



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA

DEPARTAMENTOS DE ESTRUCTURAS Y GEOTECNIA



PROGRAMA DE CÓMPUTO PARA REALIZAR ANÁLISIS DE INTERACCIÓN SUELO-
ESTRUCTURA ESTÁTICA **ISE3D**

SOFTWARE DESARROLLADO POR:
M. I. HÉCTOR SANGINÉS GARCÍA
DR. ARMANDO RAFAEL HERMOSILLO ARTEAGA

PROYECTO DESARROLLADO CON EL APOYO DE LA DGAPA DE LA UNAM, A TRAVÉS DEL
PROYECTO PAPIME<PE108522>

Coordinadores

M. I. Héctor Sanginés García. Departamento de Geotecnia

Dr. Armando Rafael Hermosillo Arteaga. Departamento de Estructuras

Participantes del Proyecto:

M. I. Agustín Demeneghi Colina

M. I. Octavio García Domínguez

M. I. Héctor Guzmán Olguín

M. I. Norma Legorreta Linares

M. I. José A. Pérez Pontón

M. I. Margarita Puebla Cadena

M. I. Juan L. Umaña Romero

ÍNDICE DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL	2
2.1	Barra de cimentación	4
3.	ESTIMACIÓN DE LOS INCREMENTOS DE ESFUERZOS EN EL SUELO	5
4.	CÁLCULO DE DEFORMACIONES DEL SUELO	6
4.1	Ecuación lineal de deformaciones	6
4.2	Cálculo de deformaciones de un suelo friccionante con una ecuación de comportamiento no lineal (Deméneghi, 2008)	6
4.3	Cálculo de asentamientos a largo plazo	8
4.4	Estimación de los módulos de rigidez de campo	8
5.	SISTEMA DE ECUACIONES AMPLIADO	9
6.	IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA ISE3D	10
6.1	Programa de interacción suelo estructura tridimensional ISE3D	11
7.	PREPARACIÓN DE DATOS	15
7.1	Marco bidimensional con zapatas aisladas	15
7.1.1	Llenado de archivo de datos	16
7.1.2	Resultados obtenidos	16
7.2	Sistema de zapatas corridas	19
7.2.1	Idealización del modelo numérico	19
7.2.2	Llenado de archivo de datos	20
7.2.3	Resultados obtenidos	21
7.3	Sistema de losa de cimentación	23
7.3.1	Idealización del modelo numérico	24
7.3.2	Llenado de archivo de datos	25
7.3.3	Resultados obtenidos	27
8.	EJECUCIÓN DEL PROGRAMA ISE3D	32
8.1	Ejecución del programa ISE3D	32
9.	REFERENCIAS	34

1 INTRODUCCIÓN

La interacción suelo-estructura (ISE) es aquella rama de la ingeniería que estudia las deformaciones del terreno de cimentación cuando éstas se ven afectadas por la presencia y rigidez de la estructura que sustenta. La influencia de la estructura puede darse en condiciones estáticas, lo cual es tratado por la interacción estática suelo-estructura, o puede ser en condiciones dinámicas, lo cual cae en el campo de la interacción dinámica suelo-estructura.

Se conocen como métodos de interacción estática suelo-estructura aquellos procedimientos que para el cálculo de las deformaciones del terreno de cimentación toman en cuenta la rigidez de la estructura. Todos estos métodos están basados en el principio de continuidad o compatibilidad de deformaciones entre el suelo y la estructura, es decir, se asume que en el contacto cimiento-terreno los desplazamientos, tanto en la subestructura como en el terreno, son los mismos, Figura 1.1.

En términos generales, el procedimiento de cálculo para la interacción suelo-estructura consiste en tres pasos: (a) se calculan los desplazamientos de la subestructura, (b) se calculan los desplazamientos del terreno de cimentación, y (c) se establece la compatibilidad de deformaciones entre estructura y suelo.

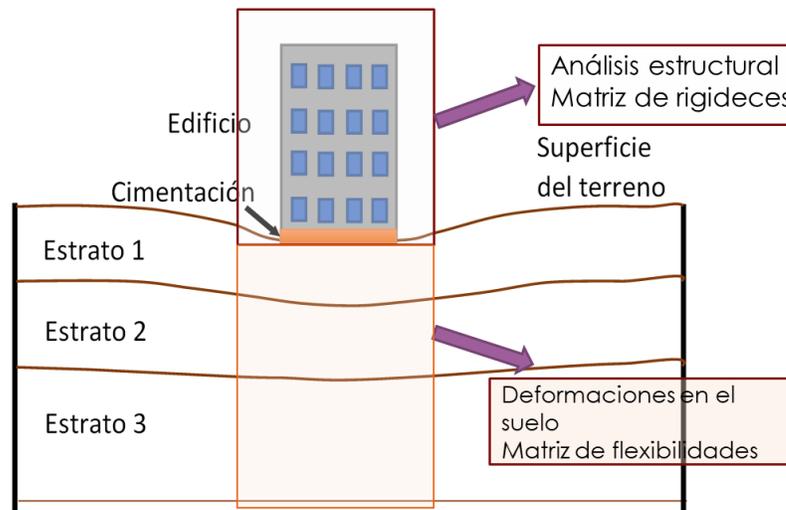


Figura 1.1. Compatibilidad de deformaciones

Pueden distinguirse dos clases de situaciones en relación con la interacción: (i) cuando los cimientos están suficientemente separados, de tal forma que la carga sobre un apoyo no ejerce influencia sobre los desplazamientos de los apoyos vecinos (este fenómeno se presenta usualmente en zapatas aisladas), y (ii) cuando se trata de un cimiento continuo donde el desplazamiento de un punto de dicho cimiento está afectado por la carga repartida en toda la subestructura (es el caso de zapatas corridas, losas y cajones de cimentación) (Demeneghi *et al.*, 2019).

Como referencia, en los artículos (Hermosillo *et al.*, 2018) y (Hermosillo *et al.*, 2019) se presentan análisis de interacción suelo-estructura de edificios con cimentación a base de zapatas corridas. Por otro lado, en

la referencia (Hermosillo *et al.*, 2016) y (Hermosillo *et al.*, 2020) se presenta un análisis de ISE de un edificio con una losa de cimentación, desplantado sobre un suelo friccionante. En dichos trabajos se utiliza la ecuación constitutiva no lineal para suelos friccionantes propuesta por Demeneghi (2008) para plantear la compatibilidad de deformaciones. Para la solución del sistema de ecuaciones no lineales resultante se emplean métodos numéricos, tales como el de Newton (Gerald y Wheatley, 2000). En el artículo (Hermosillo *et al.*, 2012) se presenta la implementación de dicho método para la solución del sistema de ecuaciones no lineales en el análisis de ISE para suelos friccionantes con comportamiento no lineal.

La solución del problema de interacción se realiza primero aplicando el método de rigideces para plantear los desplazamientos en la sub y superestructura, mientras que, para los desplazamientos en el suelo se plantea la matriz de flexibilidades utilizando los módulos de rigidez de los distintos estratos. La compatibilidad de deformaciones se realiza combinando las matrices de rigidez de la estructura y de flexibilidades del suelo, estimando los desplazamientos con la solución del sistema de ecuaciones ampliado.

2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El análisis estructural se realiza con el método de las rigideces, en el que se debe cumplir la siguiente igualdad:

$$\underline{K}\bar{\delta} + \bar{P}_e + \bar{P}_c = 0 \tag{2.1}$$

Donde

\underline{K} es la matriz de rigidez de la estructura

$\bar{\delta}$ es el vector de desplazamientos (grados de libertad)

\bar{P}_e es el vector de cargas de empotramiento

\bar{P}_c vector de cargas concentradas

La matriz de rigidez elemental de una barra puede consultarse en la referencia (Tena, 2007), la cual consta de 12GL (ver Figura 2.1), así como el ensamble de la matriz de rigidez total de todo el sistema.

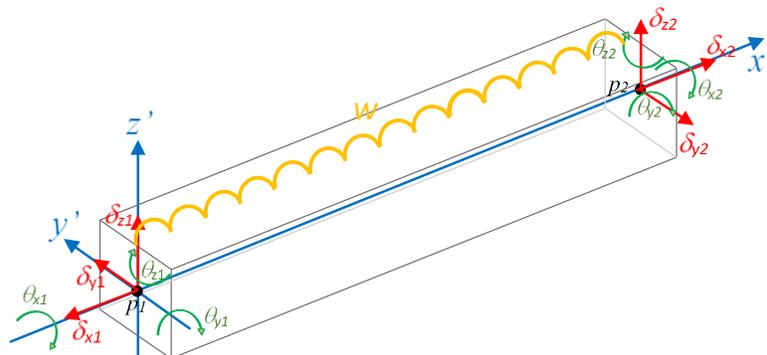


Figura 2.1. Cargas y desplazamientos considerados en una barra

$$\bar{\delta}'_m = \begin{bmatrix} \delta'_{x1} \\ \delta'_{y1} \\ \delta'_{z1} \\ \theta'_{x1} \\ \theta'_{y1} \\ \theta'_{z1} \\ \delta'_{x2} \\ \delta'_{y2} \\ \delta'_{z2} \\ \theta'_{x2} \\ \theta'_{y2} \\ \theta'_{z2} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

$$P_m^{e'} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ wL/2 \\ 0 \\ -wL^2/12 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ wL/2 \\ 0 \\ 0 \\ wL^2/12 \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

La matriz elemental para una barra tridimensional está definida como

$$[k'] = \begin{bmatrix} \delta'_{x1} & \delta'_{y1} & \delta'_{z1} & \theta'_{x1} & \theta'_{y1} & \theta'_{z1} & \delta'_{x2} & \delta'_{y2} & \delta'_{z2} & \theta'_{x2} & \theta'_{y2} & \theta'_{z2} \\ r_{ax} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -r_{ax} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & r_{aaz} & 0 & 0 & 0 & +r_{abz} & 0 & -r_{aaz} & 0 & 0 & 0 & +r_{baz} \\ & & r_{aay} & 0 & -r_{aby} & 0 & 0 & 0 & -r_{aay} & 0 & -r_{bay} & 0 \\ & & & r_j & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -r_j & 0 & 0 \\ & & & & r_{11y} & 0 & 0 & 0 & +r_{aby} & 0 & r_{12y} & 0 \\ & & & & & r_{11z} & 0 & -r_{abz} & 0 & 0 & 0 & r_{12z} \\ & & & & & & r_{ax} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & r_{aaz} & 0 & 0 & 0 & -r_{baz} \\ & & & & & & & & r_{aay} & 0 & +r_{bay} & 0 \\ & & & & & & & & & r_j & 0 & 0 \\ & & & & & & & & & & r_{22y} & 0 \\ & & & & & & & & & & & r_{22z} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Donde:

$$r_{ax} = \frac{EA}{L}$$

$$r_j = \frac{GJ}{L}$$

$$r_{aay} = \frac{12EI_y}{L^3}$$

$$r_{aby} = r_{bay} = \frac{6EI_y}{L^2}$$

$$r_{11y} = r_{22y} = \frac{4EI_y}{L}$$

$$r_{12y} = r_{21y} = \frac{2EI_y}{L}$$

$$r_{aaz} = \frac{12EI_z}{L^3}$$

$$r_{abz} = r_{baz} = \frac{6EI_z}{L^2}$$

$$r_{11z} = r_{22z} = \frac{4EI_z}{L}$$

$$r_{12z} = r_{21z} = \frac{2EI_z}{L}$$

2.1 Barra de cimentación

En una barra de cimentación, las cargas y desplazamientos considerados son los mostrados en la Figura 2.2 (Demeneghi *et al.*, 2018).

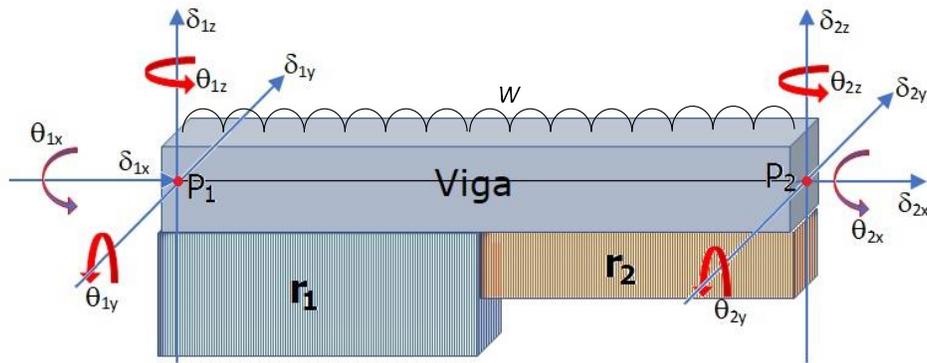


Figura 2.2. Desplazamientos, cargas y reacciones del suelo considerados en una barra de cimentación. r_1 y r_2 son las reacciones hipotéticas del suelo actuando sobre la barra de cimentación.

El vector de cargas de empotramiento en una barra de cimentación considera las reacciones del suelo, y queda definido como:

$$(p_m^e) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\frac{wL}{2} + \left(\frac{13}{32}\right)Lr_1 + \left(\frac{3}{32}\right)Lr_2 \\ 0 \\ -\frac{wL^2}{12} + \left(\frac{11}{192}\right)L^2r_1 + \left(\frac{5}{192}\right)L^2r_2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -\frac{wL}{2} + \left(\frac{3}{32}\right)Lr_1 + \left(\frac{13}{32}\right)Lr_2 \\ 0 \\ \frac{wL^2}{12} - \left(\frac{5}{192}\right)L^2r_1 - \left(\frac{11}{192}\right)L^2r_2 \\ 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta'_{x1} \\ \delta'_{y1} \\ \delta'_{z1} \\ \theta'_{x1} \\ \theta'_{y1} \\ \theta'_{z1} \\ \delta'_{x2} \\ \delta'_{y2} \\ \delta'_{z2} \\ \theta'_{x2} \\ \theta'_{y2} \\ L\theta'_{z2} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

El ensamble del sistema de ecuaciones, considerando las reacciones del suelo está definido por:

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} & P_{e11} & P_{e12} & \dots & P_{e1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} & P_{e21} & P_{e22} & \dots & P_{e2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} & P_{en1} & P_{en2} & \dots & P_{enn} \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \\ \delta_n \\ r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_2 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

El sistema no puede resolverse en su estado actual, pues se tienen más incógnitas que ecuaciones. Para resolver el problema, se emplean las ecuaciones de deformación en el suelo y éstas completan el sistema, ya que los esfuerzos en el suelo son a su vez función de las reacciones r_i .

