



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**OBTENCIÓN DE ELEMENTOS
MECÁNICOS EN LA CIMENTACIÓN
DE UN EDIFICIO DE TRES NIVELES
CONSIDERANDO INTERACCIÓN
SUELO-ESTRUCTURA**

TESIS

Que para obtener el título de
INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A

Ricardo Razo Ferráez

DIRECTOR DE TESIS

DR. ARMANDO RAFAEL HERMOSILLO ARTEAGA



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Contenido

1. Introducción	3
2. Análisis Estructural	5
2.1 Método de las Rigideces	5
3. Teoría de las Deformaciones en Suelos	16
3.1 Cálculo de la Deformación Lineal del Suelo	17
3.2 Cálculo de la Deformación No Lineal del Suelo	19
3.3 Incremento de esfuerzos en la masa del suelo con carga uniforme	25
3.4 Asentamientos Permisibles	27
4. Interacción Suelo-Estructura	29
5. Resolución de Sistema de Ecuaciones No Lineales	32
6. Programa ISE3D	34
6.1 Descripción del Programa	34
6.2 Subrutinas	35
6.3 Manual de Uso	37
7. Ejemplo de Aplicación	41
7.1 Comparativa de Resultados	71
8. Conclusiones	
9. Referencias	

1. Introducción

El objetivo de este trabajo es tratar el tema de la Interacción suelo-estructura, ya que la importancia de este conocimiento recae en el desarrollo y crecimiento de las ciudades y asentamientos humanos. Todo esto se debe a que las propiedades mecánicas, químicas y geológicas del suelo le proporcionan características muy específicas y éste, a su vez, ofrecerá una respuesta distinta ante las cargas y condiciones a las que se encontrará sometido pudiendo ser muy variables de un sitio a otro, y dependiendo el tipo de estructura y subestructura que estará interactuando con él.

A través de los fundamentos universales que rigen nuestro entorno, el ser humano ha buscado la manera de desarrollarse con mejores métodos y medios que le brinden velocidad y precisión para realizar sus actividades.

En esta tesis se presenta un programa de cómputo desarrollado para calcular la interacción suelo-estructura, el cual está diseñado para leer los datos de una estructura, las propiedades del suelo y el tipo de análisis que se realizará, y con el cual se obtendrán los elementos mecánicos, hundimientos, desplazamientos y giros.

En el primer capítulo se presentan conceptos básicos del análisis estructural, particularmente el método de las rigideces, su procedimiento práctico y teórico.

Posteriormente se discuten las teorías de deformaciones; sus procedimientos de cálculo para la interacción suelo-estructura en un suelo friccionante, tanto por métodos elástico-lineales como no lineales.

A continuación, se revisa brevemente el incremento de esfuerzos en una masa de suelo con carga uniforme y se mencionan, de acuerdo las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones del Reglamento del Distrito Federal, los límites máximos para movimientos y deformaciones, es decir, los asentamientos permisibles.

En el capítulo siguiente se trata el tema de interacción suelo-estructura y se explica de forma muy general el procedimiento de cálculo a través de dos casos particulares de cimentaciones.

Por último, antes de abundar en el programa desarrollado, se presenta el método de Newton para la resolución de sistemas de ecuaciones no lineales, método que

fue implementado en el programa de interacción; como se verá más adelante, dicho método es iterativo.

Los capítulos anteriores son un antecedente para comprender el funcionamiento y la metodología del programa de computadora desarrollado; se hace una breve descripción del mismo y posteriormente se exponen las subrutinas con el orden lógico en el que está diseñado el programa, así como una reseña de cada una de las funciones que cumplen.

Con la finalidad de manipular correctamente el programa y poder así obtener resultados confiables, en el capítulo XX se presenta el Manual de Usuario del mismo. Como se comenta más adelante, los datos se ingresan a través de “tarjetas” o entradas de datos con un orden específico el cual, debe respetarse para que el programa lea la información adecuadamente. Para ello se construye un archivo de datos ubicado en la misma dirección donde se encuentra el programa.

Como ejemplo, a través de capturas de pantalla se mostrará gráficamente y paso a paso la secuencia con la que se trabajará con un ejercicio práctico desde el ingreso de los datos, la obtención de los resultados y la interpretación de los mismos.

