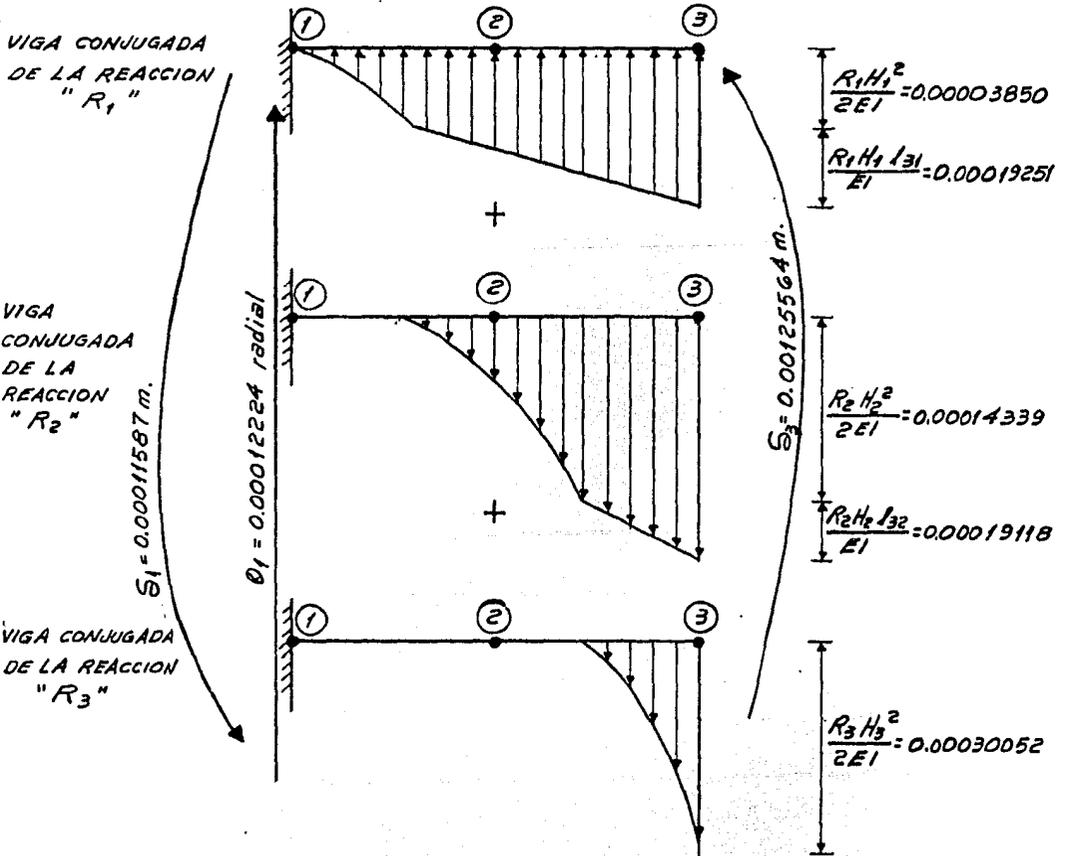
La elástica del pilote será aproximadamente de la siguiente forma:



---

D) COMPROBACION DE RESULTADOS

Por suposición de causas y efectos:



De la figura anterior y haciendo suma de momentos en las vigas conjugadas con respecto al punto (3):

$$M_{\text{punto 3}} = 0 \quad \curvearrowright$$

$$\begin{aligned} & - 0.00011587 + 0.00012224 \times (7) + 0.00003850 (2/3) (5+2/4) + 0.00003850 (5) (2.5) + \\ & + 0.00019251 (5/2) (2/3) - 0.00014339 (3/3) (2+3/4) - 0.00014339 (2) (1) - 0.00019118 \times \\ & (2/2) (2/3) - 0.00030052 (2/3) (2/4) - 0.00125564 = 0 \end{aligned}$$

Simplificando da:

$$- 0.00048129 = 0$$

Con los valores de las reacciones " $R_i$ ", se procede a sacar los diaqramas de fuerza cortante y momento flexionante para proceder a diseñar el pilote, lo que queda fuera del alcance de esta tesis.

Como puede verse de todo lo anterior, se necesita un programa de computadora que haga de fácil aplicación el método de interacción suelo-pilote y es lo que se verá en el tema siguiente.

## T E M A 5

### PROGRAMA DE COMPUTADORA

#### 5.1 GENERALIDADES.

Conforme a lo expuesto en el tema anterior, el uso del método de análisis descrito implica la generación y solución de un sistema de ecuaciones, cuya ejecución es demasiado laboriosa al efectuarse manualmente. Por lo anterior, es conveniente la elaboración de un programa de computadora que, a partir de datos sencillos como lo son: las propiedades de los materiales involucrados (suelo-pilote), la fuerza cortante ( $V_n$ ) y la geometría del cimiento, hagan fácil su utilización.

El programa se realizó en lenguaje FORTRAN IV y por facilidad se integró básicamente de 6 subrutinas dentro del programa principal, a saber:

- 1a SUBROUTINA LECDAT, la cual, es empleada exclusivamente con el fin de leer los datos involucrados. (Más adelante se indican con detalle los datos).

- 2a SUBROUTINA DECOEF, la que es utilizada para el cálculo de parámetros y características geométricas del problema en estudio.
- 3a SUBROUTINA DEFINF, la cual, calcula los factores de influencia " $I_{ijk}$ ", asociados a las reacciones del suelo sobre el pilote, que se pretenden determinar, por medio de la fórmula desarrollada por FADUM (ver capítulo anterior) para áreas rectangulares uniformemente cargadas y por medio del principio de superposición de causas y efectos.
- 4a SUBROUTINA GEMACO, en la cual, se conjuntan los datos obtenidos en las subrutinas anteriores para generar los coeficientes del sistema de ecuaciones a resolver, es decir, los resultados de esta unidad de programa consisten en una serie de coeficientes ordenados en forma matricial.
- 5a SUBROUTINA SOMA, resuelve el sistema de ecuaciones que fueron generadas en la subrutina anterior. En este proceso se utiliza el mé-

todo matricial directo denominado: "Método de Eliminación Gaussiana", en el cual, la matriz de coeficientes original se transforma en una matriz triangular superior y posteriormente -- las incógnitas se despejan por un proceso de sustitución inverso.

6a SUBROUTINA IMPRES, utilizada únicamente para la impresión de títulos, datos de entrada y resultados (giro en la punta del pilote " $\theta$ ", desplazamientos " $S_i$ " y reacciones " $R_i$ " del suelo sobre el pilote, etc.) del análisis.

## 5.2 SIMBOLOGIA UTILIZADA EN EL PROGRAMA.

A continuación se enlista la simbología usada en el programa, con su respectiva equivalencia:

VN = Fuerza cortante equivalente a los efectos del sismo de diseño, obtenida por cualquiera de los métodos de análisis, Estático o Dinámico. (En ton.).