Para más detalles del procedimiento de interacción suelo-estructura seguido pueden consultarse las referencias Hermsillo *et al.* (2016, 2018, 2019, 2020 y 2022).

3 ESTIMACIÓN DE LOS INCREMENTOS DE ESFUERZOS EN EL SUELO

Los incrementos de esfuerzo σ_x , σ_y y σ_z se calculan a partir de los valores de influencia, las reacciones, las longitudes y áreas de reacción.

$$\sigma_{zij} = \sum_{k=1}^n I_{zij} r_k d_k / a_k \quad (3.1)$$

$$\sigma_{xij} = \sum_{k=1}^n I_{xij} r_k d_k / a_k \quad (3.2)$$

$$\sigma_{yij} = \sum_{k=1}^n I_{yij} r_k d_k / a_k \quad (3.3)$$

En donde los subíndices representan:

i : es el nodo i

j : es el estrato j , y

k : es la carga k

El valor de influencia, I_z , es el incremento de esfuerzo vertical, a la profundidad z , producido por una carga unitaria en la esquina de un rectángulo cargado uniformemente (ver Figura 3.1), y se calcula con la expresión de Damy (1985), tal como se presenta en la Ecuación 3.4.

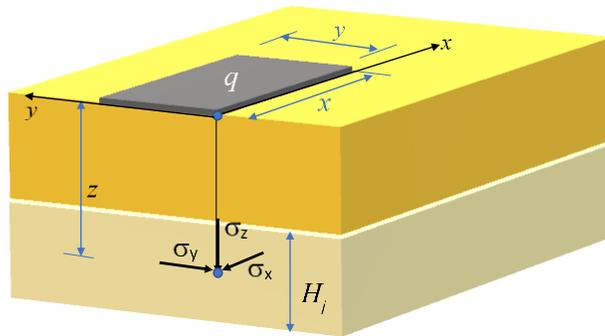


Figura 3.1. Incrementos de esfuerzos normales bajo la esquina de un rectángulo cargado uniformemente en un medio semi-infinito.

$$I_z = \frac{1}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{x^2+z^2} + \frac{1}{y^2+z^2} \right) \frac{xyz}{B} + \tan^{-1} \frac{xy}{zB} \right] \quad (3.4)$$

I_x e I_y son los valores de influencia horizontales, producidos por una carga unitaria, en la esquina de un rectángulo cargado uniformemente; se calculan con las ecuaciones de Dashkó y Kagán (1980):

$$I_x = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\pi}{2} - \frac{xyz}{B(x^2+z^2)} - \tan^{-1} \frac{zB}{xy} + (1-2\nu) \left(\tan^{-1} \frac{y}{x} - \tan^{-1} \frac{yB}{xz} \right) \right] \quad (3.5)$$

$$I_y = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\pi}{2} - \frac{xyz}{B(y^2+z^2)} - \tan^{-1} \frac{zB}{xy} + (1-2\nu) \left(\tan^{-1} \frac{x}{y} - \tan^{-1} \frac{xB}{yz} \right) \right] \quad (3.6)$$

4 CÁLCULO DE DEFORMACIONES DEL SUELO

4.1 Ecuación lineal de deformaciones

El cálculo de la deformación inmediata de un estrato de suelo de espesor Δz_0 , bajo el centro del área cargada, se puede llevar a cabo usando la ley de Hooke

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E_s} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \quad (4.1)$$

Donde

ε_z : deformación unitaria del estrato

E_s : módulo de deformación del suelo

ν : relación de Poisson del suelo

σ_x , σ_y y σ_z son los incrementos de esfuerzo ocasionados por la obra de ingeniería, a una profundidad correspondiente al nivel medio del estrato

Pero

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta \delta_z}{\Delta z_0} \quad (4.2)$$

Por lo tanto

$$\Delta \delta_z = \frac{\Delta z_0}{E_s} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \quad (4.3)$$

$\Delta \delta_z$ es el desplazamiento del estrato, en unidades de longitud

4.2 Cálculo de deformaciones de un suelo friccionante con una ecuación de comportamiento no lineal (Deméneghi, 2008)

El cálculo de las deformaciones verticales de una cimentación en suelos friccionantes de espesor Δz_0 sujeto a incrementos de esfuerzos σ_x , σ_y y σ_z está dado por Deméneghi (2008)

$$\delta_z = \left\{ 1 - \exp \left\{ - \frac{f[(p_{co} + c\sigma_z)^{1-s} - (p_{co})^{1-s}]}{(1-s)cAP_a^{1-s}} \right\} \right\} \Delta z_0 \quad (4.4)$$

Donde:

$$f = 1 - \nu(a_1 + a_2); a_1 = \sigma_x/\sigma_z; a_2 = \sigma_y/\sigma_z$$

s : es coeficiente que depende del tipo de suelo, el cual vale 0.5 para suelos friccionantes.

$$c = \frac{1}{3} + \frac{1}{3}(a_1 + a_2) \quad (4.5)$$

Los incrementos de esfuerzo σ_x , σ_y y σ_z se calculan a partir de las Ecuaciones 3.4-3.6.

$$p_{co} = \frac{p_{vo} + p_{ho} + p_{ho}}{3} = \frac{p_{vo}}{3}(1 + 2K_o) \quad (4.6)$$

p_{vo} es la presión vertical inicial

p_{ho} es la presión horizontal inicial

El coeficiente K_o se calcula con la expresión de Mayne y Kulhawy (1982)

$$K_o = (1 - \text{sen}\phi)(OCR)^{\text{sen}\phi} \quad (4.7)$$

OCR es la relación de preconsolidación del suelo, mientras que A es el módulo de rigidez del suelo, el cual puede calcularse con la expresión:

$$A = A_m C; \quad A_m = 26.25N^{1.125} \quad (4.8)$$

$$C = \exp\left[-0.784t_\alpha\sqrt{1.00758 + 0.0152(\ln N - 2.976)^2}\right] \quad (4.9)$$

en donde N es el número de golpes de la penetración estándar y t_α es una variable t de Student, cuyos valores en función de α se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Variable aleatoria t de Student

Nivel de confianza α (%)	t_α
2.5	1.978
5.0	1.657
10	1.288
15	1.041
20	0.844
25	0.676
30	0.526
40	0.254
50	0.000

El procedimiento seguido para la compatibilidad de deformaciones y la solución del sistema de ecuaciones puede consultarse en las referencias, Sanginés (2000), Demeneghi (2008), Hermosillo *et al.* (2016, 2018, 2019, 2020 y 2022).

4.3 Cálculo de asentamientos a largo plazo

El cálculo por asentamientos a largo plazo en arcillas saturadas se realiza con la teoría de la consolidación de Terzaghi (Deméneghi *et al.*, 2019).

La deformación vertical del elemento de espesor dz vale:

$$\varepsilon_z = \frac{\Delta\delta z}{dz} = \frac{1}{E_v} \sigma_z = m_v \sigma_z \quad (4.10)$$

Donde

$$m_v = \frac{1}{E_v} \quad (4.11)$$

ε_z : deformación unitaria del estrato

E_v : módulo de deformación del suelo a largo plazo

m_v : se le conoce como módulo de compresibilidad volumétrica que se obtiene de la curva de compresibilidad

dz : es el espesor del estrato

σ_z es el incremento de esfuerzo ocasionado por la obra de ingeniería (con la carga viva media), a una profundidad correspondiente al nivel medio del estrato

Por lo tanto, el asentamiento a largo plazo es:

$$\Delta H = m_v \sigma_z dz = \frac{1}{E_v} \sigma_z dz \quad (4.12)$$

4.4 Estimación de los módulos de rigidez de campo

Sea la curva esfuerzo-deformación de un suelo como la mostrada en la Figura 4.1. La relación entre la deformación unitaria en el campo y la deformación unitaria obtenida en laboratorio es (Deméneghi, 2020):

$$\varepsilon_{cpo} = \left(\frac{\sigma_{dcpo}}{\sigma_{dL}} \right)^{\frac{1}{n}} \varepsilon_L \quad (4.13)$$

$$\frac{\varepsilon_{cpo}}{\varepsilon_L} = \left(\frac{\sigma_{dcpo}}{\sigma_{dL}} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (4.14)$$

En donde:

ε_{cpo} : Deformación del suelo en campo

ε_L : Deformación del suelo en laboratorio

σ_{dcpo} : Esfuerzo desviador en campo

σ_{dL} : Esfuerzo desviador en laboratorio

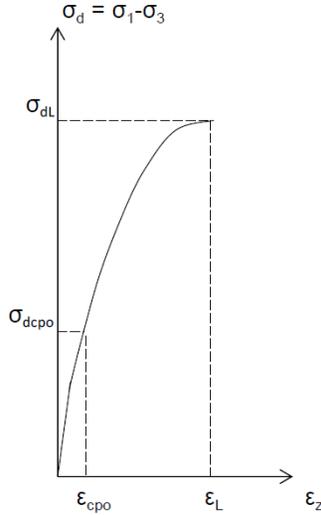


Figura 4.1 Curva esfuerzo-deformación unitaria no lineal

El módulo de deformación obtenido en laboratorio es (Figura 4.1):

$$E_L = \frac{\sigma_{dL}}{\epsilon_L} \quad (4.15)$$

La deformación unitaria en el campo se determina como:

$$\begin{aligned} \epsilon_{cpo} &= (\sigma_{dcpo})^{\frac{1}{n}} \frac{\epsilon_L}{\sigma_{dL}^{\frac{1}{n}}} = \sigma_{dcpo} (\sigma_{dcpo})^{\frac{1}{n}-1} \frac{\epsilon_L}{\sigma_{dL} (\sigma_{dL})^{\frac{1}{n}-1}} \\ \epsilon_{cpo} &= \sigma_{dcpo} (\sigma_{dcpo})^{\frac{1}{n}-1} \frac{1}{E_L (\sigma_{dL})^{\frac{1}{n}-1}} \end{aligned} \quad (4.16)$$

Teniendo en cuenta lo anterior, la relación entre el módulo de deformación en el campo y el módulo de deformación obtenido en pruebas de laboratorio es:

$$E_{cpo} = \frac{\sigma_{dcpo}}{\epsilon_{cpo}} = E_L \frac{(\sigma_{dL})^{\frac{1}{n}-1}}{(\sigma_{dcpo})^{\frac{1}{n}-1}} = E_L \left(\frac{\sigma_{dL}}{\sigma_{dcpo}} \right)^{\frac{1}{n}-1} \quad (4.17)$$

La Ecuación 4.17 nos permite estimar el módulo de deformación de campo, en función del módulo de deformación del laboratorio y de la relación entre los esfuerzos desviadores de laboratorio y de campo.

La Ecuación 4.17 fue implementada en el programa ISE3D para estimar los módulos de deformación en campo de manera automática, incluyendo en los datos de cada estrato, el esfuerzo desviador en laboratorio (σ_{lab}), obtenido de las pruebas triaxiales no consolidadas no drenadas.

5 SISTEMA DE ECUACIONES AMPLIADO

El sistema de ecuaciones de la Ecuación 2.6 se complementa con las ecuaciones de los desplazamientos en el suelo, que son función de los esfuerzos, y de la longitud y área de las reacciones, quedando en la forma:

$$\begin{bmatrix}
 k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} & p_{e11} & P_{e12} & \dots & P_{e1m} \\
 k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} & P_{e21} & P_{e22} & \dots & P_{e2m} \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} & P_{en1} & P_{en2} & \dots & P_{enm} \\
 1 & 0 & \dots & 0 & f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\
 0 & 1 & \dots & 0 & f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2n} \\
 \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 0 & 0 & \dots & 1 & f_{n1} & f_{n2} & \dots & f_{nn}
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 \delta_1 \\
 \delta_2 \\
 \vdots \\
 \delta_n \\
 r_1 \\
 r_2 \\
 \vdots \\
 r_m
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 F_1 \\
 F_2 \\
 \vdots \\
 F_2
 \end{bmatrix}
 \quad (5.1)$$

6 IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA ISE3D

El proceso de formación de la matriz de rigideces y matriz de flexibilidades en un problema de interacción suelo estructura se implementó en un software denominado ISE3D, escrito en lenguaje FORTRAN. Para realizar análisis de ISE estática utilizando este software resulta necesario contar con las características geométricas y mecánicas de la estructura, así como de las características mecánicas del suelo que la sustenta a la estructura. El programa ISE3D recibe los datos a través de un archivo de texto que debe contar con cierta estructura para que sea interpretado por el programa de forma correcta. En lo que sigue, se presenta un manual de usuario con el cual se indica la organización de los datos y el proceso que se sigue para realizar análisis de ISE estática, Figura 6.1. Cabe aclarar que éste es un software totalmente numérico por lo que, tanto la preparación de datos como los resultados obtenidos, están en formato de archivo de texto. Pueden usarse herramientas auxiliares que permitan interpretar en forma gráfica los resultados, pero dichas técnicas y procedimientos quedan fuera del alcance de este trabajo.

