

Grupo de pilotes en un medio elástico, con un eje de simetría, bajo carga vertical^(*)

Por J. L. JUSTO ALPAÑES

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Catedrático de Universidad - Director.

I. JIMENEZ AGUILAR

Arquitecto.

A. JARAMILLO MORILLA

Profesor Titular. Departamento de Mecánica de Medios Continuos. Universidad de Sevilla.

Se desarrollan métodos y programas, que se pueden rodar en una calculadora de bolsillo o PC, para hallar los movimientos y distribución de cargas de un grupo de pilotes con un eje de simetría, con o sin simetría de cargas, sobre un medio elástico, articulados al encepado.

Vemos que la existencia de simetría permite simplificar la entrada de datos y/o reducir el orden de la matriz de forma importante.

Se desarrollan varios ejemplos para comparar unos programas con otros o con métodos sencillos para hallar la distribución de la carga entre los pilotes del grupo.

1. INTRODUCCION

Justo (1991 a y b) ha presentado una solución matricial y sendos programas para el cálculo de pilotes bajo carga vertical y momentos de eje horizontal sobre un medio elástico, articulados al encepado.

El primer programa (Justo, 1991 a) parte, como dato, de los coeficientes de interacción que hay que hallar para cada pareja de pilotes. Para un grupo de n pilotes esto supone introducir n $(n - 1)/2$ coeficientes, cada uno de los cuales puede exigir varias interpolaciones, además de las coordenadas de los n puntos y las cargas. Muchos de los coeficientes se pueden repetir, por corresponder a una misma distancia entre pilotes, pero hay que introducirlos por separado.

Por este motivo este procedimiento sólo es práctico para un grupo reducido de pilotes, pues en otro caso dificulta efectuar tanteos, por ejemplo con distancias distintas entre ejes.

Por este motivo Justo (1991 b) sugiere encontrar previamente la función:

$$\alpha = \alpha(s/d) \quad (1)$$

siendo:

α = coeficiente de interacción.

s = separación entre pilotes.

d = diámetro del pilote.

Si la función se obtiene a partir de los gráficos de Poulos y Davis (1980), se recomienda obtener dicha función mediante cinco puntos (figura 1).

Se introducen las coordenadas de los n pilotes y se obtienen, mediante un programa, los coeficientes a partir de las distancias entre pilotes.

En este caso los datos de entrada son los cinco

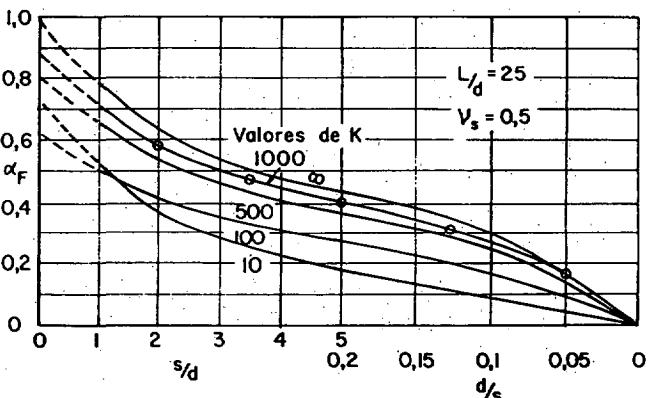


Figura 1. Coeficientes de interacción para pilotes flotantes y $L/d = 25$ (Poulos y Mattes, 1969).

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo que podrán remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de diciembre de 1991.

puntos que definen la función (1), las coordenadas de los n puntos, las cargas y el diámetro de los pilotes.

Si la separación entre pilotes contiguos es un dato fijo, a partir de 4 pilotes el número de coeficientes que hay que introducir con el primer programa es superior a 5, aunque ya hemos señalado que algunos se pueden repetir, por corresponder a distancias iguales entre pilotes.

En ambos casos, la solución matricial corresponde a una matriz cuadrada de orden $n + 3$.

Es evidente que si existe alguna forma de simplificar la entrada de datos, o de reducir el orden de la matriz, debe intentarse.

Téngase en cuenta, además, que este estudio que estamos realizando será utilizado en próximos artículos para resolver problemas más complicados, como sucede cuando existen fuerzas horizontales, los pilotes están empotados al encepado o hay pilotes inclinados.

Vamos a ver que esta simplificación es posible cuando el grupo de pilotes tiene un eje de simetría.