- IND1 = Indicador que nos dice si el pilote es de ---  
sección transversal cuadrada o circular. Es -  
decir, si  $IND1=0$ , pilote cuadrado y si -----  
 $IND1 \neq 0$ , pilote circular. (adimensional).
- F = Lado o diámetro del pilote, según el valor de  
IND1 (en mts.)
- C = Constante, cuyos valores están comprendidos -  
entre 3,000 y 10,000 (adimensional).
- FC = Resistencia del concreto en compresión simple  
a los 28 días de fabricado (en  $Kg/cm^2$ ).
- I = Momento de inercia de la sección transversal  
del pilote, en dirección de la fuerza  $V_n$  ---  
(en  $m^4$ ).
- E = Módulo de Young o de Elasticidad del material  
que forma el pilote (en  $ton/m^2$ ).
- NEST = Número de estratos de suelo, en contacto con  
el fuste del pilote (adimensional).

- H (J) = Espesor de cada uno de los estratos de suelo en contacto con el pilote (en mts.).
- G(J) = Módulo cortante de rigidez de cada estrato de suelo, obtenido como se describió en el tema III. ( en  $\text{ton/m}^2$  ).
- NESTF = Número de estratos supuestos para efecto -- del cálculo de factores de influencia ----- "I<sub>ijk</sub>" de la teoría de FADUM (ver figura 7). Adimensional.
- MV(J,K) = Módulo longitudinal de deformación del suelo, obtenido a partir de G(J), como se describe en el tema III (en  $\text{m}^2/\text{ton.}$ ).
- ESP(K) = Espesor de los diversos estratos supuestos. (En mts.).
- L(I) = Longitudes en metros, medidas de la punta del pilote a cada uno de los puntos medios de cada estrato, excepto en el primero y al timo estrato . (Ver fig. 3).

L(NEST) = Longitud total del pilote. (En mts.)

A (I) = Parámetro geométrico del pilote =  $A_i = \frac{H_i^3}{6}$

como ya se expuso en el tema III.

LL(J,I) = Parámetro geométrico del pilote =

$l_{ji} = l_i - (l_i + \frac{H_i}{2})$ . Como ya se expuso en

tema III. (Ver fig. 3).

D(J,I) = Parámetro geométrico del pilote =

$D_{ji} = A_i (l_{ji} + \frac{H_i}{4}) + \frac{H_i^2 l_{ji}^2}{4} + \frac{H_i l_{ji}^3}{6}$

Como ya se expuso en el tema III.

B(NEST, I) = Parámetro geométrico del pilote =  $B_{ji} = \frac{H_i^2 l_{ji}^2}{2}$

Como ya se expuso en Tema III.

C(NEST, I) = Parámetro geométrico del pilote =  $C_{ji} = \frac{H_i l_{ji}^2}{2}$

Como ya se expuso en tema III

Z(I) = Longitudes, en metros, que indican las dis  
tancias medias de cada estrato ficticio.

(Ver Fig. 7).

- $FAIN(I, J, K)$  = Factores de influencia  $I_{ijk}$  de cualquier cuadro "i, j" debidos a la acción de -- las reacciones "R" en los tramos "k" (Ver figura 7).
- $ORD$  = Número de orden de la matriz de ecuaciones generada.
- $A(I1, I2) = TM(I1, I2)$  = Generación de cada uno de los elementos de la matriz de coeficientes.
- $B(I1) = TI(I1)$  = Generación de cada uno de los elementos del vector de términos independientes.
- $TOL$  = Tolerancia para el valor mínimo del pivote.
- $IMP$  = Número de la unidad impresora del papel.
- $X(I1)$  = Elementos del vector de solución.

### 5.3 MANUAL DEL USUARIO.

En lo que respecta a la utilización del programa, la introducción de los datos para el análisis de casos prácticos es sencilla y solo es necesario seguir las instrucciones que se detallan a continuación:

- 1° La primera tarjeta o línea de datos se usa para introducir el valor de la fuerza cortante " $V_n$ " (en ton.). El formato usado es:

FORMAT (F 8.2)

Su rango de valores es:

$$-999999.99 \leq V_n \leq 999999.99$$

- 2° La segunda tarjeta de datos sirve para indicar los valores que le corresponden a: IND1 F, C, FC.

Los formatos utilizados son:

FORMAT (I5, F8.2, F 10.2, F 8.2)

Los rango de variación de estos parámetros son:

$$-99,999 \leq \text{IND1} \leq 99,999$$

$$0.01 \leq F \leq 2.50$$

$$3,000.00 \leq C \leq 10,000.00$$

$$100.00 \leq \text{FC} \leq 350.00$$

3° En la tercera tarjeta se estipula el número de estratos de suelos (NEST). El formato utilizado es:

FORMAT (I5)

El rango de valores de esta variable es:

1 \* NEST \* 99,999

4° En cada una de las siguientes "NEST" tarjetas de datos, se incluirán parejas de datos referentes - al espesor de cada estrato de suelo "H(J)" ( en mts.) y al módulo cortante de rigidez del suelo -- "G(J)" (en  $\text{ton/m}^2$ ), respectivamente..

La representación de estas parejas de datos, se hará en forma ordenada, del estrato más profundo (en contacto con el fuste del pilote), hacia arriba --- hasta el cabezal del pilote. El formato empleado -- es:

FORMAT (2F10.3)

Los valores límite de estas variables son:

0.010 \* H(J) \* 9,999,999.000

0.000 \* G(J) \* 9,999,999.000

5° La siguiente tarjeta de datos es para indicar el número de estratos ficticios verticales "NESTF". El formato empleado es:

FORMAT (I 5)

Por otro lado, su rango de valores es:

1 = NESTF = 99,999 (únicamente valores enteros).

6° Finalmente, en cada una de las "NESTF" tarjetas de datos siguientes, se presentarán los espesores ---- "ESP(J)" de cada estrato ficticio vertical (en mts.)

El formato utilizado es:

FORMAT ( F 8.2)

El rango de variación de esta variable es:

0.01 = ESP = 999,999.00

La introducción de estos valores de "ESP(J)", se hará de tal forma de comenzar por el estrato ficticio que sirve de apoyo al pilote (ver fig. 7).

#### 5.4 INTRODUCCION DE LOS DATOS DEL EJEMPLO DE APLICACION DEL TEMA IV

Con objeto de que el lector se familiarice en como se introducen los datos del ejemplo utilizado en el tema anterior (ver figuras 7 y 8 ) se procederá como sigue:

En caso se usarán 10 tarjetas para estos datos:

1a. Tarjeta:

- VN = 3.4

2a. Tarjeta:

- INDI = 1, F = 0.35, C = 10,000

3a. Tarjeta:

- NEST = 3

4a. Tarjeta:

- H(1) = 2, G(1) = 360

5a. Tarjeta:

H(2) = 3, G(2) = 330

6a. Tarjeta:

-  $H(3)=2$  ,  $G(3) = 260$

7a. Tarjeta:

- NESTF = 3

8a. Tarjeta:

- ESP (1) = 0.30

9a. Tarjeta:

- ESP (2) = 0.30

10a. Tarjeta:

- ESP (3) = 0.30

En la figura 14 se muestran las tarjetas de datos, con los formatos utilizados:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	
		3.40																												①
	1		0.35		10000.00		250.00																							②
		3																												③
			2.000		360.000																									④
			3.000		330.000																									⑤
			2.000		260.000																									⑥
		3																												⑦
			0.30																											⑧
			0.30																											⑨
			0.30																											⑩