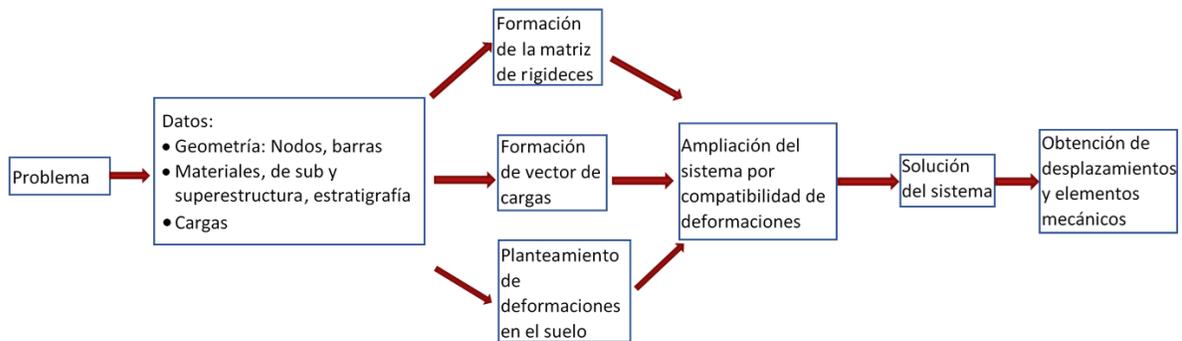


Figura 6.1. Implementación del proceso de interacción suelo-estructura en el programa ISE3D

6.1 PROGRAMA DE INTERACCIÓN SUELO ESTRUCTURA TRIDIMENSIONAL ISE3D

VERSIÓN DEL PROGRAMA: ISE3D/2023-02

M. I. Héctor Sanginés García. Facultad de Ingeniería, DICyG. Departamento de Geotecnia

Dr. Armando R. Hermosillo Arteaga. Facultad de Ingeniería, DICyG. Departamento de Estructuras

En lo que sigue se presenta la forma de preparar las series de datos que se requieren para realizar un análisis de interacción suelo-estructura estática. Se entiende por **Serie** de datos a un grupo de datos proporcionados en uno o varios renglones.

Nota*: Los datos deben ser ingresados en un sistema de unidades consistentes.

D1: Datos generales

Serie 1	KANAL:	Tipo de análisis que realizará el programa (0: elástico lineal, 1: Elástico con Janbú, y 2: No lineal (Demeneghi)).
	Caso1:	Expansiones
	Caso2:	Compresiones a corto plazo
	Caso3:	Compresiones a largo plazo, consolidación primaria
	Caso4:	Compresiones a largo plazo, consolidación secundaria
	NTMOD	Módulos de elasticidad a utilizar: 1) De campo calculados al centro de la cimentación, 2) De campo calculados debajo de cada nodo (variables), 3) De laboratorio

D2: Lectura de materiales usados en la estructura. Se leerán N_{mat} Series 2

N_{mat} : Número de materiales

Series 2, desde 1 hasta N_{mat}	MAT_nom	Nombre identificador del material
	γ	Peso volumétrico
	E	Módulo de elasticidad
	ν	Relación de Poisson

D3: Lectura de secciones disponibles en los elementos. Se leerán N_{secc} Series 3

N_{secc} Número de secciones

Series 3, desde 1 hasta N_{secc}	SEC_nom	Nombre identificador de la sección
	MATID	Material usado en esta sección
	b	Base de la sección
	h	Altura de la sección

D4: Lectura de coordenadas de nodos, y sus restricciones. Se leerán NN Series 4

NN : Número de Nodos

Series 4, desde 1 hasta NN	NNod	Número de nodo
	X	Coordenada en x
	Y	Coordenada en y
	Z	Coordenada en z
	RestX	Restricción en x**
	RestY	Restricción en y**
	RestZ	Restricción en z**
	RestGX	Restricción de giro en x**
	RestGY	Restricción de giro en y**
	RestGZ	Restricción de giro en z**
	NPN	Número de perfil de suelo asociado al nodo
D _f	Profundidad de desplante	

****Nota: 0 es libre, 1 es fijo**

D5: Lectura de barras. Se leerán **NB** Series 5

NB: No. de barras

Series 5, desde 1 hasta NB	NBarra:	No. de barra.
	SECCID	Nombre de la sección asignada al elemento
	N ₁	Primer nodo de la barra
	N ₂	Segundo nodo de la barra
	NCond	Condición de articulación: 0) Sin articulaciones, 1) Primer nodo articulado, 2) Segundo nodo articulado, 3) Ambos nodos articulados
	AlphaRot:	Indica ángulo para rotar la sección
	FacV:	Factor para considerar efectos de cortante en las rigideces
	WCVMáx:	Carga viva máxima (t/m)
	WCVMed:	Carga viva media (t/m)
	WCVAcc:	Carga viva instantánea (t/m)
	WCM:	Sobre carga muerta (t/m)
	WPv:	Carga de compensación (Pv) (t/m)

D6: Zapatas aisladas.

NZAP: Número de zapatas aisladas. Se leerán **NZAP** Series 6 si **NZAP** > 0, de lo contrario, no se realiza la lectura de las Series 6.

Series 6, desde 1 hasta NZAP	NZ _i	Número de zapata
	BZ _i :	Ancho de la zapata
	LZ _i :	Longitud de la zapata
	HZ _i :	Peralte de la zapata
	NNZ _i :	Nodo en donde está desplantada la zapata

D7: Lectura de cargas concentradas en nodos

NNC: Número de nodos cargados. Se leerán a continuación *NNC* Series 7, cada una con seis cargas correspondientes al nodo P_j

Series 7, desde 1 hasta <i>NNC</i>	P_j	No. de nodo cargado j
	F_{x_j}	Fuerza en dirección X , actuando en el nodo j
	F_{y_j}	Fuerza en dirección Y , actuando en el nodo j
	F_{z_j}	Fuerza en dirección Z , actuando en el nodo j
	M_{x_j}	Momento en dirección X , actuando en el nodo j
	M_{y_j}	Momento en dirección Y , actuando en el nodo j
	M_{z_j}	Momento en dirección Z , actuando en el nodo j

D8: Lectura de propiedades por perfil de suelo.

Series 8.0	NPS:	No. de perfiles de suelo
	Pa	Presión atmosférica. Cuidar las unidades que se utilizan

NE(i) Número de estratos del perfil i . Para cada perfil i se leerán NE(i) Series 8 de propiedades de cada estrato j .

Desde 1 hasta <i>NE(i)</i>	Series 8.1, Propiedades del estrato j .	$N_{i,j}$:	Número del estrato j del perfil i
		TipoSuelo $_{i,j}$:	1: Arena, 2: Arcilla
		$AH_{i,j}$:	Espesor del estrato j (m) del perfil i
		$GAMA_{i,j}$:	Peso volumétrico del estrato j (t/m^3)
	Series 8.2, Propiedades para análisis por expansión.	$Ee_{i,j}$:	Módulo de rigidez del estrato j (t/m^2)
		$Ve_{i,j}$:	Relación de Poisson, ν , en expansión
		σ_{dLab}	Esfuerzo desviador de laboratorio, a la falla
	Series 8.3, Propiedades para análisis por asentamientos inmediatos.	$Eu_{i,j}$:	Módulo de rigidez del estrato j (t/m^2)
		$V_{i,j}$:	Relación de Poisson, ν , en compresión
		σ_{dLab}	Esfuerzo desviador de laboratorio, a la falla
		$Ko_{i,j}$	Coefficiente de presión de tierra en reposo del estrato j del perfil i
		$K_{i,j}$	Coefficiente k del suelo, para el cálculo del módulo de deformación E_i , del estrato j del perfil i (Janbú)
		$N_{i,j}$:	Coefficiente N del suelo, para el cálculo del módulo de deformación E_i , del estrato j del perfil i (Janbú)
		$A_{i,j}$	Módulo de deformación no lineal del suelo adimensional (Método de Deméneghi), del estrato j del perfil i
	Series 8.4, Propiedades para análisis por asentamientos diferidos	$Ev_{i,j}$	Módulo de rigidez por cambio volumétrico del estrato j (t/m^2)
		$AP_{i,j}$	Módulo adimensional A_p para consolidación primaria
		$T_{i,j}$	Factor tiempo

	(consolidación primaria).		
	Series 8.4, Propiedades para análisis por asentamientos diferidos (consolidación secundaria).	$E_{m_{i,j}}$	Módulo de rigidez por cambio de forma del estrato j (t/m^2)
		$A_{c_{i,j}}$	Módulo adimensional A_{cs} para consolidación secundaria
		PSI	Parámetro ζ , consolidación secundaria
		$T_{i,j}$	Factor tiempo

D9: Losas de cimentación

NLOS: Número de losas de cimentación. Se leerán *NLOS* Series 9.1 si *NLOS* > 0, de lo contrario, no se realiza la lectura de las Series 9.1.

Series 9.1, desde 1 hasta <i>NLOS</i>	NL_m	No. de losa, m
	NL_{mi}	Nodo i
	NL_{mj}	Nodo j
	NL_{mk}	Nodo k
	NL_{ml}	Nodo l
	WCVMáx:	Carga viva máxima (t/m)
	WCVMed:	Carga viva media (t/m)
	WCVAcc:	Carga viva instantánea (t/m)
	WCM:	Sobre carga muerta (t/m)
	WPv:	Carga de compensación (P_v) (t/m)

D10: Lectura de ejes para cálculo de diagramas de fuerza cortante y momento flexionante

Series 10.0	<i>NEJES</i> :	Número de ejes. Se leerán a continuación <i>NEJES</i> Series 8.
	NSB:	Número de secciones en que se divide cada barra

Series 10.1, desde 1 hasta <i>NEJES</i>	Nombre_Eje	Nombre del eje
	$NBEJE_i$	Número de barras en eje i
	$BAREJE(i,j)$	NB_1, NB_2, \dots, NB_j , Barras que pertenecen al eje i

7 PREPARACIÓN DE DATOS

En este apartado se presentan algunos ejemplos de cómo preparar el archivo de datos, de acuerdo al caso de estudio. Se recomienda usar algún editor de textos apropiado para esta tarea, como por ejemplo el editor Notepad++, de GNU, disponible en forma gratuita en la red. Alternativamente, resulta conveniente utilizar una hoja de cálculo para preparar el archivo de datos. Una vez vaciada la información en la hoja de cálculo, ésta se salva como un archivo en formato de texto (con extensión PRN), el cual puede manipularse posteriormente con el editor de textos para alimentar al programa ISE3D.

7.1 Marco bidimensional con zapatas aisladas

Considérese el marco bidimensional que se presenta en la Figura 7.1.1. Se desea determinar los asentamientos debidos a la carga w_{cm} impuesta sobre el marco bidimensional, considerando la interacción estática suelo-estructura. Las características del material que conforma a la estructura son:

Material: concreto reforzado, $\gamma_c = 2.400 \frac{tf}{m^3}$, $E_c = 2214000.0 \frac{tf}{m^2}$

Secciones de los elementos estructurales:

- Columnas: 30 cm x 30 cm
- Viga: 30 cm x 60 cm
- Zapatas de concreto reforzado: 1.70 m x 2.0 m, con 30 cm de espesor

La estructura está desplantada sobre un estrato de arena con un espesor de 10 m, y cuyas características mecánicas son: $\gamma_s = 1.65 \frac{tf}{m^3}$, $E_s = 1000.0 \frac{tf}{m^2}$, $\nu = 0.30$.

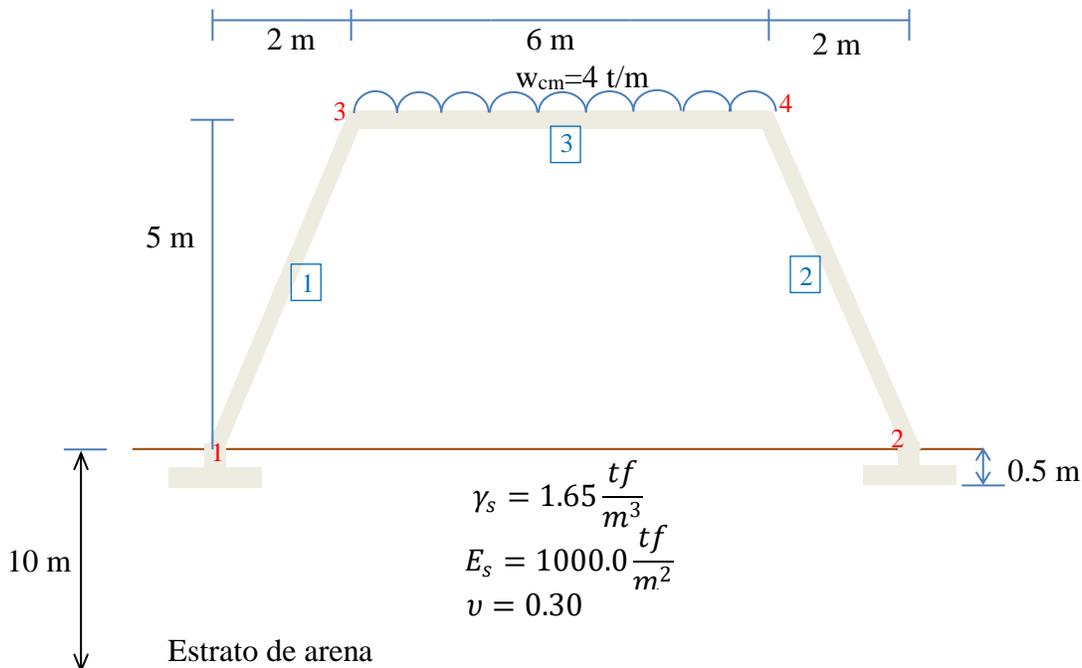


Figura 7.1.1 Marco bidimensional, inclinado y con zapatas aisladas

En la Figura 7.1.1 se han enumerado tanto los nodos (en color rojo) como las barras (en color azul).