2. Análisis Estructural

Es el proceso de cálculo y la determinación de los efectos de las cargas y fuerzas aplicadas en una estructura, conociendo estas cantidades y propiedades de los materiales de la estructura se puede valorar el margen de seguridad.

Un buen análisis se basa en prever con certeza el comportamiento de una estructura en las condiciones de servicio. Todas las estructuras se deforman continuamente a causa de las cargas, de los cambios de humedad, de la temperatura y por otras causas.

2.1 Método de las Rigideces

El análisis estructural puede realizarse con el método de las rigideces, en el que se debe cumplir (ec. 01):

$$K\delta + P_e + P_c = 0 \quad (\text{ec. 01})$$

Donde:

- K = matriz de rigidez de la estructura
- δ = vector de desplazamientos (grados de libertad)
- P_e = vector de cargas de empotramiento
- P_c = vector de cargas concentradas

El método de rigideces consta de las siguientes etapas (Beaufait *et al.*, 1970)

- a) Se empotra la estructura y se determinan los elementos mecánicos cuando la estructura está empotrada;
- b) Se liberan los nudos de la estructura y se hallan los elementos mecánicos debidos a desplazamientos lineales y angulares;
- c) Se establecen las condiciones de equilibrio en cada uno de los nudos donde haya desplazamientos diferentes de cero;
- d) Se resuelven las ecuaciones de equilibrio y se obtienen los desplazamientos de la estructura;
- e) Se obtienen los elementos mecánicos en los nudos de la estructura.

La matriz de rigideces de la estructura se puede obtener mediante la suma de las matrices de rigidez de todas y cada una de las barras que conforman la estructura. El vector de cargas de empotramiento de toda la estructura es igual a la suma de los vectores de carga de todas y cada una de las barras de la estructura.

A continuación, se obtiene la matriz de rigidez y el vector de cargas de empotramiento de una barra con apoyos continuos, sometida a una carga uniformemente repartida w (figura 2.1.1). Utilizando la siguiente convención de signos, para una barra horizontal: los giros se consideran positivos en sentido anti-horario, los desplazamientos verticales son positivos si van hacia abajo y los desplazamientos horizontales son positivos si van hacia la izquierda (figura 2.1.1a). Los momentos flexionantes son positivos en sentido horario, las fuerzas cortantes verticales son positivas si van hacia arriba y las fuerzas cortantes horizontales son positivas si van hacia la derecha (figura 2.1.1b).