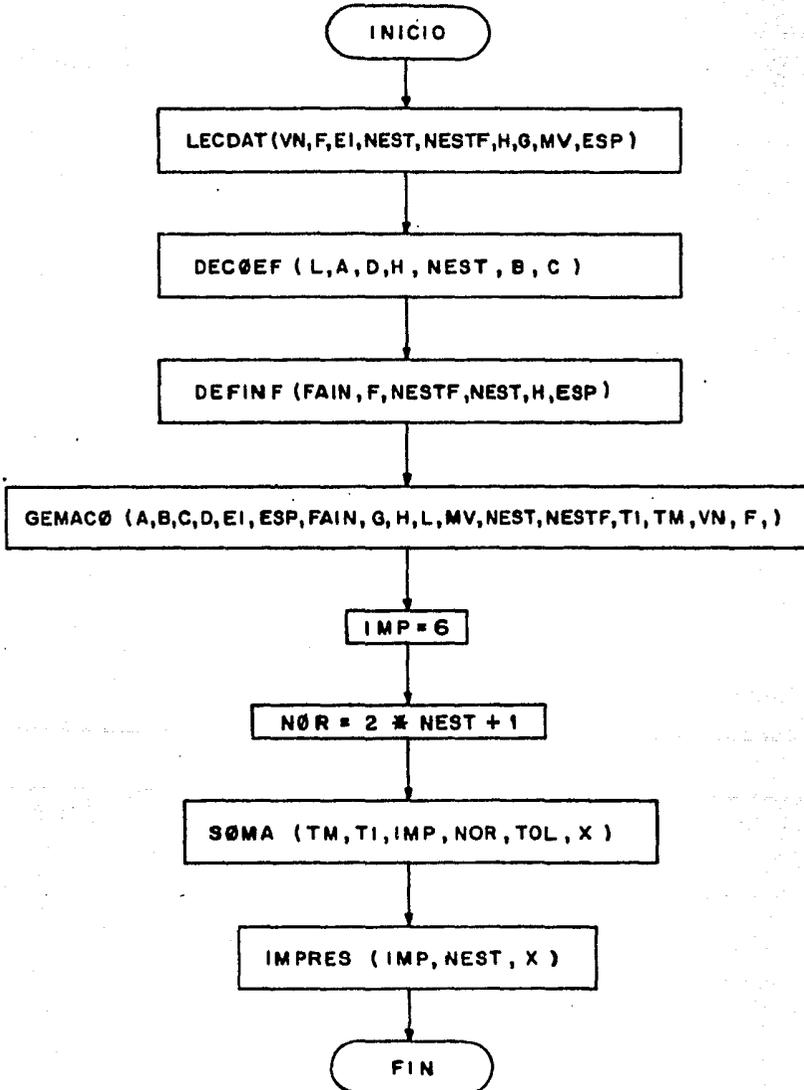
FIG.14 ORDEN DE LOS DATOS DEL EJEMPLO DE APLICACION DEL TEMA IV

5.5 DIAGRAMAS DE FLUJO Y LISTADOS DEL PROGRAMA.

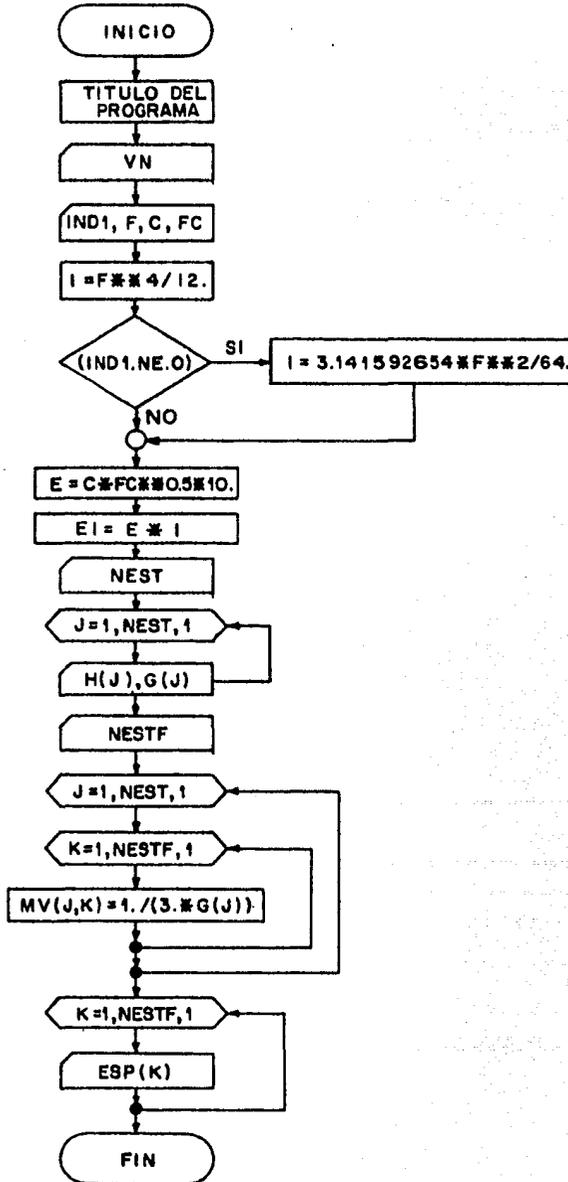
A continuación se presentan los diagramas de flujo correspondientes al programa principal y sus subrutinas, así como también sus respectivos listados:

5.5-1 DIAGRAMAS DE FLUJO.