7.1.1 Llenado de archivo de datos

Con la información del problema, se realiza la preparación del archivo de datos. La Figura 7.1.2 presenta el llenado del archivo de datos.

```

1  "MARCO INCLINADO, CON INTERACCIÓN"
2  UNIDADES UTILIZADAS
3  "t"      "m"      "t/m"      "t/m2"      "t/m3"
4  Lin/NLin EXP  CMPCF  CMPLP  CMPLPS
5  |      |      |      |      |
6  |      |      |      |      |
7  2 !NUMERO DE MATERIALES
8  ! MAT      GAMA      E      POISSON
9  CONC200  2.4  1131370.85  0.2  ! TENER CUIDADO CON EL NOMBRE DEL MATERIAL, ÉSTE DEBE SER EL MISMO
10 CONC250  2.4  2214000.00  0.2  ! CUANDO SE INVOQUE EN CADA SECCIÓN
11
12 2 !NUMERO DE SECCIONES
13 ! SECC      MAT      b      h
14 VIGA30x60  CONC250  0.30  0.60 !CUIDADO CON EL NOMBRE DE LA SECCIÓN,
15 COL30x30   CONC250  0.30  0.30 !DEBE SER IGUAL CAUNDO SE INVOQUE EN CADA SECCIÓN
16
17 4 !NÚMERO DE NODOS
18 ! NN      X      Y      Z      GLX      GLY      GLZ      GLMX      GLMY      GLMZ      PERFIL      Df
19 1 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 0.5
20 2 10.0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 0.5
21 3 2.0 0 5.0 0 1 0 1 0 1 0 0.0
22 4 8.0 0 5.0 0 1 0 1 0 1 0 0.0
23
24 3 !NÚMERO DE BARRAS
25 NBAR      SECC      i      j      ROT      FacV      WCVMáx      WCVMed      WCVacc      WCM      WPV
26 1 COL30x30  1 3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.000 0.0
27 2 COL30x30  2 4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.000 0.0
28 3 VIGA30x60  3 4 0.0 0.0 4.0 2.0 0.0 4.000 0.0
29
30 2 !# DE ZAPATAS AISLADAS
31 ! N      b      l      h      nodo
32 1 1.7 2.0 0.30 1
33 2 1.7 2.0 0.30 2
34
35 2 !CARGAS CONCENTRADAS
36 NODO  FK      FY      FZ      MX      MY      MZ
37 3 0. 0. 0.00 0. 0. 0.
38 4 0. 0. 0.00 0. 0. 0.
39
40 1 10.3 !NÚMERO DE PERFILES DE SUELO, PRESIÓN ATMOSFÉRICA
41 1 !# ESTRATOS DE PERFIL 1
42 | Estrato TipoSuelo Espesor Gama
43 | 1 1 10.0 1.65
44 | 1000.00 0.30 3.33 0.47 749.0 0.50 300 % PROPIEDADES PARA COMPRESIÓN INMEDIATA : Eu,NU,SLab,k0,k,n,A_DEM
45
46 0 !LOSAS
47 nL I J K L ESPESOR MAT CVmax CVmed CVins WCM WPV IDEN
48
49 # Ejes #particiones de la barra
50 3 10
51 EJE 1
52 | 1 1
53 EJE 2
54 | 1 2
55 EJE 3

```

Figura 7.1.2. Archivo de datos correspondiente al problema de un marco plano inclinado

7.1.2 Resultados obtenidos

Los resultados que se obtienen una vez ejecutado el programa ISE3D con los datos contenidos en el archivo de entrada se encuentran en el archivo de salida especificado por el usuario. Estos resultados pueden explorarse utilizando algún editor de textos. En las Figuras 7.1.3 y 7.1.4 se presentan fragmentos del archivo con resultados obtenidos.

```

1
2
3  INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA A BASE DE BARRAS
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17 MARCO INCLINADO, CON INTERACCIÓN
18
19 UNIDADES
20  t m t/m t/m2 t/m3
21
22 ANALISIS LINEAL SIN CONFINAMIENTO
23
24  MATERIALES
25  MATERIAL PESO VOL MOD ELAST R POISSON
26 t/m3 t/m2
27 CONC200 2.40 1131370.88 0.20
28  CONC250 0.00 2214000.00 0.20
29
30  SECCIONES
31  SECCIÓN MATERIAL BASE ALTURA ÁREA
32 m m m 2
33 VIGA30x60 CONC250 0.30 0.60 0.18000001 0.00540000 0.00135000 m 4 Iz m 4 IRot
34  COL30x30 CONC250 0.30 0.30 0.09000000 0.00067500 0.00067500 0.00135000
35 Número de Nodos: 4
36  COORDENADAS DE LOS NODOS 4
37  NODO X Y Z RESTRICCIONES PERFIL DF
38 1 0.0000 0.0000 0.0000 0 1 0 1 0 1 1 0.5000
39 2 10.0000 0.0000 0.0000 0 1 0 1 0 1 1 0.5000
40 3 2.0000 0.0000 5.0000 0 1 0 1 0 1 0 0.0000
41  4 8.0000 0.0000 5.0000 0 1 0 1 0 1 0 0.0000
42
43
44
45
46
47  PROPIEDADES DE LAS BARRAS
48  No SECCIÓN PI P3 GIRO FDC TIPO PERF SUELO Iy Iz J CVMáx CVMed CVInst CMUERTA Pprop PV
49 1 COL30x30 1 3 0.000 0 Sup 1 0 0.00068 0.00068 0.00135 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
50 2 COL30x30 2 4 0.000 0 Sup 1 0 0.00068 0.00068 0.00135 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
51 3 VIGA30x60 3 4 0.000 0 Sup 0 0 0.00540 0.00135 0.00675 4.000000 2.000000 0.000000 4.000000 0.000000 0.000000
52 Número de zapatas aisladas 2
53  ZAPATAS AISLADAS
54  No. Ancho Largo Espesor Nodo Perfil
55 1 1.700 2.000 0.300 1 1
56  2 1.700 2.000 0.300 2 1
57
58
59
60
61  CARGAS CONCENTRADAS Y CARGAS DE EMPOTRAMIENTO
62  No P (t)
63

```

Figura 7.1.3. Resultados obtenidos al ejecutar el programa ISE3D

La información obtenida a partir de la exploración del archivo de resultados puede utilizarse para interpretar el comportamiento de la estructura, además de usarla con fines de diseño. En la Figura 7.1.4 se aprecian los desplazamientos (asentamientos) y reacciones calculados en los nodos correspondientes a cada zapata. La Figura 7.1.5 presenta los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes para la barra horizontal.

```

120 CARGAS UNIFORMES DETERMINADAS EN CADA BARRA
121 Barra CVMax CVMed CVInst CMuerta PPropio PV
122 1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
123 2 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
124 3 4.0000 2.0000 0.0000 4.0000 0.0000 0.0000
125 La carga total de la estructura es 48.00000
126 La presión máxima qmax ejercida por la estructura es Infinity
127 Pv= -0.8250000
128 qneta= Infinity
129 MÓDULOS DE CAMPO CALCULADOS
130 MÓDULOS DE CAMPO, EXPANSIÓN
131
132 MÓDULOS DE CAMPO, COMPRESIÓN INMEDIATA
133
134 Los módulos de campo a usar del nodo 1 son:
135 Perfil= 1
136 Estrato= 1 E elas= 0.0000000E+00 E comp= 1000.000
137
138
139
140 ANALISIS DE COMPRESIONES
141 SOLUCION CASO LINEAL
142
143 Usando módulos de campo calculados en el nodo central
144 REACCIONES ESTIMADAS:
145 1 10.43229
146 2 24.00002
147 3 -0.5648665
148 4 -10.43231
149 5 24.00003
150 6 0.5649037
151
152
153 NUDO, HUNDIMIENTO DEL NUDO
154 (m)
155 1 -0.00535
156 2 -0.01050
157 3 0.00034
158 4 0.00535
159 5 -0.01050
160 6 -0.00034
161 Desplazamientos y giros por nodo
162 nodo dx dy dz tx ty tz
163 1 -0.005354 0.000000 -0.010497 0.000000 0.000342 0.000000
164 2 0.005354 0.000000 -0.010497 0.000000 -0.000342 0.000000
165 3 0.000079 0.000000 -0.013431 0.000000 -0.005120 0.000000
166 4 -0.000078 0.000000 -0.013431 0.000000 0.005120 0.000000
167
168
169 BARRA ELEMENTOS GRADO DE MAGNITUD
170 MECANICOS LIBERTAD
171
172 1 NORMAL X1 1 26.15698242
173 1 CORTANTE Y1 2 0.00000000
174 1 CORTANTE Z1 3 -0.77274352
175 1 TORSION X1 4 0.00000000
176 1 FLEXIONANTE Y1 5 -0.56484365
177 1 FLEXIONANTE Z1 6 0.00000000
178 1 NORMAL X2 13 -26.15698242
179 1 CORTANTE Y2 14 0.00000000
180 1 CORTANTE Z2 15 0.77274352
181 1 TORSION X2 16 0.00000000
182 1 FLEXIONANTE Y2 17 -3.59650779

```

Figura 7.1.4. Resultados obtenidos al ejecutar el programa ISE3D

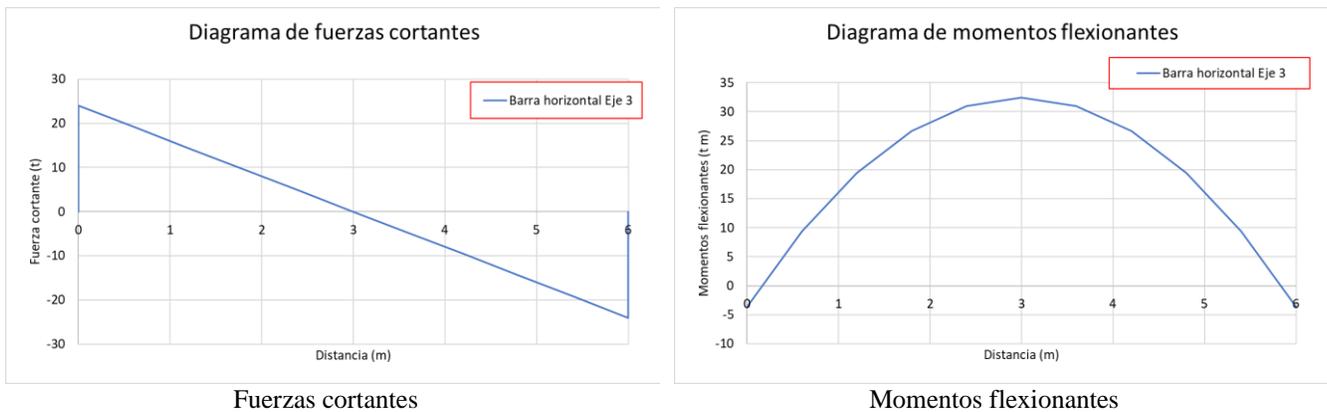


Figura 7.1.5. Diagramas de fuerzas internas, barra horizontal

7.2 Sistema de zapatas corridas

El siguiente ejemplo consta de una cimentación conformada por zapatas corridas, cargadas uniformemente con una carga muerta de 1.6 t/m , así como cargas puntuales en las esquinas de $P=9.6 \text{ t}$. Las zapatas corridas son de concreto reforzado, con un módulo de elasticidad de $E_c = 2214000.0 \frac{\text{tf}}{\text{m}^2}$, y peso volumétrico de $\gamma_c = 2.4 \frac{\text{tf}}{\text{m}^3}$. Las zapatas corridas en este ejemplo se consideran con una profundidad de desplante a nivel de la superficie del terreno, por lo que $D_f=0 \text{ m}$. Las zapatas tienen una sección de $0.30 \text{ m} \times 0.60 \text{ m}$.

La estructura está desplantada sobre dos estratos de arena:

Estrato 1: espesor de 2.4 m , $\gamma_s = 1.65 \frac{\text{tf}}{\text{m}^3}$, $E_s = 850.0 \frac{\text{tf}}{\text{m}^2}$, $\nu = 0.35$.

Estrato 2: espesor de 2.0 m , $\gamma_s = 1.65 \frac{\text{tf}}{\text{m}^3}$, $E_s = 1200.0 \frac{\text{tf}}{\text{m}^2}$, $\nu = 0.30$.

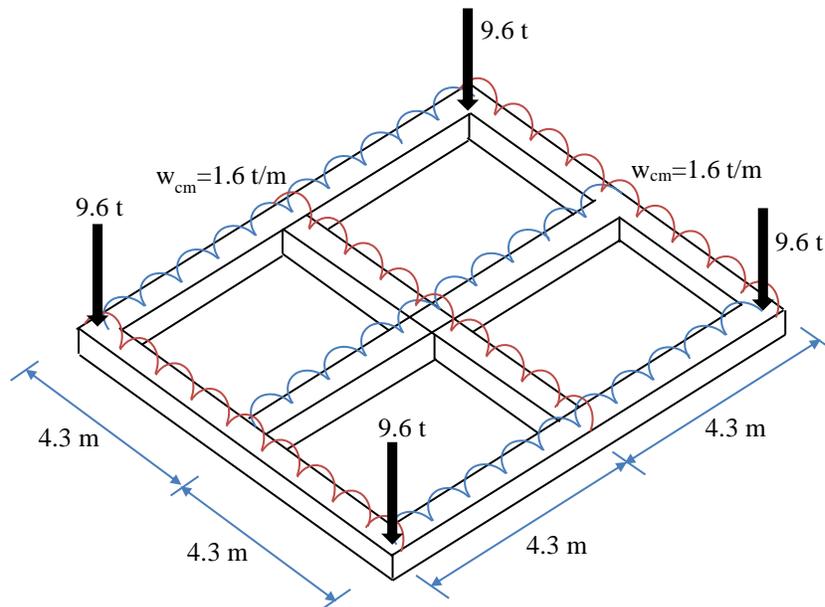


Figura 7.2.1. Sistema de cimentación basada en zapatas corridas

7.2.1 Idealización del modelo numérico

El sistema de zapatas corridas se idealiza como un sistema de barras conectadas rígidamente. En el modelo numérico se enumeran barras (en azul) y nodos (en rojo), como lo muestra la Figura 7.2.2. Se han trazado también ejes numerados con fines de identificar las barras para las cuales se dibujarán los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes sobre dichos ejes.