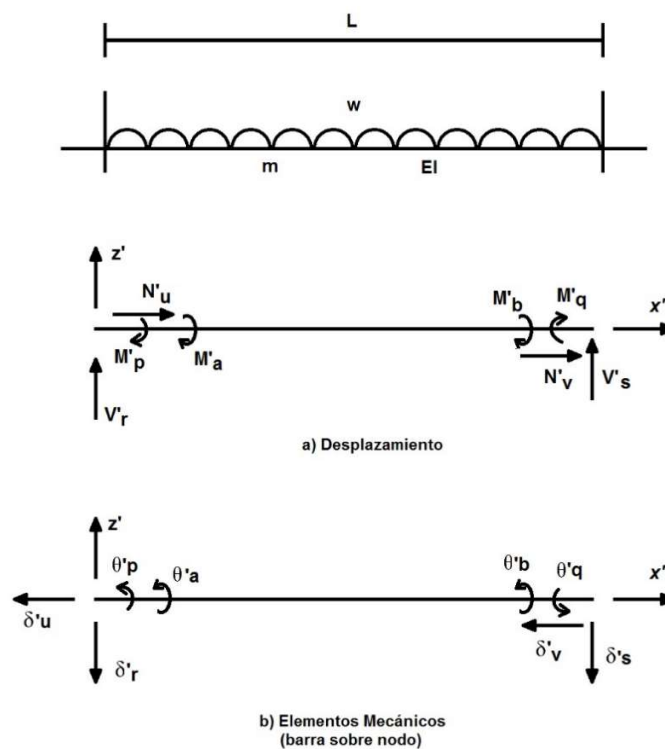
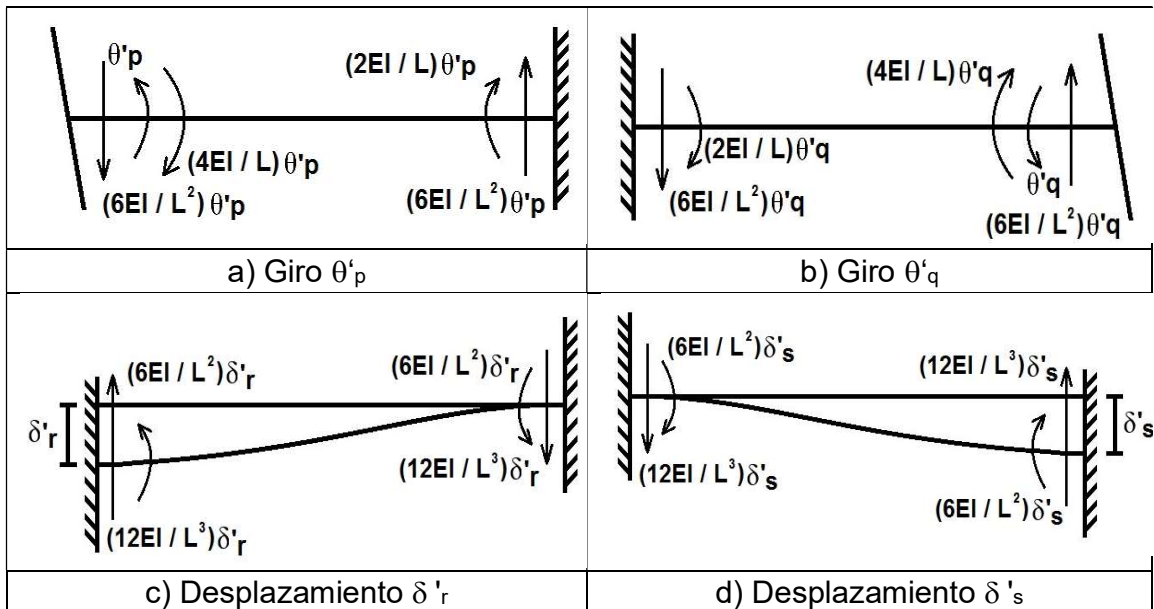


Figura 2.1. Grados de Libertad y elementos mecánicos. Convención de signos.

Demos un giro θ'_p en el extremo izquierdo de la barra. En la *fig 2.1.a* se muestran los elementos mecánicos ocasionados por este giro. En la *fig 2.1.b* se muestran los elementos mecánicos producidos por un giro θ'_q en el extremo derecho. Las *figuras 2.2c y 2.2d* exhiben los elementos mecánicos provocados por un desplazamiento vertical δ'_r en el nudo izquierdo y un desplazamiento vertical δ'_s en el nudo derecho, respectivamente. Las *figuras 2.2e y 2.2f* muestran los elementos mecánicos producidos por un desplazamiento horizontal δ'_u en el nudo izquierdo y un desplazamiento horizontal δ'_v en el nudo derecho. Las *figuras 2.2g y 2.2h* contienen los momentos producidos per un giro de torsión θ'_a en el nudo izquierdo y un giro de torsión θ'_b en el nudo derecho. Los elementos mecánicos que aparecen en la barra m valen

$$M_p' = \frac{wL^2}{12} + \left(\frac{4EI}{L}\right)\theta_p' + \left(\frac{2EI}{L}\right)\theta_q' - \left(\frac{6EI}{L^2}\right)\delta_r' + \left(\frac{6EI}{L^2}\right)\delta_s' \quad (\text{ec. 02})$$

$$M_q' = -\frac{wL^2}{12} + \left(\frac{2EI}{L}\right)\theta_p' + \left(\frac{4EI}{L}\right)\theta_q' - \left(\frac{6EI}{L^2}\right)\delta_r' + \left(\frac{6EI}{L^2}\right)\delta_s' \quad (\text{ec. 03})$$