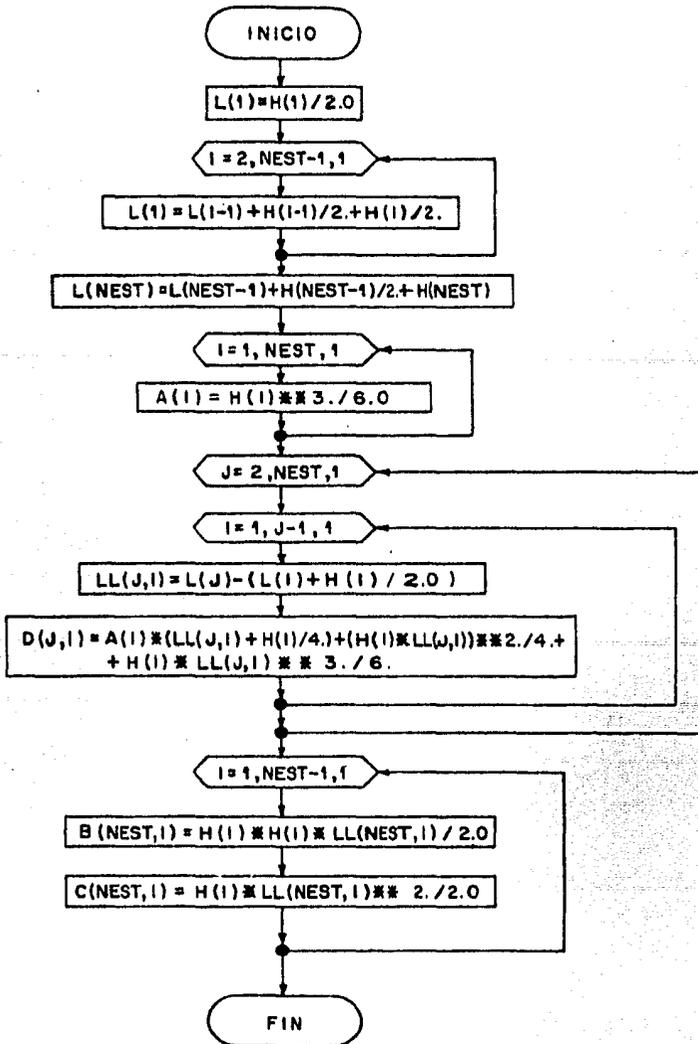
PROGRAMA PRINCIPAL



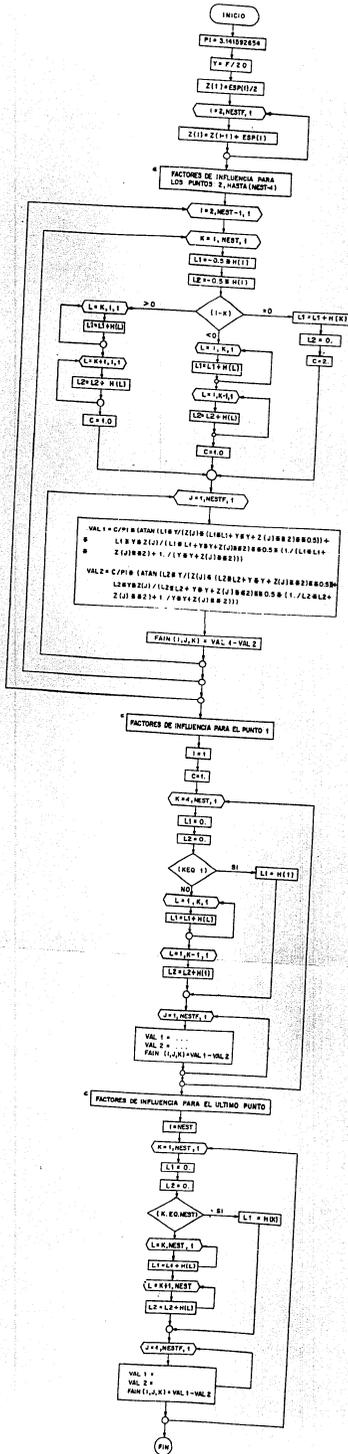
1- SUBRUTINE LECDAT ( VN, F, EI, NEST, NESTF, H, G, MV, ESP )  
( LECTURA DE DATOS )



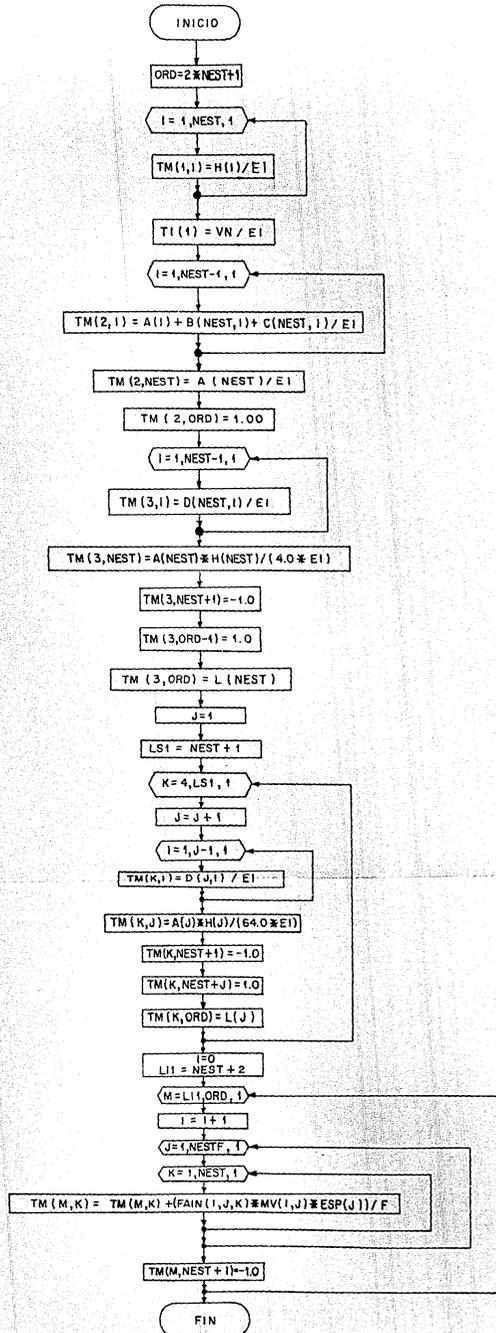
2- SUBRUTINE DECØEF ( L,A,D,H,NEST, B, C )  
( DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES  $CL(1)$ ,  $L(1)$ ,  $L(NEST)$ ,  $A(1)$ ,  $LL(J,I)$ ,  $D(J,I)$  )



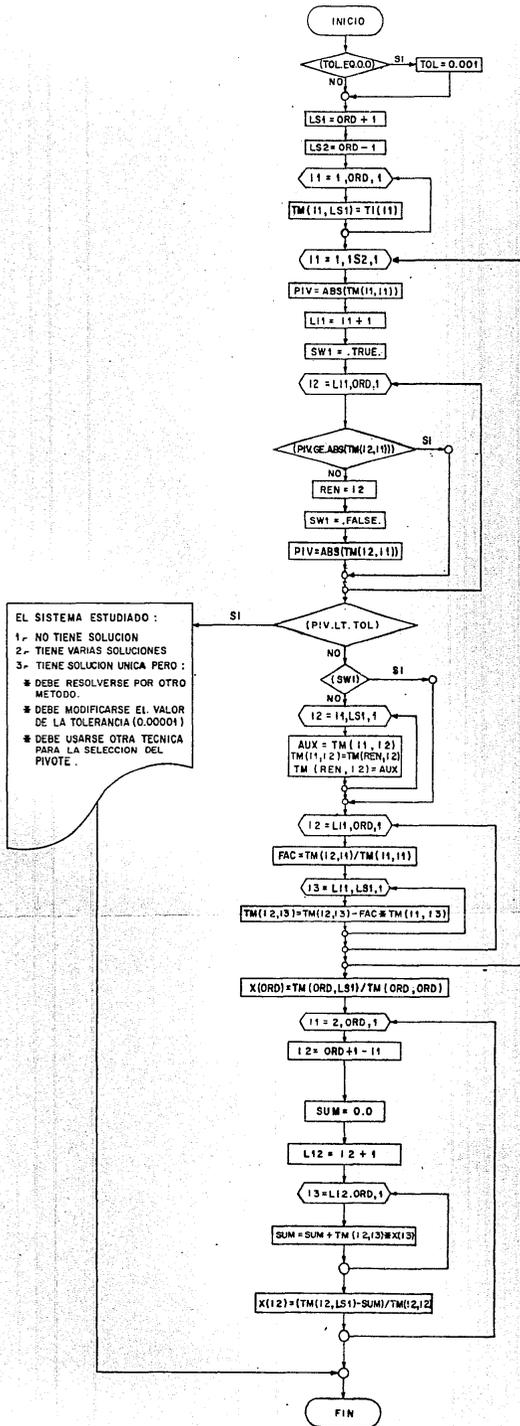
3-SUBROUTINE DEFIN ( FAIN, F, NESTF, NEST, H, EBP)  
 ( DETERMINACION DE LOS FACTORES DE INFLUENCIA )