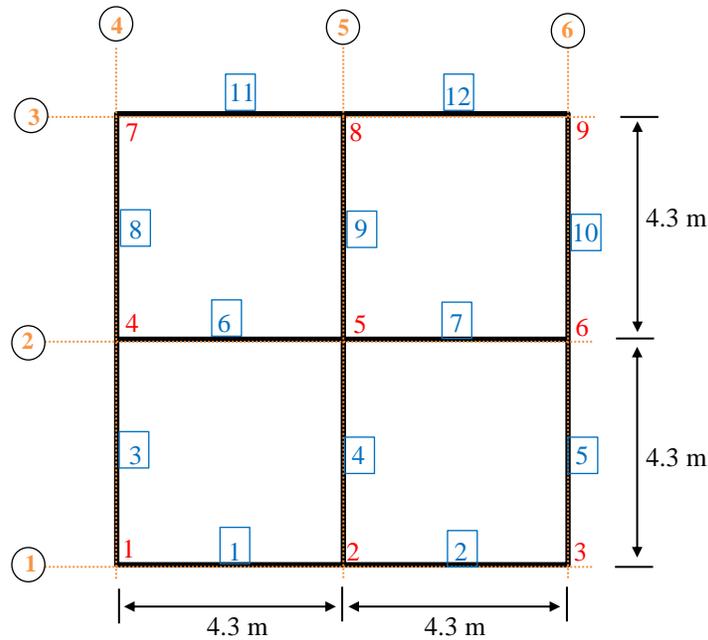


Figura 7.2.2. Idealización de la subestructura

7.2.2 Llenado de archivo de datos

Con el modelo idealizado, se prepara el archivo de datos indicando las coordenadas de cada nodo, así como la conectividad de cada barra de cimentación. En las Figuras 7.2.3 y 7.2.4 se presenta el archivo de datos preparado para este caso, dividido en dos secciones por razones de espacio en este documento.

```

1 "ZAPATAS CORRIDAS /C INTERACCIÓN SE"
2 UNIDADES UTILIZADAS
3 "t" "m" "t/m" "t/m2" "t/m3"
4 Lin/NLin EXP CMPCP CHPLP CMLPS
5 0 0 1 0 0
6
7 3 % NUMERO DE MATERIALES
8 % MAT GAMA E POISSON
9 CONC200 0.0 113000.00 0.2 !CUIDADO CON EL NOMBRE DEL MATERIAL, DEBE SER IGUAL CAUNDO SE INVOQUE EN CADA SECCIÓN
10 CONC250 0.0 221400.00 0.2
11 CONC150 0.0 474300.00 0.2
12
13 2 INUMERO DE SECCIONES
14 ! SECC MAT b h
15 VIGA30x60 CONC250 0.30 0.60 !CUIDADO CON EL NOMBRE DE LA SECCIÓN, DEBE SER IGUAL AL QUE SE INVOQUE EN CADA BARRA
16 VIGA16x45 CONC150 0.16 0.45 !CUIDADO CON EL NOMBRE DE LA SECCIÓN, DEBE SER IGUAL AL QUE SE INVOQUE EN CADA BARRA
17
18 9 !NUMERO DE NODOS
19 ! NN X Y Z GLX GLY GLZ GLMX GLMY GLMZ PERFIL Df
20 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0.
21 2 4.3 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0.
22 3 8.6 0 0.0 0 0 0 0 0 1 1 0.
23 4 0 4.3 0 0 0 0 0 0 1 1 0.
24 5 4.3 4.3 0 1 1 0 0 0 1 1 0.
25 6 8.6 4.3 0.0 0 0 0 0 0 1 1 0.
26 7 0 8.6 0 0 0 0 0 0 1 1 0.
27 8 4.3 8.6 0 0 0 0 0 0 1 1 0.
28 9 8.6 8.6 0.0 0 0 0 0 0 1 1 0.
29

```

Figura 7.2.3. 1ª Sección de datos para el problema de cimentación a base de zapatas corridas

```

30      12      !NÚMERO DE BARRAS
31  NBAR      SECC      i      j      ROT      FacV      WCVMáx      WCVMed      WCVAcc      WCM      WPV
32      1      VIGA30x60      1      2      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      1.600      0.0      0
33      2      VIGA30x60      2      3      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      1.600      0.0      0
34      3      VIGA30x60      1      4      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      1.600      0.0      0
35      4      VIGA30x60      2      5      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      1.600      0.0      0
36      5      VIGA30x60      3      6      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      1.600      0.0      0
37      6      VIGA30x60      4      5      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      1.600      0.0      0
38      7      VIGA30x60      5      6      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      1.600      0.0      0
39      8      VIGA30x60      4      7      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      1.600      0.0      0
40      9      VIGA30x60      5      8      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      1.600      0.0      0
41      10     VIGA30x60      6      9      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      1.600      0.0      0
42      11     VIGA30x60      7      8      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      1.600      0.0      0
43      12     VIGA30x60      8      9      0.0      0.0      0.0      0.0      0.0      1.600      0.0      0
44      0      !# DE ZAPATAS AISLADAS
45
46
47      4      !CARGAS CONCENTRADAS
48  NODO      FX      FY      FZ      MX      MY      MZ
49      1      0.      0.      -9.60      0.      0.      0.
50      3      0.      0.      -9.60      0.      0.      0.
51      7      0.      0.      -9.60      0.      0.      0.
52      9      0.      0.      -9.60      0.      0.      0.

53
54  1      10.3     !NÚMERO DE PERFILES DE SUELO, PRESIÓN ATMOSFÉRICA
55      2      !# ESTRATOS DE PERFIL 1
56  Estrato      TipoSuelo      Espesor      Gama
57      1      2      2.4      1.65
58      850.0      0.35      3.33      0.47      749.0      0.50      300 % PROPIEDADES PARA COMPRESIÓN INMEDIATA : Eu,NU,s1ab,k0,k,n,A_DEM
59  Estrato      TipoSuelo      Espesor      Gama
60      2      2      2.0      1.65
61      1200.0      0.30      3.33      0.47      749.0      0.50      300 % PROPIEDADES PARA COMPRESIÓN INMEDIATA : Eu,NU,s1ab,k0,k,n,A_DEM
62
63      0      ! LOSAS
64  nL      I      J      K      L      ESPESOR      MAT      CVmax      CVmed      CVins      WCM      IDEN
65
66  # Ejes      #particiones de la barra
67      4      10
68  EJE 1
69      2      1      2
70  EJE 2
71      2      6      7
72  EJE 3
73      2      3      8
74  EJE 4
75      2      4      9

```

Figura 7.2.4. 2ª Sección de datos para el problema de cimentación a base de zapatas corridas

7.2.3 Resultados obtenidos

```

1
2
3  INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA A BASE DE BARRAS
4
5
6      PROGRAMA ISE3DNL
7
8  ACTUALIZACION 2023
9
10
11      LECTURA DE DATOS
12
13
14
15
16
17      ZAPATAS CORRIDAS /C INTERACCIÓN SE
18
19      UNIDADES
20  t      m      t/m      t/m2      t/m3
21
22      ANALISIS LINEAL SIN CONFINAMIENTO
23
24  MATERIALES
25  MATERIAL      PESO VOL      MOD ELAST      R POISSON
26      t/m3      t/m2
27      CONC200      0.00      1130000.00      0.20
28      CONC250      0.00      2214000.00      0.20
29  CONC150      0.00      474300.00      0.20
30
31  SECCIONES
32  SECCIÓN      MATERIAL      BASE      ALTURA      ÁREA      Iy      Iz      Irot
33      m      m      m2      m4      m4      m4
34      VIGA30x60      CONC250      0.30      0.60      0.10000001      0.00540000      0.00135000      0.00675000
35  VIGA16x45      CONC150      0.16      0.45      0.07200000      0.00121500      0.00015360      0.00136860
36
37  Número de Nodos:      9
38  COORDENADAS DE LOS NODOS      RESTRICCIONES      PERFIL      DF
39  NODO      X      Y      Z      DX      DY      DZ      FX      FY      FZ      MX      MY      MZ
40      1      0.0000      0.0000      0.0000      0      0      0      0      1      1      0.0000
41      2      4.3000      0.0000      0.0000      0      0      0      0      1      1      0.0000
42      3      8.6000      0.0000      0.0000      0      0      0      0      1      1      0.0000
43      4      0.0000      4.3000      0.0000      0      0      0      0      1      1      0.0000
44      5      4.3000      4.3000      0.0000      1      1      0      0      1      1      0.0000
45      6      8.6000      4.3000      0.0000      0      0      0      0      1      1      0.0000
46      7      0.0000      8.6000      0.0000      0      0      0      0      1      1      0.0000
47  8      4.3000      8.6000      0.0000      0      0      0      0      1      1      0.0000
48      9      8.6000      8.6000      0.0000      0      0      0      0      1      1      0.0000
49
50
51      PROPIEDADES DE LAS BARRAS
52
53  No      SECCIÓN      PI      PJ      GIRO      FDC      TIPO      PERF      SUELO      Iy      Iz      J      CVMáx      CVMed      CVInst      CHUERTA      Pprop      PV
54      1      VIGA30x60      1      2      0.000      0      CIm      1      1      0.00540      0.00135      0.00675      0.000000      0.000000      0.000000      1.600000      0.000000      0.000000
55      2      VIGA30x60      2      3      0.000      0      CIm      1      1      0.00540      0.00135      0.00675      0.000000      0.000000      0.000000      1.600000      0.000000      0.000000
56      3      VIGA30x60      1      4      0.000      0      CIm      1      1      0.00540      0.00135      0.00675      0.000000      0.000000      0.000000      1.600000      0.000000      0.000000
57      4      VIGA30x60      2      5      0.000      0      CIm      1      1      0.00540      0.00135      0.00675      0.000000      0.000000      0.000000      1.600000      0.000000      0.000000
58      5      VIGA30x60      3      6      0.000      0      CIm      1      1      0.00540      0.00135      0.00675      0.000000      0.000000      0.000000      1.600000      0.000000      0.000000
59      6      VIGA30x60      4      5      0.000      0      CIm      1      1      0.00540      0.00135      0.00675      0.000000      0.000000      0.000000      1.600000      0.000000      0.000000
60      7      VIGA30x60      5      6      0.000      0      CIm      1      1      0.00540      0.00135      0.00675      0.000000      0.000000      0.000000      1.600000      0.000000      0.000000
61      8      VIGA30x60      4      7      0.000      0      CIm      1      1      0.00540      0.00135      0.00675      0.000000      0.000000      0.000000      1.600000      0.000000      0.000000
62      9      VIGA30x60      5      8      0.000      0      CIm      1      1      0.00540      0.00135      0.00675      0.000000      0.000000      0.000000      1.600000      0.000000      0.000000
63      10     VIGA30x60      6      9      0.000      0      CIm      1      1      0.00540      0.00135      0.00675      0.000000      0.000000      0.000000      1.600000      0.000000      0.000000

```

Figura 7.2.5. Primer fragmento del archivo de resultados

```

64 11 VIGA30x60      7 8 0.000 0 Cim 1 1 0.00540 0.00135 0.00675 0.000000 0.000000 0.000000 1.600000 0.000000 0.000000
65 12 VIGA30x60      8 9 0.000 0 Cim 1 1 0.00540 0.00135 0.00675 0.000000 0.000000 0.000000 1.600000 0.000000 0.000000
66
67  Número de zapatas aisladas      0
68
69
70 CARGAS CONCENTRADAS Y CARGAS DE EMPOTRAMIENTO
71
72  No P (t)
73 3 -9.60
74 15 -9.60
75 39 -9.60
76  51 -9.60
77
78
79 PROPIEDADES DEL SUELO
80
81
82 en el nodo 5 df= 0.000000E+00
83 Estrato de apoyo 1
84 Pv al centro de la cimentación= 0.000000E+00
85
86  PERFIL ESTRATO TIPO MAT z H PESO
87 1 1 ARCILLA (m) (m) t/m3
88 1.20 2.40 1.6500
89  PROPIEDADES CASO 2
90 E NU slab KO K N A
91 t/m2
92 850.00 0.35 3.33 0.47 749.00 0.50 300.00
93  PERFIL ESTRATO TIPO MAT z H PESO
94 1 2 ARCILLA (m) (m) t/m3
95 3.40 2.00 1.6500
96  PROPIEDADES CASO 2
97 E NU slab KO K N A
98 t/m2
99 1200.00 0.30 3.33 0.47 749.00 0.50 300.00
100
101
102 PRESIONES EN PERFIL 1
103  ESTRATO PROFUNDIDAD Pv PHEMPUJE POR EMPUJE
104 m t/m2 t/m2 ESTRATO (t) ACUMULADO (t)
105 1 2.40 3.96 1.86 2.23 2.23
106 2 4.40 7.26 3.41 11.60 13.83
107 NN NUMERO DE NODOS = 9
108 NB NUMERO DE BARRAS = 12
109 NLOS NUMERO DE LOSAS = 0
110 NZAP NUMERO DE ZAPATAS AISLADAS = 0
111 NMAT NO. DE MATERIALES (P/BARRAS) = 3
112 NPS NO. DE PERFILES DISPONIBLES = 1
113 KANAL TIPO DE ANALISIS = 0
114 CASO(1) ANALISIS POR EXPANSION = 0
115 CASO(2) ANALISIS POR COMPRESION = 1
116 CASO(3) CONSOLIDACION PRIMARIA = 0
117  CASO(4) CONSOLIDACION SECUNDARIA = 0
118