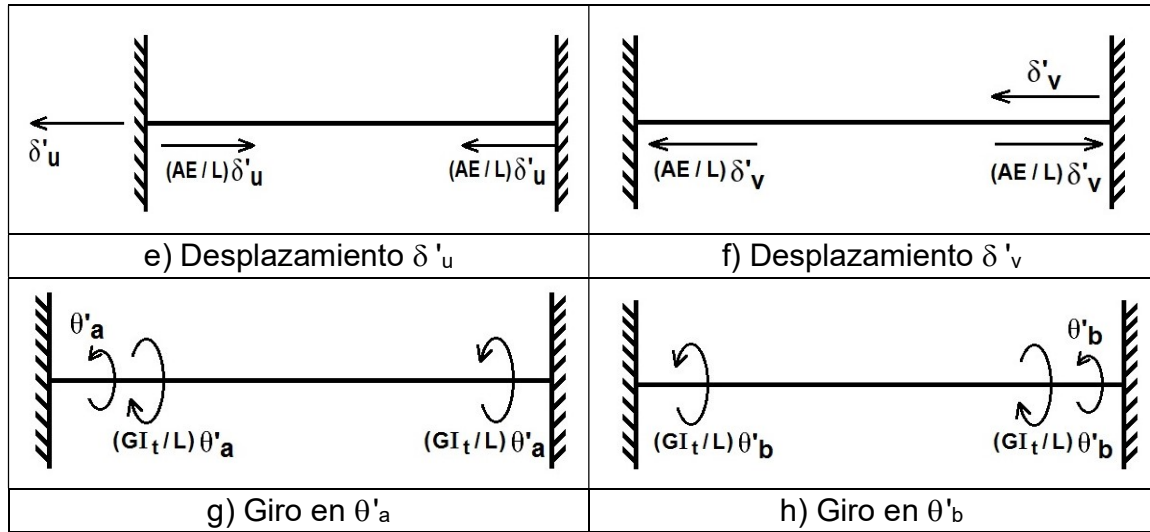


Figura 2.2. Elementos mecánicos ocasionados por desplazamientos lineales y angulares.

$$V'_r = -\frac{wL}{2} - \left(\frac{6EI}{L^2}\right)\theta'_p - \left(\frac{6EI}{L^2}\right)\theta'_q + \left(\frac{12EI}{L^3}\right)\delta'_r - \left(\frac{12EI}{L^3}\right)\delta'_s \quad (\text{ec. 04})$$

$$V'_s = -\frac{wL}{2} + \left(\frac{6EI}{L^2}\right)\theta'_p + \left(\frac{6EI}{L^2}\right)\theta'_q - \left(\frac{12EI}{L^3}\right)\delta'_r + \left(\frac{12EI}{L^3}\right)\delta'_s \quad (\text{ec. 05})$$

$$N'_u = \frac{AE}{L}\delta'_u - \frac{AE}{L}\delta'_v \quad (\text{ec. 06})$$

$$N'_v = -\frac{AE}{L}\delta'_u + \frac{AE}{L}\delta'_v \quad (\text{ec. 07})$$

$$M'_a = \frac{GL_t}{L}\theta'_a - \frac{GL_t}{L}\theta'_b \quad (\text{ec. 08})$$

$$M'_b = -\frac{GL_t}{L}\theta'_a + \frac{GL_t}{L}\theta'_b \quad (\text{ec. 09})$$

En una viga de sección rectangular de dimensiones b por h , el momento polar de inercia debido a torsión se puede valuar en forma aproximada (Deaufait et. al, 1970)

$$I_t \cong \frac{hb^3}{3} \left[1 - 0.63\frac{b}{h} + 0.052\left(\frac{b}{h}\right)^5 \right] \quad (\text{ec. 10})$$

$$h \geq b$$

Los elementos mecánicos que transmite la barra al nudo están dados por

$$\bar{P}_m = K_m \bar{\delta}_m + \bar{P}_m^{e'} \quad (\text{ec. 11})$$

Donde

$$K_m = \begin{bmatrix} \theta'_p & \theta'_q & \delta'_r & \delta'_s & \delta'_u & \delta'_v & \theta'_a & \theta'_b \\ \frac{4EI}{L} & \frac{2EI}{L} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{2EI}{L} & \frac{4EI}{L} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{6EI}{L^2} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{12EI}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{6EI}{L^2} & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{12EI}{L^3} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GI_t}{L} & -\frac{GI_t}{L} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GI_t}{L} & \frac{GI_t}{L} \end{bmatrix} \begin{matrix} \theta'_p \\ \theta'_q \\ \delta'_r \\ \delta'_s \\ \delta'_u \\ \delta'_v \\ \theta'_a \\ \theta'_b \end{matrix} \quad (\text{ec. 12})$$

$$\bar{\delta}'_m = \begin{bmatrix} \theta'_p \\ \theta'_q \\ \delta'_r \\ \delta'_s \\ \delta'_u \\ \delta'_v \\ \theta'_a \\ \theta'_b \end{bmatrix} \quad (\text{ec. 13})$$

$$P_m^e = \begin{Bmatrix} wL^2/12 \\ -wL^2/12 \\ -wL/2 \\ -wL/2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (\text{ec. 14})$$