2. SOLUCION GENERAL

Tenemos un grupo de pilotes (fig. 2). Escogemos como origen de coordenadas el centro de gravedad de las secciones de los pilotes, y como ejes (x , y) los principales de inercia. Si existe un eje de simetría es evidente que éste será uno de

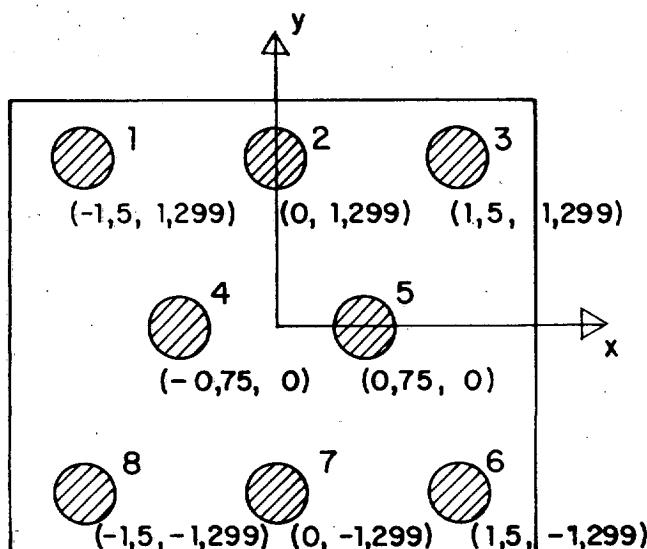


Figura 2. Grupo de pilotes, ejes principales y coordenadas de los centros de los pilotes.

los ejes principales de inercia, y el otro el perpendicular a él que pase por el centro de gravedad.

Suponemos el grupo de pilotes sometido, respecto a estos ejes, a una carga vertical, P , y a dos momentos:

M_x = momento respecto al eje y . Positivo si origina compresiones para x positivo.

M_y = momento respecto al eje x . Positivo si origina compresiones para y positivo.

Al estar los pilotes articulados al encepado no pueden aparecer momentos en sus cabezas.

Tampoco aparecen fuerzas horizontales.

Justo (1991 a) demuestra que se llega a un sistema de $n+3$ ecuaciones con $n+3$ incógnitas (Q_i , a , b y c):

$$\left. \begin{aligned} Q_1 + \alpha_{12}Q_2 + \dots + \alpha_{1n}Q_n - x_1a - y_1b - c &= 0 \\ \alpha_{21}Q_1 + Q_2 + \dots + \alpha_{2n}Q_n - x_2a - y_2b - c &= 0 \\ &\dots \\ &\dots \\ \alpha_{n1}Q_1 + \alpha_{n2}Q_2 + \dots + Q_n + x_na - y_nb - c &= 0 \\ -x_1Q_1 - x_2Q_2 - \dots - x_nQ_n + 0.a + 0.b + 0.c &= -M_x \\ -y_1Q_1 - y_2Q_2 - \dots - y_nQ_n + 0.a + 0.b + 0.c &= -M_y \\ -Q_1 - Q_2 - \dots - Q_n + 0.a + 0.b + 0.c &= -P \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

siendo:

$\alpha_{ij} = \alpha_{ji}$ $i \neq j$ los coeficientes de interacción (v. fig. 1).

Q_i = carga del pilote i .

El asiento del pilote i es:

$$s_i = s_1(ax_i + by_i + c)$$

siendo:

s_1 = asiento de un pilote bajo carga unitaria.

3. GRUPOS DE PILOTES CON UN EJE DE SIMETRIA

Es muy frecuente que los grupos de pilotes tengan, al menos, un eje de simetría (fig. 2).

Hacemos coincidir el eje de simetría con el eje x .

Se numeran los pilotes de izquierda a derecha y de arriba abajo hasta el eje de simetría inclusive.

A partir de dicho eje se numeran de derecha a izquierda y de arriba abajo (fig. 2).

Sean n_1 el número de la mitad de los pilotes que tienen simétrico (tres en la figura 2), y sea n_2 el número de pilotes situados en el eje de simetría.

De este modo son simétricos los pilotes i y $n - i + 1$, que no están situados en el eje de simetría.

En el programa desarrollado por Justo (1991 b) se introducen, como dato, las coordenadas de los centros de los pilotes, mediante una matriz de $(2n_1 + n_2)$ filas y 2 columnas.

$$[x_i \ y_i]_{2n_1 + n_2}^2 = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 \\ \vdots & \vdots \\ x_{n_1} & y_{n_1} \\ x_{n_1 + 1} & y_{n_1 + 1} \\ \vdots & \vdots \\ x_{n_1 + n_2} & y_{n_1 + n_2} \\ x_{n_1} & -y_{n_1} \\ x_1 & -y_1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

En realidad, sólo sería necesario introducir las coordenadas de los $n_1 + n_2$ primeros pilotes, pues los n_1 restantes se pueden obtener a partir de los primeros n_1 .