```

Figura 7.2.6. Segundo fragmento tomado del archivo de resultados

```

311 ANALISIS DE COMPRESIONES
312 SOLUCION CASO LINEAL
313
314 Usando módulos de campo calculados en el nodo central
315  REACCIONES ESTIMADAS:
316 1 4.190396
317 2 1.487610
318 3 4.190402
319 4 1.487617
320 5 1.221483
321 6 1.487612
322 7 4.190392
323 8 1.487616
324 9 4.190394
325
326
327  NUDO, HUNDIMIENTO DEL NUDO
328 (m)
329 1 -0.00424
330 2 -0.00226
331 3 -0.00424
332 4 -0.00226
333 5 -0.00243
334 6 -0.00226
335 7 -0.00424
336 8 -0.00226
337 9 -0.00424
338  Desplazamientos y giros por nodo
339  nodo dx dy dz tx ty tz
340 1 0.000000 0.000000 -0.004238 -0.000835 0.000835 0.000000
341 2 0.000000 0.000000 -0.002265 -0.000105 0.000000 0.000000
342 3 0.000000 0.000000 -0.004238 -0.000835 -0.000835 0.000000
343 4 0.000000 0.000000 -0.002265 0.000000 0.000105 0.000000
344 5 0.000000 0.000000 -0.002430 -0.000000 0.000000 0.000000
345 6 0.000000 0.000000 -0.002265 0.000000 -0.000105 0.000000
346 7 0.000000 0.000000 -0.004238 0.000835 0.000835 0.000000
347 8 0.000000 0.000000 -0.002265 0.000105 0.000000 0.000000
348 9 0.000000 0.000000 -0.004238 0.000835 -0.000835 0.000000
349
350
351  BARRA ELEMENTOS GRADO DE MAGNITUD
352 MECANICOS LIBERTAD
353
354 1 NORMAL X1 1 0.00000000
355 1 CORTANTE Y1 2 0.00000000
356 1 CORTANTE Z1 3 -4.80000687
357 1 TORSION X1 4 -1.05665588
358 1 FLEXIONANTE Y1 5 -1.05669093
359 1 FLEXIONANTE Z1 6 0.00000000
360 1 NORMAL X2 7 0.00000000
361 1 CORTANTE Y2 8 0.00000000
362 1 CORTANTE Z2 9 -0.52770591
363 1 TORSION X2 10 1.05665588
364 1 FLEXIONANTE Y2 11 -1.88194013
365 1 FLEXIONANTE Z2 12 0.00000000
366 2 NORMAL X1 7 0.00000000
367 2 CORTANTE Y1 8 0.00000000
368 2 CORTANTE Z1 9 -0.52766895
369 2 TORSION X1 10 1.05664492
370 2 FLEXIONANTE Y1 11 1.88202167

```

Figura 7.2.7. Tercer fragmento tomado del archivo de resultados

La información impresa en el archivo de resultados, obtenida a partir del análisis de interacción suelo-estructura puede utilizarse para interpretar el comportamiento de la estructura, además de usarla con fines de diseño. En la Figura 7.2.7 se aprecian los desplazamientos (asentamientos) y reacciones, calculados en los nodos correspondientes a cada zapata. Las Figuras 7.2.8 y 7.2.9 presentan los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes calculados a lo largo de diferentes ejes trazados sobre la cimentación.

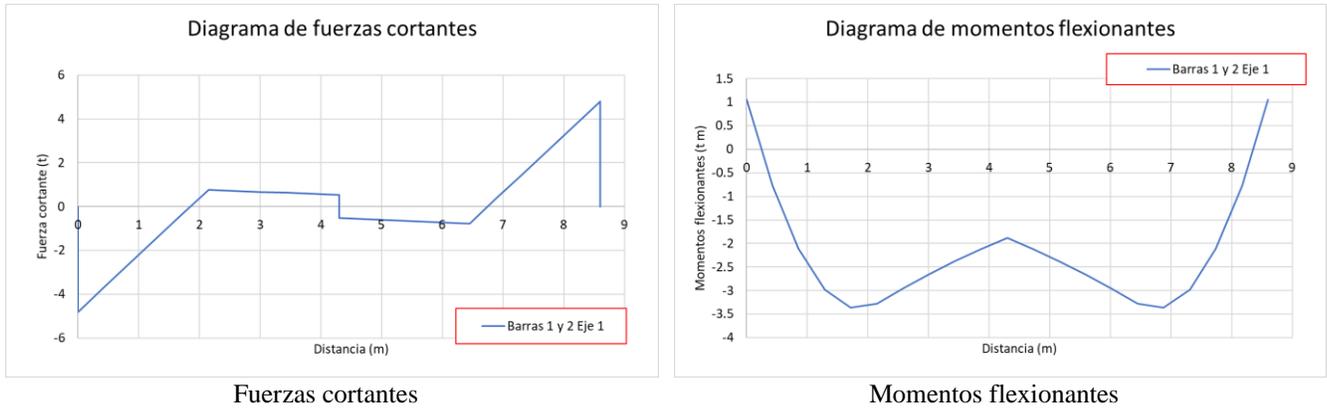


Figura 7.2.8. Diagramas de fuerzas internas, Eje1, barras 1 y 2

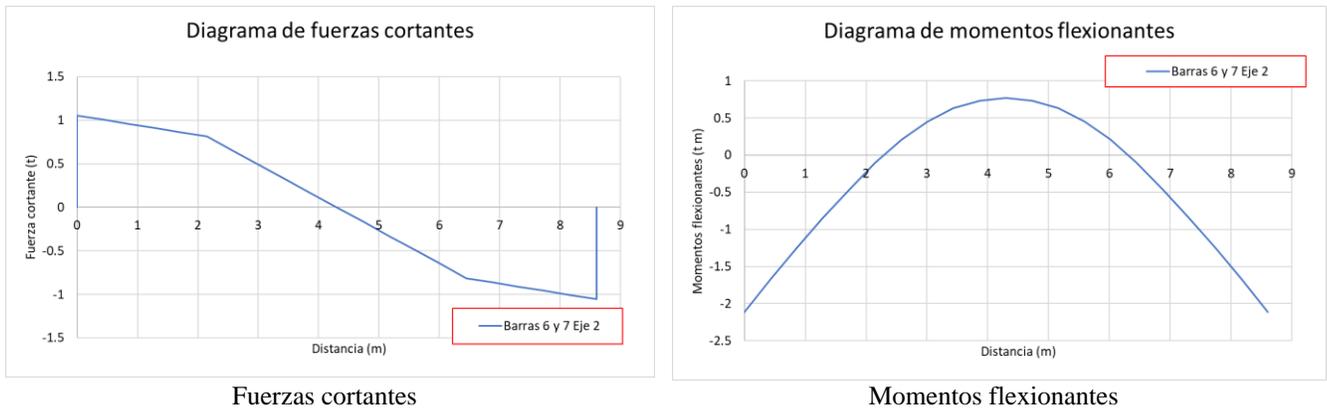


Figura 7.2.9. Diagramas de fuerzas internas, Eje 2, barras 6 y 7

7.3 Sistema de losa de cimentación

En este ejemplo se considera una losa de cimentación en contacto con el terreno. Al igual que en el ejemplo 7.2 (zapatas corridas), se considera una cimentación conformada por zapatas corridas. La diferencia radica en que las cargas, vivas y muertas, y las reacciones actuando sobre el sistema de losas se distribuirán sobre un sistema de vigas o contratraves. Para este ejemplo, se considera una losa de 30 cm de espesor, así como unas zapatas corridas de concreto reforzado, con un módulo de elasticidad de $E_c = 2214000.0 \frac{tf}{m^2}$, y peso volumétrico de $\gamma_c = 0.0 \frac{tf}{m^3}$ (en este ejemplo el peso propio de la estructura se considera ya en la carga muerta). La losa de cimentación se encuentra a una profundidad de $D_f=0.60$ m. Las zapatas tienen una sección de 0.30 m x 0.60 m. Las cargas uniformemente distribuidas actuando sobre la losa, incluyendo

peso propio, son $w_{cv}=350 \text{ kgf/m}^2$ y $w_{cm}=750 \text{ kgf/m}^2$. Se consideran además cargas puntuales actuando sobre las esquinas y al centro de la subestructura, de 20 t cada una.

La estructura está desplantada sobre dos estratos de arcilla:

Estrato 1: espesor de 3.0 m, $\gamma_s = 1.3 \frac{tf}{m^3}$, $E_s = 317.1 \frac{tf}{m^2}$, $\nu = 0.48$.

Estrato 2: espesor de 4.0 m, $\gamma_s = 1.4 \frac{tf}{m^3}$, $E_s = 304.5 \frac{tf}{m^2}$, $\nu = 0.48$.

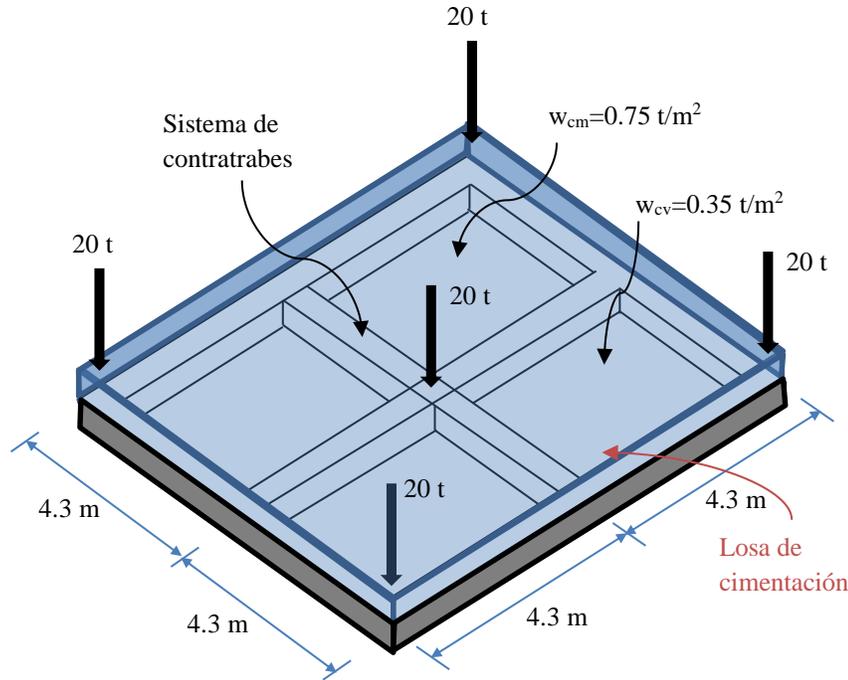


Figura 7.3.1. Sistema de cimentación basada en losa sobre zapatas corridas

Nota. El programa ISE3D no considera a las losas como un elemento estructural y sólo se definen para distribuir cargas sobre los sistemas de vigas. La rigidez que podría aportar una losa al sistema estructural puede considerarse directamente sobre las vigas que la sustentan.

7.3.1 Idealización del modelo numérico

El sistema de zapatas corridas se idealiza como un sistema de barras conectadas rígidamente. En el modelo numérico se enumeran barras (en azul) y nodos (en rojo), como lo muestra la Figura 7.3.2. Se han trazado también ejes numerados con fines de identificar las barras para las cuales se dibujarán los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes sobre dichos ejes.