En donde:

\bar{K}_m : Matriz de rigidez de la barra m

$\bar{\delta}_m^i$: Vector de desplazamientos de la barra m

F_m^e : Vector de cargas de empotramiento de la barra m

Veamos a continuación la determinación de la matriz de rigidez y del vector de cargas de empotramiento para una estructura tridimensional, formada por marcos planos ortogonales entre sí (figura 2.3); en cada marco pueden existir barras inclinadas. En la figura 2.4 se presenta la transformación de un vector del sistema global x-y al sistema local x'-y'. Aplicando las ecuaciones de la figura a la barra inclinada de la figura (despreciando el efecto de torsión con eje de giro vertical):

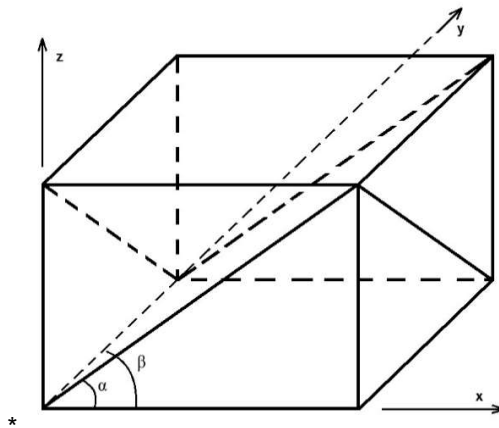


Figura 2.3. Marcos planos ortogonales entre sí.

$$\theta_p' = \theta_p \quad (\text{ec. 15})$$

$$\theta_q' = \theta_q \quad (\text{ec. 16})$$

$$\delta_r' = \delta_r \cos(\alpha) - \delta_u \text{sen}(\alpha) \quad (\text{ec. 17})$$

$$\delta_s' = \delta_s \cos(\alpha) - \delta_v \text{sen}(\alpha) \quad (\text{ec. 18})$$

$$\delta_u' = \delta_r \cos(\alpha) + \delta_u \text{sen}(\alpha) \quad (\text{ec. 19})$$

$$\delta_v' = \delta_s \cos(\alpha) + \delta_v \text{sen}(\alpha) \quad (\text{ec. 20})$$

$$\theta_a' = \theta_a'' \cos(\alpha) \quad (\text{ec. 21})$$

$$\theta_b' = \theta_b'' \cos(\alpha) \quad (\text{ec. 22})$$

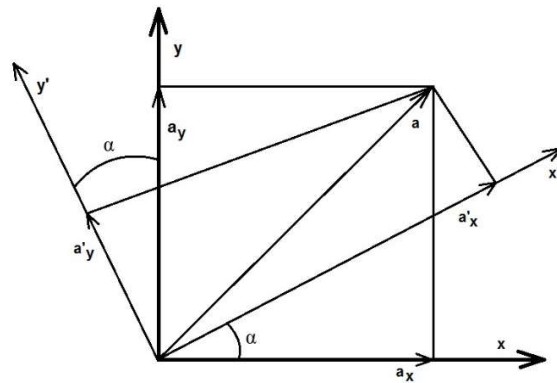


Figura 2.4. Transformación de un vector del sistema global $x-y$ al sistema local $x'-y'$

$$a'_x = a_x \cos(\alpha) - a_y \text{sen}(\alpha) \quad (\text{ec. 23})$$

$$a'_y = -a_x \text{sen}(\alpha) + a_y \cos(\alpha) \quad (\text{ec. 24})$$

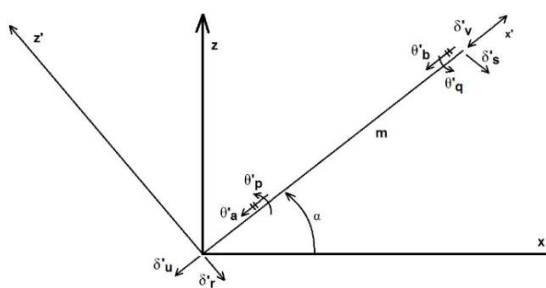
Aplicando las expresiones de la figura 2.5 a la barra de la figura 2.6.