La matriz correspondiente de $n_1 + n_2$ filas y 2 columnas será:

$$[x_i \ y_i]_{2n_1 + n_2}^2 = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 \\ \vdots & \vdots \\ x_{n_1} & y_{n_1} \\ x_{n_1 + 1} & y_{n_1 + 1} \\ \vdots & \vdots \\ x_{n_1 + n_2} & y_{n_1 + n_2} \end{pmatrix} \quad (5)$$

En el apéndice nº 1 se desarrolla un programa para obtener la matriz (4) a partir de la (5).

4. GRUPO DE PILOTES SIMETRICOS BAJO CARGA SIMETRICA

Si además de ser simétrico el grupo de pilotes respecto al eje x, está sometido sólo a una carga vertical P y a un momento respecto al eje y (M_x), es evidente que tanto la carga como el asiento de cada dos pilotes simétricos son idénticos, por lo cual podremos reducir el número de ecuaciones y el de incógnitas desde $2n_1 + n_2 + 3$ hasta $N + 2$ (siendo $N = n_1 + n_2$), pues además

sólo existirá giro respecto al eje y, pero no respecto al eje x.

Con ello, para la figura 2, el sistema correspondiente de ecuaciones (multiplicando las tres primeras ecuaciones por 2) se muestra en la figura 3.

En un caso genérico, este sistema, puesto en forma matricial, será:

$$[\zeta_{ij}]_{N+3} \ (Q_j)_{N+3} = (F_i)_{N+3}$$

cuya solución es:

$$(Q_j) = \frac{(F_i)}{[\zeta_{ij}]}$$

siendo:

$$\begin{aligned} N &= n_1 + n_2 \\ \zeta_{ii} &= 2(1 + \alpha_{i,n} - i + 1) & i \leq n_1 \\ \zeta_{jj} &= 2(\alpha_{ij} + \alpha_{i,n} - j + 1) & i \leq n_1 \quad j \leq n_1 \quad i \neq j \\ \zeta_{ij} &= 2\alpha_{ij} & n_1 < i < N \quad n_1 \leq j \leq N \quad i \neq j \\ \zeta_{ii} &= \alpha_{ii} & n_1 < i < N \\ \zeta_{ii} &= 1 & n_1 < i < N \\ \zeta_{ij} &= -2x_j & i > N \quad j \leq n_1 \\ \zeta_{ij} &= -x_j & i > N \quad n_1 < j \leq N \\ \zeta_{ij} &= 0 & i > N \quad j > N \end{aligned}$$

$$(Q_j) = \begin{pmatrix} Q_1 \\ \vdots \\ Q_N \\ a \\ c \end{pmatrix} \quad (7) \quad (F_i) = \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ -M_x \\ -P \end{pmatrix} \quad (8)$$

Los valores de ζ_{ij} indicados con anterioridad nos permiten construir, en la matriz $[\zeta_{ij}]$, desde la diagonal principal hacia abajo. Por otro lado la matriz es simétrica (v. fig. 3).

En los apéndices nº 2 y 3 se adjuntan sendos programas para resolver la ecuación (6).

5. EJEMPLOS

En primer lugar vamos a resolver el grupo de pilotes de la figura 2, para:

$$\begin{aligned} L &= 12,5 \text{ m} \\ d &= 0,5 \text{ m} \\ s &= 1,5 \text{ m} \\ E_s &= 2000 \text{ t/m}^2 \\ v_s &= 0,5 \\ E_p &= 2 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

GRUPO DE PILOTES EN UN MEDIO ELASTICO CON UN EJE DE SIMETRIA BAJO CARGA VERTICAL

$$2(1 + \alpha_{18})Q_1 + 2(\alpha_{12} + \alpha_{17})Q_2 + 2(\alpha_{13} + \alpha_{16})Q_3 + 2\alpha_{14}Q_4 + 2\alpha_{15}Q_5 - 2x_1a - 2c = 0$$

$$2(\alpha_{21} + \alpha_{28})Q_1 + 2(1 + \alpha_{27})Q_2 + 2(\alpha_{23} + \alpha_{26})Q_3 + 2\alpha_{24}Q_4 + 2\alpha_{25}Q_5 - 2x_2a - 2c = 0$$

$$2(\alpha_{31} + \alpha_{38})Q_1 + 2(\alpha_{32} + \alpha_{37})Q_2 + 2(1 + \alpha_{36})Q_3 + 2\alpha_{34}Q_4 + 2\alpha_{35}Q_5 - 2x_3a - 2c = 0$$

$$2\alpha_{41}Q_1 + 2\alpha_{42}Q_2 + 2\alpha_{43}Q_3 + 2\frac{1}{2}Q_4 + 2\alpha_{45}Q_5 - x_4a - c = 0$$