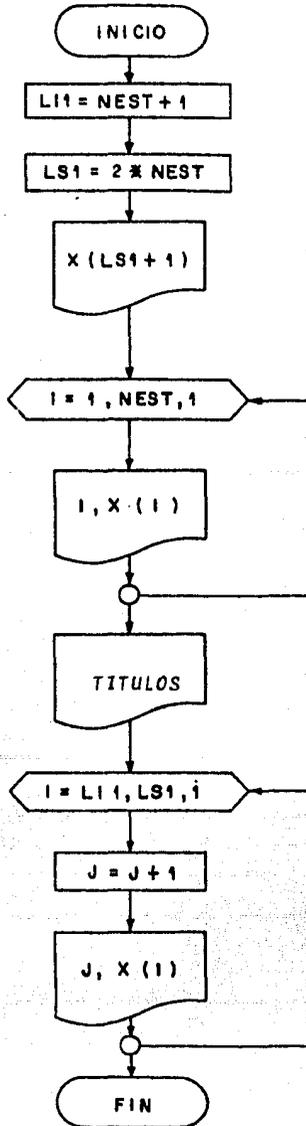
4-SUBRUTINE GEMACO (A,B,C,D,EI,ESP,FAIN,G,H,L,MV,NEST,NESTF,TI,TM,VN,F)  
 ( GENERACION DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES )



5 - SUBRUTINE SOMA ( TM, T1, IMP, NOR, TOL, X)  
 ( SOLUCION SISTEMA ECUACIONES LINEALES POR ELIMINACION GAUSSIANA )



**6 - SUBROUTINE IMPRES (IMP,NEST,X )  
( IMPRESION DE RESULTADOS )**



5.5-2 LISTADOS DEL PROGRAMA

PPS.MAIN

03/26/83-08:27(,0)

PROGRAMA PRINCIPAL

- 1. C
- 2. C
- 3.
- 4.
- 5.
- 6.
- 7.
- 8.
- 9.
- 10.
- 11.
- 12.
- 13.
- 14. C
- 15.
- 16.
- 17.
- 18.

```

    INTEGER ORD
    DIMENSION H(30),L(30),A(30),D(30,30),R(30,30),C(30,30),
    MV(30,10),ESP(10),FAIN(30,10,30),TM(61,61),
    TI(61),X(61)
    *
    REAL MV,L
    CALL LECDAT (VN,F,ET,NEST,NESTF,H,MV,ESP)
    CALL DECOEF (L,A,D,H,NEST,B,C)
    CALL DEFINE (FAIN,F,NESTF,NEST,H,ESP)
    CALL GEMACO (A,B,C,D,C1,ESP,FAIN,H,L,MV,NEST,NESTF,ORD,TI,TM,VN,F)
    IMP = 0
    TOL = 0.000001
    CALL SOMA (TM,TI,IMP,ORD,TOL,X)
    CALL IMPRES (IMP,NEST,X)
    STOP
    END
  
```

5 10ANK 16015 08ANK

FIS TPF5.LECDAT

OR1A 03/26/83-08:27(,0)

```

1.      SUBROUTINE LECDAT (VN,F,EI,NEST,NESTF,H,MV,ESP)
2.      C
3.      C      LECTURA DL DATOS
4.      C
5.      DIMENSION H(30),G(30),MV(30,10),ESP(10)
6.      REAL I,MV
7.      READ (5,5) VN
8.      READ (5,10) IND1,F,C,FC
9.      I = F**4 / 12.00
10.     IF (IND1 .NE. 0) I = 3.141592 * F**2 / 64.
11.     E = C * FC**0.50 * 10.
12.     EI = E * I
13.     READ (5,15) NEST
14.     DO 25 J = 1,NEST
15.     25  READ (5,20) H (J), G (J)
16.     READ (5,15) NESTF
17.     DO 40 J = 1,NESTF
18.     DO 35 K = 1,NESTF
19.     35  MV (J,K) = 1. / (3. * G (J))
20.     CONTINUE
21.     DO 45 J = 1,NESTF
22.     45  READ (5,5) ESP (J)
23.     RETURN
24.     5  FORMAT (F8.2)
25.     10 FORMAT (15,F8.2,F10.2,F8.2)
26.     15 FORMAT (15)
27.     20 FORMAT (2F10.3)
28.     END

```

TN 118 IBANK 172 DBANK

DECOEF

26/83-08:27(,0)

SUBROUTINE DECOEF (L,A,D,H,NEST,B,C)

C  
C  
C

\* 2- DETERMINACION DE LOS COEFICIENTES L(1),L(I),L(NEST),A(I),LL(J,I),D(J,I)

DIMENSION L(30),A(30),D(30,30),H(30),LL(30,30),B(30,30),C(30,30)

REAL L,LL

L(1) = H(1) / 2.

DO 5 I = 2,NEST-1

5 L(I) = L(I-1)+H(I-1)/2.+H(I)/2.

L(NEST) = L(NEST-1) + H(NEST-1)/2. + H(NEST)

DO 10 I = 1,NEST

10 A(I) = H(I)\*\*3./6.

DO 20 J = 2,NEST

DO 15 I = 1,J-1

LL(J,I) = L(J)-(L(I)+H(I))/2.

D(J,I) = A(I)\*(LL(J,I)+H(I)/4.)+(H(I)\*LL(J,I))\*\*2./4.+  
H(I)\*LL(J,I)\*\*3./6.

15 CONTINUE

20 CONTINUE

DO 25 I = 1,NEST-1

B(NEST,I) = H(I)+H(I)\*LL(NEST,I)/2.

C(NEST,I) = H(I)\*LL(NEST,I)\*\*2./2.