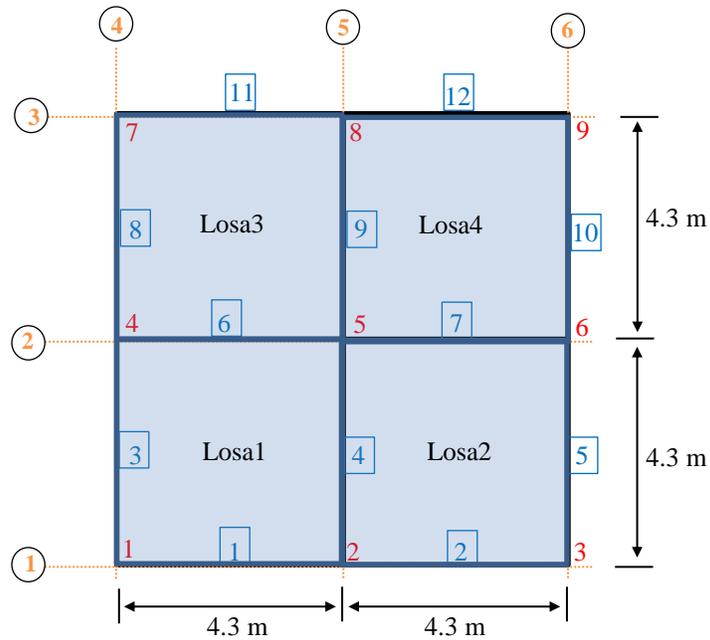


Figura 7.3.2. Idealización de la subestructura

7.3.2 Llenado de archivo de datos

Con el modelo idealizado, se prepara el archivo de datos indicando las coordenadas de cada nodo, así como la conectividad de cada barra de cimentación. En las Figuras 7.3.3 y 7.3.4 se presenta el archivo de datos preparado para este caso, dividido en dos secciones por razones de espacio en este documento.

```

1 "Losa de cimentación /C INTERACCIÓN SE"
2 UNIDADES UTILIZADAS
3 "t" "m" "t/m" "t/m2" "t/m3"
4 Lin/NLin EXP CMPCP CMPLP CMLPLS
5 0 0 1 0 0
6
7 3 % NUMERO DE MATERIALES
8 % MAT GAMA E POISSON
9 CONC200 0.0 113000.00 0.2 !CUIDADO CON EL NOMBRE DEL MATERIAL, DEBE SER IGUAL CAUNDO SE INVOQUE EN CADA SECCIÓN
10 CONC250 0.0 221400.00 0.2
11 CONC150 0.0 474300.00 0.2
12
13 2 !NUMERO DE SECCIONES
14 ! SECC MAT b h
15 VIGA30x60 CONC250 0.30 0.60 !CUIDADO CON EL NOMBRE DE LA SECCIÓN, DEBE SER IGUAL AL QUE SE INVOQUE EN CADA BARRA
16 VIGA16x45 CONC150 0.16 0.45 !CUIDADO CON EL NOMBRE DE LA SECCIÓN, DEBE SER IGUAL AL QUE SE INVOQUE EN CADA BARRA
17
18 9 !NÚMERO DE NODOS
19 NN X Y Z GLX GLY GLZ GLMX GLMY GLMZ PERFIL Df
20 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0.4
21 2 4.3 0 0 0 0 0 0 0 1 1 0.4
22 3 8.6 0 0.0 0 0 0 0 0 1 1 0.4
23 4 0 4.3 0 0 0 0 0 0 1 1 0.4
24 5 4.3 4.3 0 1 1 0 0 0 1 1 0.4
25 6 8.6 4.3 0.0 0 0 0 0 0 1 1 0.4
26 7 0 8.6 0 0 0 0 0 0 1 1 0.4
27 8 4.3 8.6 0 0 0 0 0 0 1 1 0.4
28 9 8.6 8.6 0.0 0 0 0 0 0 1 1 0.4
29
30 12 !NÚMERO DE BARRAS
31 NBAR SECC i j ROT FacV WCVMáx WCVMed WCVAcc WCM WPV
32 1 VIGA30x60 1 2 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1
33 2 VIGA30x60 2 3 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1
34 3 VIGA30x60 1 4 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1
35 4 VIGA30x60 2 5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1
36 5 VIGA30x60 3 6 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1
37 6 VIGA30x60 4 5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1
38 7 VIGA30x60 5 6 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1
39 8 VIGA30x60 4 7 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1
40 9 VIGA30x60 5 8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1
41 10 VIGA30x60 6 9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1
42 11 VIGA30x60 7 8 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1
43 12 VIGA30x60 8 9 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 1
44 0 !# DE ZAPATAS AISLADAS
45
46
47 5 !CARGAS CONCENTRADAS
48 NODO FX FY FZ MX MY MZ
49 1 0. 0. -20.0 0. 0. 0.
50 3 0. 0. -20.0 0. 0. 0.
51 5 0. 0. -20.0 0. 0. 0.
52 7 0. 0. -20.0 0. 0. 0.
53 9 0. 0. -20.0 0. 0. 0.
54
55 1 10.3 !NÚMERO DE PERFILES DE SUELO, PRESIÓN ATMOSFÉRICA
56 2 !# ESTRATOS DE PERFIL 1
57 Estrato TipoSuelo Espesor Gama
58 1 1 3.0 1.3
59 317.1 0.48 3.33 0.47 749.0 0.50 300 % PROPIEDADES PARA COMPRESIÓN INMEDIATA : Eu,NU,SLab,k0,k,n,A_DEM
60 Estrato TipoSuelo Espesor Gama
61 2 1 4.0 1.4
62 304.5 0.48 3.41 0.47 749.0 0.50 300 % PROPIEDADES PARA COMPRESIÓN INMEDIATA : Eu,NU,SLab,k0,k,n,A_DEM

```

Figura 7.3.3. 1ª Sección de datos para el problema de cimentación a base de zapatas corridas

```

63
64 4 ! LOSAS
65 nL I J K L ESPESOR MAT CVmax CVmed CVins WCM IDEN
66 1 1 2 5 4 0.3 CONC250 0.35 0 0 0.75 3
67 2 2 3 6 5 0.3 CONC250 0.35 0 0 0.75 3
68 3 4 5 8 7 0.3 CONC250 0.35 0 0 0.75 3
69 4 5 6 9 8 0.3 CONC250 0.65 0 0 0.75 3
70
71 # Ejes #particiones de la barra
72 6 10
73 EJE 1
74 2 1 2
75 EJE 2
76 2 6 7
77 EJE 3
78 2 11 12
79 EJE 4
80 2 3 8
81 EJE 5
82 2 4 9
83 EJE 6
84 2 5 10
85

```

Figura 7.3.4. 2ª Sección de datos para el problema de cimentación a base de zapatas corridas

7.3.3 Resultados obtenidos

```

8 ACTUALIZACION 2023
9
10
11 LECTURA DE DATOS
12
13
14
15
16
17 Losa de cimentación /C INTERACCIÓN SE
18
19 UNIDADES
20 t m t/m t/m2 t/m3
21
22 ANALISIS LINEAL SIN CONFINAMIENTO
23
24 MATERIALES
25 MATERIAL PESO VOL MOD ELAST R POISSON
26 t/m3 t/m2
27 CONC200 0.00 1130000.00 0.20
28 CONC250 0.00 2214000.00 0.20
29 CONC150 0.00 474300.00 0.20
30
31 SECCIONES
32 SECCIÓN MATERIAL BASE ALTURA ÁREA Iy Iz IRot
33 m m m 2 m 4 m 4 m 4
34 VIGA30x60 CONC250 0.30 0.60 0.18000001 0.00540000 0.00135000 0.00675000
35 VIGA16x45 CONC150 0.16 0.45 0.07200000 0.00121500 0.00015360 0.00136860
36
37 Número de Nodos: 9
38 COORDENADAS DE LOS NODOS RESTRICCIONES PERFIL DF
39 NODO X Y Z DX DY DZ HX MY HZ
39 1 0.0000 0.0000 0.0000 0 0 0 0 1 1 0.4000
40 2 4.3000 0.0000 0.0000 0 0 0 0 0 1 1 0.4000
41 3 8.6000 0.0000 0.0000 0 0 0 0 0 1 1 0.4000
42 4 0.0000 4.3000 0.0000 0 0 0 0 0 1 1 0.4000
43 5 4.3000 4.3000 0.0000 1 1 0 0 0 1 1 0.4000
44 6 8.6000 4.3000 0.0000 0 0 0 0 0 1 1 0.4000
45 7 0.0000 8.6000 0.0000 0 0 0 0 0 1 1 0.4000
46 8 4.3000 8.6000 0.0000 0 0 0 0 0 1 1 0.4000
47 9 8.6000 8.6000 0.0000 0 0 0 0 0 1 1 0.4000
48
49
50 PROPIEDADES DE LAS BARRAS
51
52
53 No SECCIÓN PI PJ GIRO FDC TIPO PERF SUELO Iy Iz J CVHáx CVMed CVInst CHUERTA Propop PV
54 1 VIGA30x60 1 2 0.000 0 Cím 1 1 0.00540 0.00135 0.00675 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
55 2 VIGA30x60 2 3 0.000 0 Cím 1 1 0.00540 0.00135 0.00675 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
56 3 VIGA30x60 1 4 0.000 0 Cím 1 1 0.00540 0.00135 0.00675 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
57 4 VIGA30x60 2 5 0.000 0 Cím 1 1 0.00540 0.00135 0.00675 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
58 5 VIGA30x60 3 6 0.000 0 Cím 1 1 0.00540 0.00135 0.00675 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
59 6 VIGA30x60 4 5 0.000 0 Cím 1 1 0.00540 0.00135 0.00675 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
60 7 VIGA30x60 5 6 0.000 0 Cím 1 1 0.00540 0.00135 0.00675 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
61 8 VIGA30x60 4 7 0.000 0 Cím 1 1 0.00540 0.00135 0.00675 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
62 9 VIGA30x60 5 8 0.000 0 Cím 1 1 0.00540 0.00135 0.00675 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
63 10 VIGA30x60 6 9 0.000 0 Cím 1 1 0.00540 0.00135 0.00675 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
64 11 VIGA30x60 7 8 0.000 0 Cím 1 1 0.00540 0.00135 0.00675 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000
65 12 VIGA30x60 8 9 0.000 0 Cím 1 1 0.00540 0.00135 0.00675 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000 0.000000

```

Figura 7.3.5. Primer fragmento del archivo de resultados

```

66
67  Número de zapatas aisladas      0
68
69
70      CARGAS CONCENTRADAS Y CARGAS DE EMPOTRAMIENTO
71
72  No      P (t)
73      3      -20.00
74      15     -20.00
75      27     -20.00
76      39     -20.00
77  51     -20.00
78
79
80      PROPIEDADES DEL SUELO
81
82
83 en el nodo      5 df= 0.4000000
84 Estrato de apoyo      1
85 Pv al centro de la cimentación= -0.5200000
86
87  PERFIL  ESTRATO  TIPO MAT  z      H      PESO
88      1      1      ARENA    1.50  3.00  1.3000
89
90  PROPIEDADES CASO 2
91      E      NU      slab  KO      K      N      A
92      t/m2
93      317.10  0.48  3.33  0.47  749.00  0.50  300.00
94  PERFIL  ESTRATO  TIPO MAT  z      H      PESO
95      1      2      ARENA    5.00  4.00  1.4000
96
97  PROPIEDADES CASO 2
98      E      NU      slab  KO      K      N      A
99      t/m2
100     304.50  0.48  3.41  0.47  749.00  0.50  300.00
101
102
103 PRESIONES EN PERFIL      1
104  ESTRATO  PROFUNDIDAD      Pv      PhEMPUJE POR      EMPUJE
105      m      t/m2      t/m2      ESTRATO (t)      ACUMULADO (t)
106      1      3.00      3.90      1.83      2.75      2.75
107  2      7.00      9.50      4.47      22.04      24.79
108
109
110  LECTURA DE NODOS QUE CONFORMAN CADA LOSA
111      LOSA  NI      NJ      NK      NL      h      Mat      CVMáx  CVMed  CVInst  CMUERTA  Pprop  PV
112      1      1      2      5      4      0.300  CONC250  0.350  0.000  0.000  0.750  0.000  -0.520
113      2      2      3      6      5      0.300  CONC250  0.350  0.000  0.000  0.750  0.000  -0.520
114      3      4      5      8      7      0.300  CONC250  0.350  0.000  0.000  0.750  0.000  -0.520
115      4      5      6      9      8      0.300  CONC250  0.650  0.000  0.000  0.750  0.000  -0.520
116 NN  NUMERO DE NODOS      =      9
117 NB  NUMERO DE BARRAS     =      12
118 NLOS NUMERO DE LOSAS      =      4
119 NZAP NUMERO DE ZAPATAS AISLADAS =      0
120 NMAT NO. DE MATERIALES (P/BARRAS) =      3
121 NPS  NO. DE PERFILES DISPONIBLES =      1
122 KANAL TIPO DE ANALISIS    =      0
123 CASO(1) ANALISIS POR EXPANSIÓN =      0
124 CASO(2) ANALISIS POR COMPRESIÓN =      1
125 CASO(3) CONSOLIDACIÓN PRIMARIA =      0

```

Figura 7.3.6. Segundo fragmento tomado del archivo de resultados

```

325 ANALISIS DE COMPRESIONES
326 SOLUCION CASO LINEAL
327
328 Usando módulos de campo calculados en el nodo central
329  REACCIONES ESTIMADAS:
330     1  6.352751
331     2  0.4461291
332     3  6.354338
333     4  0.4461354
334     5  2.699937
335     6  0.6518140
336     7  6.354334
337     8  0.6518136
338     9  6.766677
339
340
341  NUDO, HUNDIMIENTO DEL NUDO
342     (m)
343     1 -0.00431
344     2 -0.00162
345     3 -0.00432
346     4 -0.00162
347     5 -0.00475
348     6 -0.00188
349     7 -0.00432
350     8 -0.00188
351     9 -0.00464
352  Desplazamientos y giros por nodo
353  nodo    dx          dy          dz          tx          ty          tz
354     1  0.000000  0.000000  -0.004305  -0.001237  0.001237  0.000000
355     2  0.000000  0.000000  -0.001623  0.000601  -0.000006  0.000000
356     3  0.000000  0.000000  -0.004323  -0.001193  -0.001239  0.000000
357     4  0.000000  0.000000  -0.001623  0.000006  -0.000601  0.000000
358     5  0.000000  0.000000  -0.004746  0.000057  -0.000057  0.000000
359     6  0.000000  0.000000  -0.001884  0.000057  0.000590  0.000000
360     7  0.000000  0.000000  -0.004323  0.001239  0.001193  0.000000
361     8  0.000000  0.000000  -0.001884  -0.000590  -0.000057  0.000000
362     9  0.000000  0.000000  -0.004636  0.001235  -0.001235  0.000000
363
364
365  BARRA      ELEMENTOS      GRADO DE      MAGNITUD
366                   MECANICOS      LIBERTAD
367
368     1      NORMAL X1      1      0.00000000
369     1      CORTANTE Y1    2      0.00000000
370     1      CORTANTE Z1    3      -10.00000858
371     1      TORSION X1     4      -2.66258478
372     1      FLEXIONANTE Y1  5      -2.66261268
373     1      FLEXIONANTE Z1  6      0.00000000
374     1      NORMAL X2     7      0.00000000
375     1      CORTANTE Y2    8      0.00000000
376     1      CORTANTE Z2    9      -1.93653429
377     1      TORSION X2     10     2.66258478
378     1      FLEXIONANTE Y2  11     -1.02217364
379     1      FLEXIONANTE Z2  12     0.00000000
380     2      NORMAL X1     7      0.00000000
381     2      CORTANTE Y1    8      0.00000000
382     2      CORTANTE Z1    9      -1.95789969
383     2      TORSION X1     10     2.59828544
384     2      FLEXIONANTE Y1  11     0.94812638
385     2      FLEXIONANTE Z1  12     0.00000000

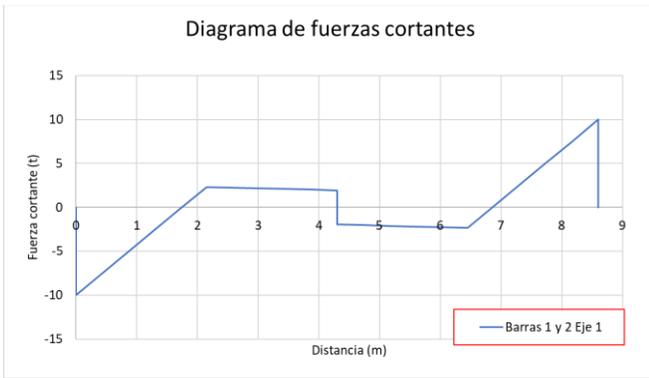
```