$$2\alpha_{51}Q_1 + 2\alpha_{52}Q_2 + 2\alpha_{53}Q_3 + 2\alpha_{54}Q_4 + 2\frac{1}{2}Q_5 - x_5a - c = 0$$

$$-2x_1Q_1 - 2x_2Q_2 - 2x_3Q_3 - x_4Q_4 - x_5Q_5 - 0a - 0c = -M_x$$

$$-2Q_1 - 2Q_2 - 2Q_3 - Q_4 - Q_5 - 0a - 0c = -P$$

Figura 3. Sistema de $N + 2$ ecuaciones correspondientes a la figura 2, con simetría geométrica y de cargas.

$$K = \frac{E_p \times R_A}{E_s} = 1000$$

$$\frac{s}{d} = 3$$

$$\frac{L}{d} = 25$$

Utilizamos el gráfico de la figura 1.

Las cargas son:

$$P = 150 \text{ t}$$

$$M_x = 15 \text{ mt}$$

$$M_y = 0$$

Utilizamos para los coeficientes de interacción el gráfico de la figura 1.

Utilizamos el programa de Justo (1991 b) con las modificaciones indicadas en el apéndice nº 1.

Se introducen las coordenadas de los puntos señalados en la figura 1:

$$SD1 = \begin{bmatrix} 2 \\ 3,5 \\ 5 \end{bmatrix}$$

$$AL1 = \begin{bmatrix} 0,580 \\ 0,468 \\ 0,403 \end{bmatrix}$$

$$SD2 = \begin{bmatrix} 0,05 \\ 0,125 \\ 0,2 \end{bmatrix} \quad AL2 = \begin{bmatrix} 0,162 \\ 0,318 \\ 0,403 \end{bmatrix}$$

Introducimos las coordenadas de los N primeros pilotes:

$$XYR = \begin{bmatrix} -1,5 & 1,299 \\ 0 & 1,299 \\ 1,5 & 1,299 \\ -0,75 & 0 \\ 0,75 & 0 \end{bmatrix}$$

Ejecutamos en primer lugar el programa XYCO (v. apéndice nº 1) y a continuación el programa de Justo (1991 b).

Se introducen:

$$8 \text{ en 'N'} \quad 0,5 \text{ en 'D'}$$

La tabla I compara los resultados para los valores de α de la figura 1 y para $\alpha = 0$, es decir cuando no hay interacción, que corresponde a los resultados obtenidos mediante la fórmula:

$$Q_i = \frac{M_x x_i}{\sum_{i=1}^n x_i} + \frac{P}{n}$$

Vemos que cuando hay interacción la carga del pilote más cargado es mayor y la del menos cargado es menor. Esto no quiere decir que el diseño al considerar la interacción tenga que ser más caro, ya que las cargas de la tabla I corresponden a régimen elástico.

En cualquier caso conviene advertir que la figura 1 corresponde a una interacción muy fuerte (pilotes flotantes en medio homogéneo).

Consideremos ahora el caso de la figura 4. Vamos a resolverlo para los siguientes casos:

1. Para la interacción de la figura 1 con el programa de Justo (1991 a).

2. Idem con el programa de Justo (1991 b) y la modificación del apéndice nº 1.

3. Con un coeficiente de interacción $\alpha = 0,048$, que corresponde a pilotes en el mismo suelo, pero apoyados en un estrato rígido (v. fig. 4), con el programa de Justo (1991 a).

4. Idem con el programa del apéndice nº 2.

5. Idem con el programa del apéndice nº 3.

6. Con $\alpha = 0$.

Los resultados se comparan en la tabla II.

Caso 1.

Hay que introducir los siguientes datos:

$$(V) = \begin{pmatrix} 0,494 \\ 0,494 \\ 0,494 \\ 0,433 \\ -0,866 \\ 0,433 \\ -0,75 \\ 0 \\ 0,75 \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} M_x &= 15 \text{ mt} \\ M_y &= 0 \\ P &= 150 \text{ mt} \\ n &= 3 \end{aligned}$$

Caso 2.

Datos:

$$SD1 = \begin{pmatrix} 2 \\ 3,5 \\ 5 \end{pmatrix} \quad AL1 = \begin{pmatrix} 0,580 \\ 0,468 \\ 0,403 \end{pmatrix}$$

$$XYR = \begin{pmatrix} -0,433 & 0,75 \\ 0,866 & 0 \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} M_x &= 15 \text{ mt} \\ M_y &= 0 \\ P &= 150 \text{ mt} \\ n_1 &= 1 \\ n_2 &= 1 \\ d &= 0,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Hay que ejecutar primero XYCO y luego GRV.