25 CONTINUE

RETURN

END

DANK 952 DBANK

IS TPF3,DEFIN

\*1A 05/26/83-08:27(,0)

```

1. SUBROUTINE DEFINF (FAIN,F,NESTF,NFST,H,ESP)
2. C
3. C 3- DETERMINACION DE LOS FACTORES DE INFLUENCIA
4. C
5. DIMENSION FAIN(30,10,30),H(30),ESP(10),Z (30)
6. REAL L1,L2
7. PI = 3.141592654
8. Y = F/2.
9. Z(1) = ESP(1)/2.
10. DO 5 I = 2,NESTF
11. 5 Z(I) = Z(I-1)+ESP(I)
12. C
13. C FACTORES DEINFLUENCIA PARA LOS PUNTOS: 2, HASTA (NEST-1)
14. C
15. DO 60 I = 2,NEST-1
16. DO 55 K = 1,NEST
17. L1 = -0.5*H(I)
18. L2 = -0.5*H(I)
19. IF (I-K) 10,25,30
20. 10 DO 15 L = I,K
21. 15 L1 = L1 + H (L)
22. DO 20 L = I,K-1
23. 20 L2 = L2 + H (L)
24. C = 1.
25. GOTO 45
26. 25 L1 = L1 + H (K)
27. L2 = 0.
28. C = 2.
29. GOTO 45
30. 30 DO 35 L = K,1
31. 35 L1 = L1 + H (L)
32. DO 40 L = K+1,I
33. 40 L2 = L2 + H (L)
34. C = 1.
35. 45 DO 50 J = 1,NESTF
36. VAL1 = C/PI*(ATAN(L1*Y/(Z(J)*(L1*L1+Y*Y+Z(J)**2)**0.5))+
37. * L1*Y*Z(J)/(L1*L1+Y*Y+Z(J)**2)**0.5*(1./(L1*L1+
38. * Z(J)**2)+1./(Y*Y+Z(J)**2)))
39. VAL2 = C/PI*(ATAN(L2*Y/(Z(J)*(L2*L2+Y*Y+Z(J)**2)**0.5))+
40. * L2*Y*Z(J)/(L2*L2+Y*Y+Z(J)**2)**0.5*(1./(L2*L2+
41. * Z(J)**2)+1./(Y*Y+Z(J)**2)))
42. FAIN(I,J,K) = VAL1 - VAL2
43. 50 CONTINUE
44. 55 CONTINUE
45. 60 CONTINUE
46. C
47. C FACTORES DE INFLUENCIA PARA EL PUNTO 1
48. C
49. I = 1
50. C = 1.
51. DO 90 K = 1,NEST
52. L1 = 0.
53. L2 = 0.
54. IF (K.EQ. 1) GOTO 75
55. DO 65 L = 1,K
56. 65 L1 = L1 + H(L)
57. DO 70 L = 1,K-1
58. 70 L2 = L2 + H(L)

```

```

59.      GOTO 80
60.      75 L1 = H (1)
61.      80 DO 85 J = 1,NESTF
62.      VAL1 = C/PI*(ATAN(L1*Y/(Z(J)*(L1*L1+Y*Y+Z(J)**2)**0.5))+
63.      * L1*Y*Z(J)/(L1*L1+Y*Y+Z(J)**2)**0.5*(1./(L1*L1+
64.      * Z(J)**2)+1./{Y*Y+Z(J)**2}))
65.      VAL2 = C/PI*(ATAN(L2*Y/(Z(J)*(L2*L2+Y*Y+Z(J)**2)**0.5))+
66.      * L2*Y*Z(J)/(L2*L2+Y*Y+Z(J)**2)**0.5*(1./(L2*L2+
67.      * Z(J)**2)+1./{Y*Y+Z(J)**2}))
68.      FAI(I,J,K) = VAL1 - VAL2
69.      85 CONTINUE
70.      90 CONTINUE
71.
72.      C
73.      C
74.      C
75.      I = NEST
76.      DO 125 K = 1,NEST
77.      L1 = 0.
78.      L2 = 0.
79.      IF (K .EQ. NEST) GOTO 110
80.      DO 95 L = K,NEST
81.      95 L1 = L1 + H(L)
82.      DO 100 L = K+1,NEST
83.      100 L2 = L2 + H(L)
84.      GOTO 115
85.      110 L1 = H (K)
86.      115 DO 120 J = 1,NESTF
87.      VAL1 = C/PI*(ATAN(L1*Y/(Z(J)*(L1*L1+Y*Y+Z(J)**2)**0.5))+
88.      * L1*Y*Z(J)/(L1*L1+Y*Y+Z(J)**2)**0.5*(1./(L1*L1+
89.      * Z(J)**2)+1./{Y*Y+Z(J)**2}))
90.      VAL2 = C/PI*(ATAN(L2*Y/(Z(J)*(L2*L2+Y*Y+Z(J)**2)**0.5))+
91.      * L2*Y*Z(J)/(L2*L2+Y*Y+Z(J)**2)**0.5*(1./(L2*L2+
92.      * Z(J)**2)+1./{Y*Y+Z(J)**2}))
93.      FAI(I,J,K) = VAL1 - VAL2
94.      120 CONTINUE
95.      125 CONTINUE
96.      RETURN
97.      DEBUG INIT
98.      END

```

TN 964 IBANK 282 DBANK

TRF5.GEMACO

03/26/83-QR:27(10)

```

1. SUBROUTINE GEMACO (A,B,C,D,EI,ESP,FAIN,H,L,MV,NEST,NESTF,ORD,TI,
2. * TM,VN,F)
3. C
4. C 4- GENERACION DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES
5. C
6. DIMENSION H(30),L(30),A(30),D(30,30),FAIN(30,10,30),
7. * TM(61,62),TI(61),B(30,30),C(30,30),ESP(10),MV(30,10)
8. REAL L,MV
9. INTEGER ORD
10. ORD = 2 * NEST + 1
11. DO 5 I = 1,NEST
12. 5 TM (1,I) = H (I) / EI
13. TI (1) = VN / EI
14. DO 10 I = 1,NEST-1
15. 10 TM (2,I) = (A(I)+B(NEST,I)+C(NEST,I)) / EI
16. TM (2,NEST) = A (NEST) / EI
17. TM (2,ORD) = 1.00
18. DO 15 I = 1,NEST-1
19. 15 TM (3,I) = D(NEST,I)/EI
20. TM (3,NEST) = A(NEST)*H(NEST)/(4.*EI)
21. TM (3,NEST+1) = -1.
22. TM (3,ORD-1) = 1.
23. TM (3,ORD) = L(NEST)
24. J = 1
25. L51 = NEST + 1
26. DO 25 K = 4,L51
27. J = J + 1
28. DO 20 I = 1,J-1
29. 20 TM(K,I) = D (J,I)/EI
30. TM (K,J) = A(J)*H(J)/(64.*EI)
31. TM (K,NEST+1) = -1.
32. TM (K,NEST+J) = 1.
33. TM (K,ORD) = L(J)
34. 25 CONTINUE
35. I = 0
36. L11 = NEST + 2
37. DO 40 M = L11,ORD
38. I = I + 1
39. DO 35 J = 1,NESTF
40. DO 30 K = 1,NEST
41. TM(M,K) = TM(M,K)+(FAIN(I,J,K)*MV(I,J)*ESP(J))/F
42. 30 CONTINUE
43. 35 CONTINUE
44. TM(M,NEST+I) = -1.0
45. 40 CONTINUE
46. RETURN
47. DEBUG INIT
48. END