Figura 7.3.7. Tercer fragmento tomado del archivo de resultados

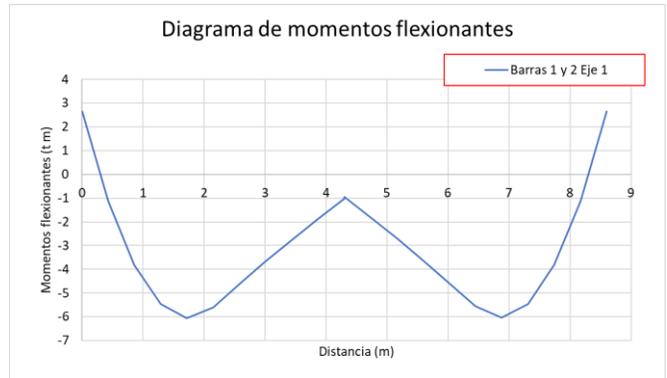
VALORES DE INFLUENCIA							
1 DIRECCIONES							
EN LA DIRECCIÓN							
7	PUNTO	ESTRATO	REACCION	1	IX	IY	IZ
8	1	1	1	1	0.0823385	0.0823385	0.2224059
9	1	1	2	2	0.0617914	0.0087372	0.0112218
10	1	1	3	3	0.0056668	0.0004872	0.0001921
11	1	1	4	4	0.0087373	0.0617914	0.0112218
12	1	1	5	5	0.0268298	0.0268298	0.0036919
13	1	1	6	6	0.0061786	0.0022545	0.0002048
14	1	1	7	7	0.0004872	0.0056668	0.0001921
15	1	1	8	8	0.0022545	0.0061786	0.0002048
16	1	1	9	9	0.0011481	0.0011481	0.0000357
17	1	2	1	1	0.0043116	0.0043116	0.0762986
18	1	2	2	2	0.0306304	0.0028614	0.0473928
19	1	2	3	3	0.0101010	0.0003247	0.0040284
20	1	2	4	4	0.0028614	0.0306304	0.0473928
21	1	2	5	5	0.0277152	0.0277152	0.0392494
22	1	2	6	6	0.0124912	0.0040010	0.0049391
23	1	2	7	7	0.0003247	0.0101010	0.0040284
24	1	2	8	8	0.0040010	0.0124911	0.0049391
25	1	2	9	9	0.0027176	0.0027176	0.0010550
26	2	1	1	1	0.0474114	0.0074595	0.0102392
27	2	1	2	2	0.1646770	0.1646770	0.4448117
28	2	1	3	3	0.0474114	0.0074595	0.0102392
29	2	1	4	4	0.0161107	0.0206580	0.0029934
30	2	1	5	5	0.0174745	0.1235829	0.0224435
31	2	1	6	6	0.0161106	0.0206580	0.0029934
32	2	1	7	7	0.0009961	0.0039642	0.0001326
33	2	1	8	8	0.0009744	0.0113336	0.0003842
34	2	1	9	9	0.0009961	0.0039642	0.0001326
35	2	2	1	1	0.0156850	0.0020876	0.0354970
36	2	2	2	2	0.0086231	0.0086231	0.1525971
37	2	2	3	3	0.0156850	0.0020876	0.0354970
38	2	2	4	4	0.0125015	0.0188096	0.0273431
39	2	2	5	5	0.0057228	0.0612607	0.0947857
40	2	2	6	6	0.0125015	0.0188096	0.0273431
41	2	2	7	7	0.0015020	0.0076872	0.0030502
42	2	2	8	8	0.0006494	0.0202021	0.0080568
43	2	2	9	9	0.0015020	0.0076872	0.0030502
44	3	1	1	1	0.0056668	0.0004872	0.0001921
45	3	1	2	2	0.0617914	0.0087372	0.0112218
46	3	1	3	3	0.0823385	0.0823385	0.2224059
47	3	1	4	4	0.0061786	0.0022545	0.0002048
48	3	1	5	5	0.0268298	0.0268298	0.0036919
49	3	1	6	6	0.0087373	0.0617914	0.0112218
50	3	1	7	7	0.0011481	0.0011481	0.0000357
51	3	1	8	8	0.0022545	0.0061786	0.0002048
52	3	1	9	9	0.0004872	0.0056668	0.0001921
53	3	2	1	1	0.0101010	0.0003247	0.0040284
54	3	2	2	2	0.0306304	0.0028614	0.0473928
55	3	2	3	3	0.0043116	0.0043116	0.0762986
56	3	2	4	4	0.0124911	0.0040010	0.0049391
57	3	2	5	5	0.0277152	0.0277152	0.0392494
58	3	2	6	6	0.0028614	0.0306304	0.0473928
59	3	2	7	7	0.0027176	0.0027176	0.0010550
60	3	2	8	8	0.0040010	0.0124911	0.0049391
61	3	2	9	9	0.0003247	0.0101010	0.0040284
62	4	1	1	1	0.0074595	0.0474114	0.0102392
63	4	1	2	2	0.0206580	0.0161107	0.0029934

Figura 7.3.8. Fragmento de los valores de influencia calculados

La información impresa en el archivo de resultados, obtenida a partir del análisis de interacción suelo-estructura puede utilizarse para interpretar el comportamiento de la estructura, además de usarla con fines de diseño. En la Figura 7.3.9 se aprecian los desplazamientos (asentamientos) y reacciones, calculados en los nodos correspondientes a cada zapata. Las Figuras 7.1.9 y 7.1.10 presentan los diagramas de fuerzas cortantes y momentos flexionantes calculados a lo largo de diferentes ejes trazados sobre la cimentación.

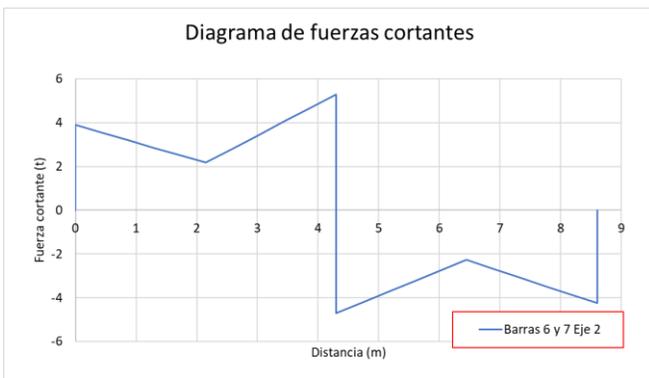


Fuerzas cortantes

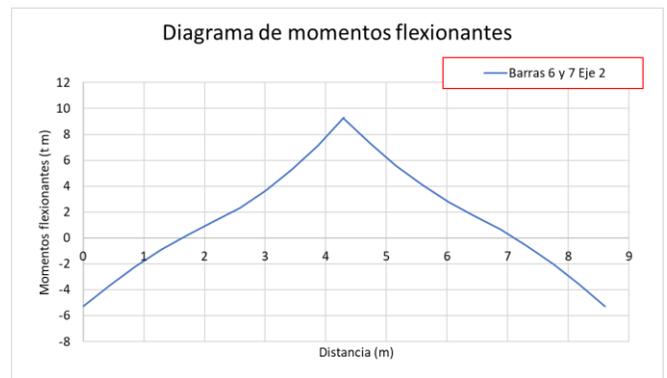


Momentos flexionantes

Figura 7.3.9. Diagramas de fuerzas internas, Eje1, barras 1 y 2



Fuerzas cortantes



Momentos flexionantes

Figura 7.3.10. Diagramas de fuerzas internas, Eje 2, barras 6 y 7

8 EJECUCIÓN DEL PROGRAMA ISE3D

En esta sección se explica, por medio de un ejemplo, como ejecutar el programa ISE3D realizando el análisis de un caso de estudio preparado previamente en un archivo de datos.

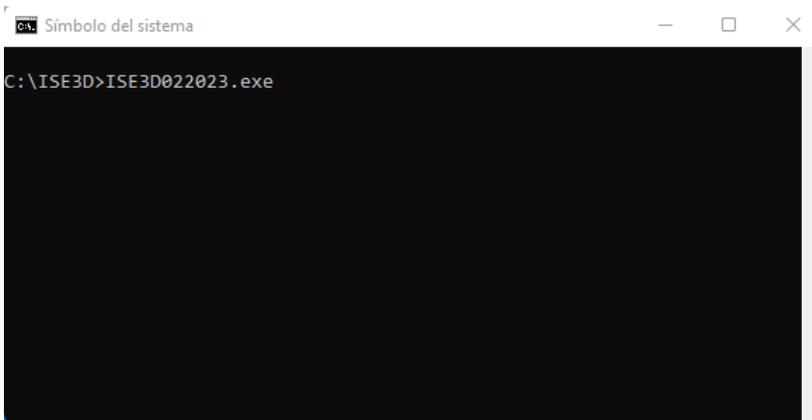
El programa ISE3D está compilado para ejecutarse en sistemas operativos basados en DOS y Windows, sin embargo, puede compilarse para ser ejecutado en otros sistemas como LINUX o UNIX.

8.1 Ejecución del programa ISE3D

Para ejecutar el programa en Windows puede ejecutarse directamente dando doble clic sobre el archivo ISE3D022023 o por medio de una ventana CMD (símbolo del sistema). Para ello, debe ubicarse la dirección en donde se encuentra el archivo ejecutable:



Una vez ubicada la ruta en donde se encuentra el archivo ejecutable, se procede a escribir el nombre del archivo y se da Click con la tecla "Enter":



Una vez ejecutado el programa ISE3D, solicitará los nombres de los archivos con datos de Entrada y de Salida. En este ejemplo, se indica que procesará el caso "LOSACIM.DAT", y se le indica al programa que los resultados se imprimirán en el archivo "LOSACIM.SAL"

```
Símbolo del sistema - ISE3D022023.exe
C:\ISE3D>ISE3D022023.exe
ARCHIVO DE DATOS DE ENTRADA
LOSACIM.DAT
ARCHIVO DE RESULTADOS
LOSACIM.SAL
```

Habiéndose indicado los nombres de los documentos de entrada y de salida, se le da click a la tecla “Enter” para que comience el análisis de interacción suelo-estructura según los datos y especificaciones indicadas en el documento de entrada.

```
Símbolo del sistema
C:\ISE3D>ISE3D022023.exe
ARCHIVO DE DATOS DE ENTRADA
LOSACIM.DAT
ARCHIVO DE RESULTADOS
LOSACIM.SAL
No. nodos          9
Casos de analisis  0      1      1      0
ANALISIS POR COMPRESIONES
ANALISIS LINEAL
ANALISIS LINEAL
ANALISIS LINEAL
ANALISIS POR CONSOLIDACION PRIMARIA
C:\ISE3D>
```

Durante su ejecución, el programa realiza algunas impresiones de texto, las cuales indican el tipo de análisis que se está realizando, y esto es un signo de que el programa se está ejecutando correctamente.

Es recomendable ejecutar el programa mediante una ventana CMD, pues en ella se indicará mediante alguna impresión de texto, si el programa se ejecutó con algún error.

9 REFERENCIAS

- Damy, J (1985). “Integración de las ecuaciones de Boussinesq, Westergaard y Fröhlich, sobre superficies poligonales de cualquier forma, cargadas con fuerzas verticales uniformemente repartidas”, Rev Ingeniería, Vol LV, N° 1: 82-86
- Dashkó, R E y Kagán, A A (1980). Mecánica de Suelos en la Práctica de la Geología Aplicada a la Ingeniería, Cap 2, MIR, Moscú
- Deméneghi A (2008) “Cálculo del asentamiento de un cimiento en arena”. XXIV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Aguascalientes, Ags.
- Demeneghi, A (2020). “Cálculo de deformaciones inmediatas en mecánica de suelos”, en la Revista *Geotecnia* de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, N° 254: 27-3
- Demeneghi, A., Hermosillo A., Puebla M. y Sanginés H. (2019). “Apuntes de Análisis y Diseño de Cimentaciones”, Tomo I. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Demeneghi, A. y Puebla M. (2019). “Comportamiento de Suelos”. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Gerald C. y Wheatley P. (2000). Análisis numérico con aplicaciones. Pearson Prentice Hall. México.
- Hermosillo A., Deméneghi A. y Sanginés H. (2012) “Cálculo de asentamientos con interacción suelo-estructura utilizando una ecuación constitutiva no lineal”. XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, Cancún, Quintana Roo, México.
- Hermosillo A., Demeneghi A. y Sanginés H. (2016). “Interacción suelo – estructura de una losa de cimentación sobre un suelo friccionante”. XXVIII Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, Mérida, Yucatán, México.
- Hermosillo A., Sanginés H., Demeneghi A. y Legorreta N. (2018). “Efecto de la no linealidad del suelo en la interacción suelo-estructura en edificios con zapatas corridas”. XXIX Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, León, Guanajuato, México.
- Hermosillo A., Sanginés H., Demeneghi A. y Legorreta N. (2019). “Análisis tridimensional de la interacción suelo-estructura estática de un edificio con cimentación a base de zapatas desplantado sobre un suelo friccionante”. XVI Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 17-19 September, Cancún, México.
- Hermosillo A., Sanginés H., Demeneghi A. y Legorreta N. (2020). “Efecto de la no linealidad del suelo en la interacción suelo-estructura en losas de cimentación”. XXX Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica. Del 12 al 14 de noviembre del 2020, Guadalajara, Jal. México.

Mayne, P W y Kulhawy, F H (1982) “Ko –OCR relationships in soil”. Jour Geot Eng Div, ASCE, GT8, junio

Sanginés H. (2000). “Interacción Suelo Estructura en Suelos Friccionantes”. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería, UNAM

Tena C. Arturo (2007). Análisis de estructuras con métodos matriciales. Limusa. México.