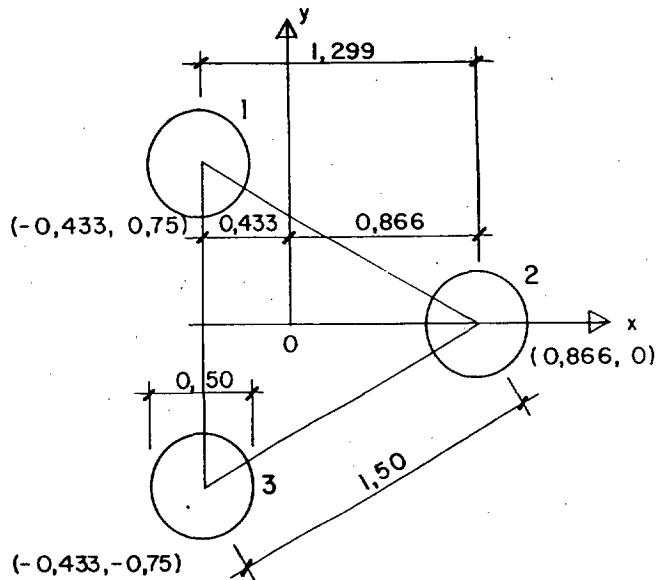


Figura 4. Grupo de tres pilotes.

Tabla I

Comparación de resultados para los coeficientes de interacción de la figura 1 y para interacción nula.

Q(t)	α	
	fig. 1	$\alpha = 0$
Q ₁	23,097	16,528
Q ₂	14,813	18,750
Q ₃	27,719	20,972
Q ₄	10,129	19,861
Q ₅	8,613	17,639
a(1/m)	1,136	1,481
c	74,495	18,750

Tabla II

Solución para la figura 4, con diversos valores de la interacción o programas.

	Caso					
	1	2	3	4	5	6
Q ₁ (t)	44,226	44,226	44,226	44,226	44,226	44,226
Q ₂ (t)	61,547	61,547	61,547	61,547	61,547	61,547
a(1/m)	6,747	6,666	12,694	12,694	12,694	13,334
c	99,400	100,011	54,800	54,800	54,800	50,000

Caso 3.

Datos:

$$(V) = \begin{bmatrix} 0,048 \\ 0,048 \\ 0,048 \\ 0,433 \\ -0,866 \\ 0,433 \\ -0,75 \\ 0 \\ 0,75 \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} M_x &= 15 \text{ mt} \\ M_y &= 0 \\ P &= 150 \text{ mt} \\ n &= 3 \end{aligned}$$

Caso 4.

Datos:

$$V = \begin{bmatrix} 1,048 \\ 0,096 \\ 0,5 \end{bmatrix} \quad XN1 = (-0,433) \quad XN2 = (0,866)$$

$$\begin{aligned} M_x &= 15 \text{ mt} \\ P &= 150 \text{ t} \\ n_1 &= n_2 = 1 \end{aligned}$$

Caso 5.

El listado con los datos de entrada y salida se incluye en el apéndice nº 3.

Caso 6.

Datos:

como en el caso 4, excepto:

$$V = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0,5 \end{bmatrix}$$

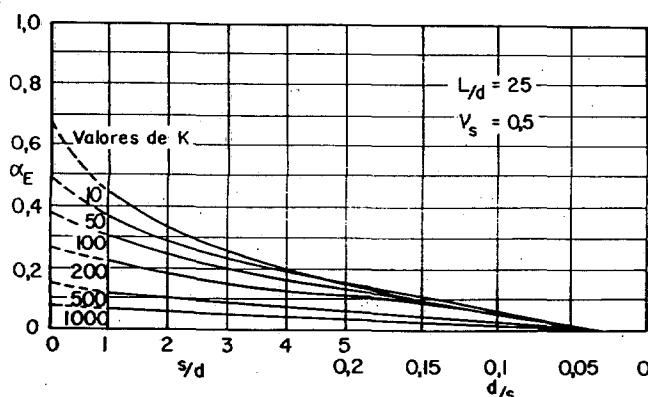


Figura 5. Coeficientes de interacción para pilotes que descanzan en un estrato rígido y $L/d = 25$ (Poulos y Mattes, 1969).

Vemos que en este caso (para $n = 3$) las cargas de los pilotes son iguales en todos los casos por las razones indicadas por Justo (1991 a). Vemos que esto no sucede, ni mucho menos en el caso de la figura 2.

El método de cálculo apenas influye en los coeficientes de deformación a y c (compárense los casos 1 y 2, por un lado, y 3, 4 y 5 por otro). El grado de interacción sí influye en estos coeficientes.