```

PFS.SOMA

03/26/83-08:27(10)

```

1. SUBROUTINE SOMA (A,R,IMP,ORD,TOL,X)
2.
3. C
4. C *****
5. C SOLUCION DE UN SISTEMA DE ECUACIONES LINEALES MEDIANTE UN METODO -
6. C MATRICIAL (ELIMINACION GAUSSIANA). EN ESTE METODO LA MATRIZ ORIGI-
7. C NAL SE TRANSFORMA EN UNA MATRIZ TRIANGULAR SUPERIOR, PARA QUI, POS-
8. C TERIORMENTE, EL SISTEMA SE RESUELVA POR UN PROCESO DE SUSTITUCION-
9. C INVERSA. SE UTILIZA TAMBIEN LA TECNICA DE >PIVOTEO PARCIAL< CON OR-
10. C JETO DE QUE, EL ELEMENTO PIVOTE EN CADA UNO DE LOS PASOS DE LA ELI-
11. C MINACION SEA AQUEL DE MAYOR VALOR ABSOLUTO DE LA COLUMNA POR FLIMI-
12. C NAR, PARA LO CUAL, SE EFECTUAN LOS INTERCAMBIOS DE RENGLON NECESA-
13. C RIOS.
14. C IDENTIFICADORES DE ENTRADA Y SALIDA EMPLEADOS :
15. C A(I1,I2) = ELEMENTOS DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES
16. C B(I1) = ELEMENTOS DEL VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES
17. C IMP = NUMERO DE LA UNIDAD IMPRESORA DE PAPEL
18. C ORD = NUMERO DE ORDEN DE LA MATRIZ
19. C TOL = TOLERANCIA PARA EL VALOR MINIMO DEL PIVOTE
20. C X(I1) = ELEMENTOS DEL VECTOR DE SOLUCION
21. C *****
22. C DIMENSION A(61,62), B(61), X(61)
23. C INTEGER ORD, REN
24. C LOGICAL SW1
25. C
26. C *****
27. C ESTABLECIMIENTO DEL VALOR DE LA TOLERANCIA.
28. C *****
29. C
30. C IF(TOL .EQ. 0.0) TOL = 0.001
31. C LS1 = ORD + 1
32. C LS2 = ORD - 1
33. C
34. C *****
35. C EL VECTOR DE TERMINOS INDEPENDIENTES SE TRANSFORMA EN UNA COLUMNA-
36. C ADICIONAL DE LA MATRIZ DE COEFICIENTES,
37. C *****
38. C
39. C DO 5 I1 = 1, ORD, 1
40. C A(I1,LS1) = B(I1)
41. C 5 CONTINUE
42. C
43. C *****
44. C INICIO DEL PROCESO
45. C *****
46. C
47. C DO 40 I1 = 1, LS2, 1
48. C PIV = ABS(A(I1,I1))
49. C LI = I1 + 1
50. C SW1 = .TRUE.
51. C
52. C *****
53. C DETERMINACION DEL ELEMENTO DE MAYOR VALOR ABSOLUTO EN LA COLUM-
54. C NA >I1<, ASI COMO DEL RENGLON (REN) EN QUE SE LOCALIZA DICHO --
55. C ELEMENTO. EL VALOR SELECCIONADO SERA EL PIVOTE (PIV) DURANTE ES-
56. C TA ETAPA.
57. C *****
58. C

```

```

59. DO 15 I2 = LI1, ORD, 1
60.   IF (PIV .GE. ABS(A(I2,I1))) GO TO 10
61.     REN = I2
62.     SW1 = .FALSE.
63.     PIV = ABS(A(I2,I1))
64. 10 CONTINUE
65. 15 CONTINUE
66. C
67. C
68. C *****
69. C ANALISIS DE LA POSIBILIDAD DE CONTINUAR CON EL PROCESO DE ELIMI
70. C NACION.
71. C *****
72. C IF (PIV .LT. TOL) GO TO 55
73. C
74. C *****
75. C INVLTIGACION DE LA NECESIDAD DE INTERCAMBIAR RENGLONES
76. C *****
77. C
78. C IF (SW1) GO TO 25
79. C
80. C *****
81. C INTERCAMBIO DE RENGLONES
82. C *****
83. C
84. C DO 20 I2 = I1, LS1, 1
85. C   AUX = A(I1, I2)
86. C   A(I1, I2) = A(REN, I2)
87. C   A(REN, I2) = AUX
88. C 20 CONTINUE
89. C 25 CONTINUE
90. C
91. C *****
92. C PROCESO DE ELIMINACION GAUSSIANA. EN ESTA FASE SE ELIMINA LA CO
93. C LUMNA >I1>.
94. C *****
95. C
96. C DO 35 I2 = LI1, ORD, 1
97. C   FAC = A(I2, I1) / A(I1, I1)
98. C   DO 30 I3 = LI1, LS1, 1
99. C     A(I2, I3) = A(I2, I3) - FAC * A(I1, I3)
100. C 30 CONTINUE
101. C 35 CONTINUE
102. C 40 CONTINUE
103. C
104. C *****
105. C EL PROCESO DE ELIMINACION HA CONCLUIDO Y AHORA SE TIENE UNA MATRIZ
106. C TRIANGULAR SUPERIOR. SE INICIA ENTONCES EL PROCESO DE SUSTITUCION-
107. C INVERSA PARA HALLAR LOS VALORES DE LOS ELEMENTOS DEL VECTOR SOLU-
108. C CION(X(I1)).
109. C *****
110. C
111. C X(ORD) = A(ORD, LS1) / A(ORD, ORD)
112. C DO 50 I1 = 2, ORD, 1
113. C   I2 = ORD + 1 - I1
114. C   SUM = 0.00
115. C   LI2 = I2 + 1
116. C   DO 45 I3 = LI2, ORD, 1
117. C     SUM = SUM + A(I2, I3) * X(I3)
118. C 45 CONTINUE

```

119.  
120.  
121.  
122.  
123.  
124.  
125.  
126.  
127.  
128.  
129.  
130.  
131.  
132.  
133.  
134.  
135.  
136.  
137.  
138.  
139.  
140.  
141.

C  
C  
C  
C  
C  
C  
C

```
X(I2) = ( A(I2, LS1) - SUM) / A(I2, I2)
50 CONTINUE
GO TO 65
```

```
*****
NO ES POSIBLE CONTINUAR CON EL PROCESO DE ELIMINACION PUES EL VALOR ABSOLUTO DEL PIVOTE (PIV) ES MENOR QUE EL MINIMO ESPECIFICADO-
(TOL).
*****
```

```
55 WRITE (IMP, 60) TOL
60 FORMAT (1H1,20(/),40X,40(1H*),/,40X,1H*,38X,1H*,/,40X,22H* EL SIST
*EMA ESTUDIADO,17X,1H*,/,40X,1H*,38X,1H*,/,40X,23H* 1. NO TIENE SOL
*UCION.,16X,1H*,/,40X,1H*,38X,1H*,/,40X,29H* 2. TIENE VARIAS SOLUCT
*IONES.,10X,1H*,/,40X,1H*,38X,1H*,/,40X,32H* 3. TIENE SOLUCION UNICA
* PERO:,7X,1H*,/,40X,1H*,38X,1H*,/,40X,40H* * DEBE RESOLVERSE P
*OR OTRO METODO *,/,40X,1H*,38X,1H*,/,40X,40H* * DEBE MODIFICARS
*E EL VALOR DE LA *,/,40X,19H* TOLERANCIA( ,F7.5,1H),12X,1H*,/
*,40X,1H*,38X,1H*,/,40X,40H* * DEBE USARSE OTRA TECNICA PARA - *
*,/,40X,40H* LA SELECCION DEL PIVOTE. *,/,40X,1H*,38X,1
*H*,/,40X,40(1H*))
65 RETURN
END
```