$$\theta'_p = \theta_p \cos(\beta) - \theta_a \text{sen}(\beta) \quad (\text{ec. 25})$$

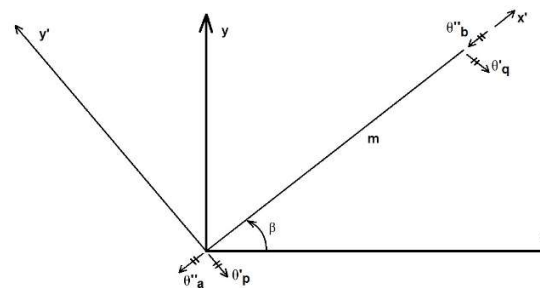
$$\theta'_q = \theta_q \cos(\beta) - \theta_b \text{sen}(\beta) \quad (\text{ec. 26})$$

$$\theta''_a = \theta_p \text{sen}(\beta) + \theta_a \cos(\beta) \quad (\text{ec. 27})$$

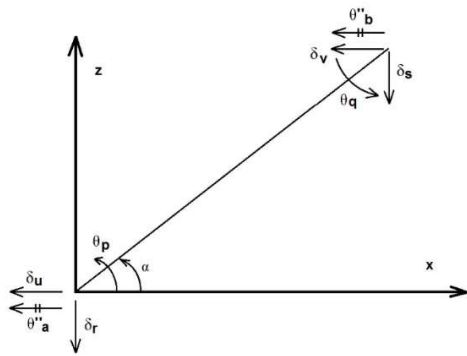
$$\theta''_b = \theta_q \text{sen}(\beta) + \theta_b \cos(\beta) \quad (\text{ec. 28})$$



a) Sistema local $x'-z'$

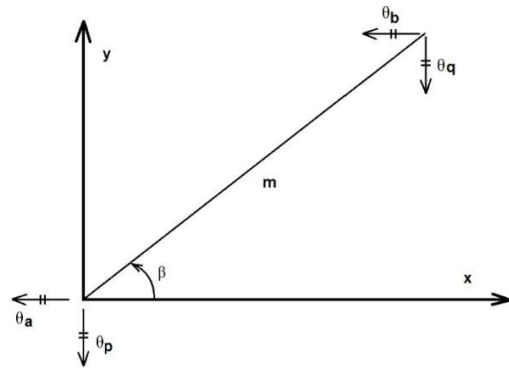


a) Sistema local $x'-y'$



b) Sistema global x-z

Figura 2.5. Desplazamientos de la barra inclinada



b) Sistema global x-y

Figura 2.6. Giros de la barra paralelos al plano x-y

Sean

$$\bar{\delta}'_m = \begin{bmatrix} \theta'_p \\ \theta'_q \\ \delta'_r \\ \delta'_s \\ \delta'_u \\ \delta'_v \\ \theta'_a \\ \theta'_b \end{bmatrix} \quad (\text{ec. 29})$$

$$\bar{\delta}_m = \begin{bmatrix} \theta_p \\ \theta_q \\ \delta_r \\ \delta_s \\ \delta_u \\ \delta_v \\ \theta_a \\ \theta_b \end{bmatrix} \quad (\text{ec. 30})$$

Es decir:

$$\bar{\delta}'_m = T_m \bar{\delta}_m \quad (\text{ec. 31})$$

Donde:

$$T_m = \begin{bmatrix} \theta'_p & \theta'_q & \delta'_r & \delta'_s & \delta'_u & \delta'_v & \theta'_a & \theta'_b \\ \cos(\beta) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\text{sen}(\beta) & 0 \\ 0 & \cos(\beta) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\text{sen}(\beta) \\ 0 & 0 & \cos(\alpha) & 0 & -\text{sen}(\beta) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos(\alpha) & 0 & -\text{sen}(\beta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \text{sen}(\beta) & 0 & \cos(\alpha) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \text{sen}(\beta) & 0 & \cos(\alpha) & 0 & 0 \\ \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta'_p \\ \theta'_q \\ \delta'_r \\ \delta'_s \\ \delta'_u \\ \delta'_v \\ \theta'_a \\ \theta'_b \end{bmatrix} \quad (\text{ec. 32})$$