APENDICE N° 1

Programa para obtener la matriz (4) a partir de la (5), realizado en una calculadora HP 28S.

Se almacenan:

n_1 en 'N1'
 n_2 en 'N2'
 $[x_i y_i]^{2n_1 + n_2}$ en 'XYR'

Programa principal

```

«XYR      DUP
N1        I
2*        J
N2        2
+
DUP      → LIST
'N'STO   GET
2        I
2        SIM
2        J
→ LIST   2
RDM      → LIST
'XY'STO  SWAP
1        1.5
'J'STO   J-
DO       SIGN
N1       *
'TSTO   PUT
DO       I
'XY'    1-
'TSTO   'J'STO
UNTIL  UNTIL
I        J
0        3 SAME
SAME
END
1
J+

```

Subprograma SIM

Transforma un índice de la pila en su simétrico.

«NEG
N+
1 +»
ENTER
'SIM STO

APENDICE N° 2

Programa para resolver la ecuación (6) en una calculadora HP 28S.

Se almacenan:

P en 'P'
M_x en 'MX'
n₁ en 'N1'
n₂ en 'N2'

$$\begin{bmatrix} 1/2\zeta_{11} \\ \zeta_{21} \\ 1/2\zeta_{22} \\ \vdots \\ \zeta_{N1} \\ \vdots \\ 1/2\zeta_{NN} \end{bmatrix} \text{ en } 'V'$$

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_{n_1} \end{bmatrix} \text{ en } 'XN1'$$

$$\begin{bmatrix} X_{n_1+1} \\ \vdots \\ x_N \end{bmatrix} \text{ en } 'XN2'$$

«CLEAR
V
ARRY→
DROP
XN1
2*

DROP
XN2
NEG
ARRY→
DROP
0 SPACE

NEG
ARRY→
→ LIST
2 NEG
CON
ARRY→
DROP
N2
1
→ LIST
1 NEG
CON
ARRY→
DROP
0
DUP
N1
N2
+
DUP
'N' STO
2+
DUP
2
→ LIST
0
CON
1
'T' STO
DO
+
1/x
DUP
'INVAL' STO
N
1
→ LIST
0 CON
ARRY→
DROP
MX
NEG
P
EN DIRECTORIO GSI

N1
1
I
1
2
→ LIST
DO
DEPTH
ROLL
PUT I
UNTIL
DUP
LIST→
DROP
OVER >
SWAP 1
SAME OR
END
DROP
I
1+
DUP
'T' STO
UNTIL
N
3+
SAME
END
DUP
TRN
NEG
N
2+
1
→ LIST
→ ARRY
DUP
'F' STO
*
'Q' STO»
ENTER
'VERT STO

APENDICE N° 3

Programa para resolver la ecuación (6) realizado en lenguaje Quickbasic para implementar en un PC.

```

        IF j > i THEN GOTO 2
        PRINT "VALOR DE ALPHA"; i; j; "    o ALPHA"; j; i,
        INPUT "", A(i, j)
1      A(j, i) = A(i, j)
2
NEXT j
        NEXT i

REM          *COMPOSICION DE LA MATRIZ B*
FOR i = 1 TO N
        FOR j = 1 TO N
            IF i = j AND j > N1 THEN B(i, j) = 1: GOTO 10
            IF i = j THEN B(i, j) = 2 * (1 + A(i, NP - (i - 1))): GOTO 10
            IF j > i GOTO 20
            IF i > N1 AND j > N1 THEN B(i, j) = (A(i, j)): GOTO 10
            IF i > N1 THEN B(i, j) = 2 * (A(i, j))
            IF i <= N1 THEN B(i, j) = 2 * ((A(i, j)) + (A(i, NP - (j - 1))
10          B(j, i) = B(i, j)
20          IF j > N1 THEN B(N + 1, j) = -z(j)
            IF j > N1 THEN B(N + 2, j) = -1
            IF j <= N1 THEN B(N + 1, j) = -(2 * z(j))
            IF j <= N1 THEN B(N + 2, j) = -2

        NEXT j
        NEXT i
        B(N + 1, N + 1) = 0
        B(N + 2, N + 2) = 0
        B(N + 1, N + 2) = 0
        B(N + 2, N + 1) = 0

FOR i = 1 TO N
        IF i > N1 THEN B(i, N + 1) = -z(i)
        IF i <= N1 THEN B(i, N + 1) = -(2 * z(i))
        IF i > N1 THEN B(i, N + 2) = -1
        IF i <= N1 THEN B(i, N + 2) = -2
NEXT i

PRINT
PRINT
LPRINT
LPRINT
LPRINT
PRINT "NUMERO DE PILOTES = ", NP
LPRINT
LPRINT
LPRINT "          COMPOSICION DE LA MATRIZ B"
PRINT
PRINT
PRINT "          COMPOSICION DE LA MATRIZ B"
PRINT
PRINT
LPRINT
PRINT
LPRINT
PRINT

LPRINT
        FOR i = 1 TO N + 2
        FOR j = 1 TO N + 2
        PRINT USING "#####.###"; B(i, j);
        LPRINT USING "#####.###"; B(i, j);