TPFS.IMPRES

LA 03/20/83-08:27(,0)

```

1.      SUBROUTINE IMPRES (IMP,NEST,X)
2.      C
3.      C      6- IMPRESION DE RESULTADOS
4.      C
5.      DIMENSION X(61)
6.      L11 = NEST + 1
7.      LS1 = 2.*NEST
8.      WRITE (IMP,15) X(LS1+1)
9.      DO 5 I = 1,NEST
10.     5 WRITE (IMP,20) I,X (I)
11.     WRITE (IMP,25)
12.     DO 10 I = L11,LS1
13.     J = J + 1
14.     10 WRITE (IMP,30)J,X(I)
15.     C
16.     15 FORMAT (1H1,10(/),40X,23HGIRO PUNTO 1 (RADIANTES),//55X,F10.8,5(/),
17.     *49X,22HREACCIONES DEL TERRENO,//50X,20HPUNTO MAGNITUD (TON),/)
18.     20 FORMAT (/51X,12,6X,F9.6)
19.     25 FORMAT (5(/),52X,15HDESPLAZAMIENTOS,//50X,20HPUNTO MAGNITUD (M),
20.     */)
21.     30 FORMAT (/51X,12,7X,F9.6)
22.     RETURN
23.     END

```

77 IBANK 115 DBANK

5.6 FORMA DE LA IMPRESION DE LOS RESULTADOS DEL PROBLEMA USADO EN EL TEMA IV.

GIRO PUNTO 1 (RADIANES)	
	- .00012224
REACCIONES DEL TERRENO	
PUNTO MAGNITUD (TON/ M.)	
1	- .183022
2	.302934
3	1.428621
DESPLAZAMIENTOS	
PUNTO MAGNITUD (M)	
1	- .000116
2	.000422
3	.001256

E - IGNORED

Como podrá observarse, los resultados obtenidos de aplicar el programa de computadora, coinciden obviamente con los obtenidos manualmente en el ejemplo utilizado en el tema IV. (Pags. 75 y 76).

## T E M A 6.

## C O N C L U S I O N E S

- Debido a que las deformaciones horizontales inducidas en pilotes a causa de fuerzas laterales estáticas, equivalentes a los efectos sísmicos, dependen, tanto de la rigidez de estos elementos como del tipo de material que constituye el medio que los aloja y, además, del hecho de que en la actualidad los diseños estructurales efectuados resultan sobreestimados por no considerar dichas rigideces, surge la necesidad de desarrollar métodos de interacción que si tomen en cuenta las rigideces conjuntas de ambos materiales, sin perder de vista la cuestión práctica y permitan obtener resultados más confiables.

- En este trabajo, se ha descrito un método de interacción suelo-estructura para pilotes alojados en suelos finos, sujetos a una fuerza lateral estática, equivalente a los efectos sísmicos. Este método fue propuesto por el M. en I. Agustín Deméneghi Colina, maestro de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, basado en los trabajos del Dr. Leonardo Zeevaert.

El método propuesto se resume en los siguientes puntos:

- 1° Se supone que la fuerza cortante " $V_n$ ", en cada pilote, produce un conjunto de reacciones " $R_i$ " uniformemente repartidas en tramos de longitud igual al espesor de cada uno de los estratos considerados.
- 2° Los desplazamientos del pilote se estiman en función de la rigidez estructural del elemento a la flexión, mediante el método de análisis conocido como "Viga Conjugada". Dado que tanto las reacciones como los desplazamientos son desconocidos, el resultado de este proceso será un sistema de ecuaciones.
- 3° Se determinan las deformaciones elásticas del suelo en función también de las reacciones del terreno, obteniéndose así un nuevo conjunto de ecuaciones.
- 4° Los 2 sistemas de ecuaciones así obtenidos se resuelven conjuntamente por medio de alguno de los métodos clásicos, preferentemente uno de tipo matricial. En estas condiciones, es posible conocer la respuesta del terreno (reacciones " $R_i$ ") y los desplazamientos " $S_i$ " del elemento.

Como el empleo del método de análisis propuesto implica la generación y solución de un sistema de ecuaciones de orden igual a  $2N+1$  ( $N$ = número de estratos de suelo en contacto con el fuste del pilote), el cual resulta sumamente laborioso al efectuarse manualmente, se elaboró un programa de computadora (en lenguaje FORTRAN IV), a partir de datos sencillos sobre las propiedades de los materiales involucrados, fuerza " $V_n$ " y geometría del problema en estudio, de manera de hacer fácil su utilización práctica.

El programa de computadora mencionado, está contenido en el tema V de este trabajo y puede ser utilizado en forma muy sencilla, basta con seguir los pasos del manual del usuario (página 87).

El análisis que se realiza en el programa, proporciona los siguientes resultados:

- + Giro en la punta del pilote ( $\theta_1$ )
- + Desplazamientos del pilote ( $S_i$ )
- + Reacciones del suelo sobre el pilote ( $R_i$ )

Con los anteriores valores, resulta sencillo obtener los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante, con los cuales, se puede efectuar un diseño estructural más acorde a la realidad.

Es buen recalcar que este método, al igual que otros - existentes, serán la base de partida para que se comience a tomar conciencia de la importancia que juegan las rigideces, tanto del suelo como del pilote en las deformaciones que -- realmente se presentan, ya que estas últimas son obtenidas de suponer al pilote muy flexible con respecto al suelo.

Hasta el presente, el comportamiento de casi todas las estructuras ha sido, en términos generales, satisfactorio, debido principalmente al hecho de que cuando se realiza el diseño estructural del pilote, su armado y sección transversal resultan sobrados, muy por el lado de la seguridad y en consecuencia hacen más costosa su habilitación. Por lo tanto, este método interactivo deja las bases para su uso y -- aplicación en el diseño sísmico de pilotes y en un futuro, podría contribuir probablemente al logro de obras más económicas.

Se considera conveniente que el método sea complementado con mediciones efectuadas en el lugar, por medio de ins-trumentación, con objeto de comparar sus resultados con los ocurridos en la realidad.

R E F E R E N C I A S

- 1.- ARTICULO DEL MAESTRO EN INGENIERIA AGUSTIN DEMENEGHI COLINA, PRESENTADO EN LA X REUNION DE LA SOCIEDAD MEXICANA DE MECANICA DE SUELOS. EFECTUADA EN MORELIA, MICHOACAN. 1980.  
(TEMAS 2 Y 4)
- 2.- COMUNICACION PERSONAL CON EL M. EN I. AGUSTIN DEMENEGHI COLINA, PROFESOR DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA -- UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.  
(TEMAS 3 Y 4)
- 3.- FOUNDATION ENGINEERING FOR DIFFICULT SUBSOIL CONDITIONS. AUTOR LEONARDO ZEEVAERT W.  
(TEMA 3)
- 4.- ANALISIS ESTRUCTURAL. RODOLFO LUTHE GARCIA REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERIA. MEXICO D.F. 1976  
(TEMA 2)
- 5.- FORTRAN IV ELLIOT I. ORGANICK EDITORIAL FONDO EDUCATIVO INTERAMERICANO MEXICO D.F. 1972  
(TEMA 5)

6.- ALGEBRA LINEAL Y SUS APLICACIONES,  
GILBERT STRANG.  
FONDO EDUCATIVO INTERAMERICANO  
(TEMA 5)