```

GRUPO DE PILOTES EN UN MEDIO ELASTICO CON UN EJE DE SIMETRIA BAJO CARGA VERTICAL

```

NEXT j
LPRINT
PRINT
NEXT i
REM *COMPOSICION DEL VECTOR Q*
LPRINT
LPRINT
LPRINT
LPRINT
PRINT
PRINT

INPUT "MOMENTO SOBRE EL EJE Y = ", mom
Q(N + 1) = -mom
INPUT "CARGA VERTICAL           = ", car
Q(N + 2) = -car

PRINT
PRINT
LPRINT
LPRINT
PRINT "           VECTOR F"
PRINT
LPRINT "           VECTOR F"
LPRINT

FOR i = 1 TO N + 2
PRINT USING "#####.####"; Q(i);
LPRINT USING "#####.####"; Q(i);
NEXT i

LPRINT
LPRINT
PRINT
PRINT
PRINT
PRINT
LPRINT
INPUT "           PULSA UNA TECLA PARA CONTINUAR", INMA
CLS
PRINT
PRINT
AA = MatSEqnS%(B(), Q())
PRINT " -----
PRINT "           CALCULO DE UN GRUPO DE PILOTES SOMETIDO A CARGA VERTICAL Y UN MOME
PRINT " -----
PRINT
LPRINT
LPRINT
LPRINT
LPRINT
LPRINT "           *****           RESULTADOS DE CALCULO           ***** "
LPRINT " -----
LPRINT
LPRINT
LPRINT
LPRINT
PRINT
PRINT

FOR i = 1 TO N
PRINT "           CARGA PILOTE "; i; " = "; Q(i);
LPRINT "           CARGA PILOTE "; i; " = "; Q(i);
NEXT i

LPRINT

```

GRUPO DE PILOTES EN UN MEDIO ELASTICO CON UN EJE DE SIMETRIA BAJO CARGA VERTICAL

```
PRINT
PRINT
PRINT "                               VALOR DE A = "; Q(N + 1)
PRINT "                               VALOR DE C = "; Q(N + 2)
PRINT
LPRINT "                               VALOR DE A = "; Q(N + 1)
LPRINT "                               VALOR DE C = "; Q(N + 2)
LPRINT
LPRINT
LPRINT
PRINT
PRINT
PRINT
PRINT "                               PULSA UNA TECLA PARA FINALIZAR"
END
```

```
FUNCTION matbsS% (A() AS SINGLE, B() AS SINGLE, x() AS SINGLE)
'ON LOCAL ERROR GOTO sbsexit: matbsS% = 0
FOR pvt% = lo TO (up - 1)
    c% = cpvt(pvt%)
    FOR row% = (pvt% + 1) TO up
        R% = rpvt(row%)
        B(R%) = B(R%) + A(R%, c%) * B(rpvt(pvt%))
    NEXT row%
NEXT pvt%
FOR row% = up TO lo STEP -1
    c% = cpvt(row%)
    R% = rpvt(row%)
    x(c%) = B(R%)
    FOR col% = (row% + 1) TO up
        x(c%) = x(c%) - A(R%, cpvt(col%)) * x(cpvt(col%))
    NEXT col%
    x(c%) = x(c%) / A(R%, c%)
NEXT row%
sbsexit:
EXIT FUNCTION
sbsexit:
    matbsS% = ERR
    ' RESUME sbsexit
END FUNCTION
```

```
'FUNCTION matluS% (A() AS SINGLE)
'ON LOCAL ERROR GOTO sluerr: errcode% = 0
IF NOT (lo = LBOUND(A, 2) AND up = UBOUND(A, 2)) THEN ERROR 198
DIM rownorm(lo TO up) AS SINGLE
count = 0
continue = -1
FOR row% = lo TO up
    rpvt(row%) = row%
    cpvt(row%) = row%
    rownorm(row%) = 0!
    FOR col% = lo TO up
        rownorm(row%) = rownorm(row%) + ABS(A(row%, col%))
    NEXT col%
    IF rownorm(row%) = 0! THEN
        continue = 0
        PRINT "      ERROR 199 "
    END IF
```

```

NEXT row%
FOR pvt% = 1o TO (up - 1)
    max! = 0!
    FOR row% = pvt% TO up
        R% = rpvt(row%)
        FOR col% = pvt% TO up
            c% = cpvt(col%)
            temp! = ABS(A(R%, c%)) / rrownorm(R%)
            IF temp! > max! THEN
                max! = temp!
                bestrow% = row%
                bestcol% = col%
            END IF
        NEXT col%
    NEXT row%
    IF max! = 0! THEN
        continue = 0
        ERROR 199
    ELSEIF pvt% > 1 THEN

        IF max! < (seps! * oldmax!) THEN errcode% = 199
    END IF
    oldmax! = max!
    IF rpvt(pvt%) <> rpvt(bestrow%) THEN
        count = count + 1
        SWAP rpvt(pvt%), rpvt(bestrow%)
    END IF
    IF cpvt(pvt%) <> cpvt(bestcol%) THEN
        count = count + 1
        SWAP cpvt(pvt%), cpvt(bestcol%)
    END IF
    rp% = rpvt(pvt%)
    cp% = cpvt(pvt%)
    FOR row% = (pvt% + 1) TO up
        R% = rpvt(row%)
        A(R%, cp%) = -A(R%, cp%) / A(rp%, cp%)
        FOR col% = (pvt% + 1) TO up
            c% = cpvt(col%)
            A(R%, c%) = A(R%, c%) + A(R%, cp%) * A(rp%, c%)
        NEXT col%
    NEXT row%
NEXT pvt%
IF A(rpvt(up), cpvt(up)) = 0! THEN
    continue = 0

    ERROR 199
ELSEIF (ABS(A(rpvt(up), cpvt(up))) / rrownorm(rpvt(up))) < (seps! * oldmax!) THEN
    errcode% = 199
END IF
IF errcode% THEN ERROR errcode%
sluexit:
matlus% = errcode%
EXIT FUNCTION
sluerr:
    errcode% = ERR
    IF errcode% < 199 THEN continue = 0

```

```

' RESUME sseqnexit
END FUNCTION

FUNCTION MatSEqnS% (A() AS SINGLE, B() AS SINGLE)
'ON LOCAL ERROR GOTO sseqnerr: errcode% = 0
lo = LBOUND(A, 1)
up = UBOUND(A, 1)
DIM x(lo TO up) AS SINGLE
REDIM rpvt(lo TO up) AS INTEGER, cpvt(lo TO up) AS INTEGER
errcode% = matlus%(A())
IF NOT continue THEN ERROR errcode%
IF (lo <> LBOUND(B)) OR (up <> UBOUND(B)) THEN ERROR 197
bserrcode% = matbsS%(A(), B(), x())
IF bserrcode% THEN ERROR bserrcode%
FOR row% = lo TO up
    B(row%) = x(row%)
NEXT row%
IF errcode% THEN ERROR errcode%
sseqnexit:
ERASE x, rpvt, cpvt
MatSEqnS% = errcode%
EXIT FUNCTION
sseqnerr:
errcode% = (ERR + 5) MOD 200 - 5

'RESUME sseqnexit
END FUNCTION

```

CÁLCULO DE UN GRUPO DE PILOTES SOMETIDO A CARGA VERTICAL Y UN MOMENTO

NUMERO DE PILOTES = 3

PILOTES EN EL EJE DE SIMETRIA = 1

DISTANCIA X DESDE EL PUNTO DE APLIC. DE LAS CARGAS AL EJE DEL PILOTE 1 =-.433.

DISTANCIA X DESDE EL PUNTO DE APLIC. DE LAS CARGAS AL EJE DEL PILOTE 2 = .866

COMPOSICIÓN DE LA MATRIZ B

2.096	0.096	0.866	-2.000
0.096	1.000	-0.866	-1.000
0.866	-0.866	0.000	0.000
-2.000	-1.000	0.000	0.000

VECTOR F

0.0000 0.0000 -15.0000 -150.0000

RESULTADOS DE CALCULO

CARGA PILOTE 1 = 44.22633
CARGA PILOTE 2 = 61.54734

VALOR DE A = 12.69408
VALOR DE C = 54.8

BIBLIOGRAFIA

JUSTO, J.L.: "Grupo de pilotes verticales, articulados al encepado bajo carga vertical". Enviado para su publicación a las revistas "Ingeniería Civil" y "Boletín de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo", 1991 a.

JUSTO, J.L.: "Un programa para el cálculo de pilotes verticales sobre un medio elástico". "Revista de Obras Públicas", 1991 b.

POULOS, H.G., Y DAVIS, E.H.: "Pile Foundation Analysis and Design". Wiley, 1980.