Los desplazamientos de los sistemas local y global están relacionados mediante las expresiones:

$$\theta'_p = \theta_p \cos(\beta) - \theta_a \text{sen}(\beta) \quad (\text{ec. 33})$$

$$\theta'_q = \theta_q \cos(\beta) - \theta_b \text{sen}(\beta) \quad (\text{ec. 34})$$

$$\delta'_r = \delta_r \cos(\alpha) - \delta_u \text{sen}(\alpha) \quad (\text{ec. 35})$$

$$\delta'_s = \delta_s \cos(\alpha) - \delta_v \text{sen}(\alpha) \quad (\text{ec. 36})$$

$$\delta'_u = \delta_r \text{sen}(\alpha) + \delta_u \cos(\alpha) \quad (\text{ec. 37})$$

$$\delta'_v = \delta_s \text{sen}(\alpha) + \delta_v \cos(\alpha) \quad (\text{ec. 38})$$

$$\theta'_a = \theta_p \cos(\alpha) \text{sen}(\beta) + \theta_a \cos(\alpha) \cos(\beta) \quad (\text{ec. 39})$$

$$\theta'_b = \theta_q \cos(\alpha) \text{sen}(\beta) + \theta_b \cos(\alpha) \cos(\beta) \quad (\text{ec. 40})$$

En el sistema local $x'-z'$ (Figura 2.1.5)

$$P'_m = K_m \delta'_m + P_m^{e'} \quad (\text{ec. 41})$$

Pero

$$P_m^{e'} = T_m P_m^e \quad (\text{ec. 42})$$

y

$$\bar{P}'_m = \bar{T}_m \bar{P}_m \quad (\text{ec. 43})$$

Sustituyendo la ec 41 en la ec 43

$$\bar{T}_m \bar{P}_m = \bar{K}_m \bar{\delta}_m + \bar{P}_m^e \quad (\text{ec. 44})$$

Sustituyendo las ecs 32 y 42 en la ec 43

$$\bar{T}_m \bar{P}_m = \bar{K}_m' \bar{T}_m \bar{\delta}_m + \bar{P}_m^e \quad (\text{ec. 45})$$

Premultiplicando por \bar{T}_m^{-1}

$$\bar{P}_m = \bar{T}_m^{-1} \bar{K}_m' \bar{T}_m \bar{\delta}_m + \bar{P}_m^e \quad (\text{ec. 46})$$

Donde

$$T_m^{-1} = \begin{bmatrix} \theta_p & \theta_q & \delta_r & \delta_s & \delta_u & \delta_v & \theta_a & \theta_b \\ \cos(\beta) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\text{sen}(\beta)}{\cos(\alpha)} & 0 \\ 0 & \cos(\beta) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\text{sen}(\beta)}{\cos(\alpha)} \\ 0 & 0 & \cos(\alpha) & 0 & \text{sen}(\beta) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos(\alpha) & 0 & \text{sen}(\beta) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\text{sen}(\beta) & 0 & \cos(\alpha) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\text{sen}(\beta) & 0 & \cos(\alpha) & 0 & 0 \\ -\text{sen}(\beta) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\cos(\beta)}{\cos(\alpha)} & 0 \\ 0 & -\text{sen}(\beta) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\cos(\beta)}{\cos(\alpha)} \end{bmatrix} \begin{matrix} \theta_p \\ \theta_q \\ \delta_r \\ \delta_s \\ \delta_u \\ \delta_v \\ \theta_a \\ \theta_b \end{matrix} \quad (\text{ec. 47})$$

En el sistema global

$$\bar{P}_m = \bar{K}_m \bar{\delta}_m + \bar{P}_m^e \quad (\text{ec. 48})$$

Donde

$$\bar{K}_m = \bar{T}_m^{-1} \bar{K}_m' \bar{T}_m \quad (\text{ec. 49})$$

Sustituyendo las ec 12, 32 y 47 en la ec 49 se obtiene la matriz K_m , la cual se muestra en la *Tabla 2.1*.

Para el vector de cargas de empotramiento:

$$\bar{P}_m^e = \bar{T}^{-1} \bar{P}_m^{e'} \quad (\text{ec. 50})$$

Para una barra sometida a carga uniforme w en el sistema local $x'-z'$, el vector $\bar{P}_m^{e'}$ vale

$$P_m^e = \begin{Bmatrix} wL^2/12 & \cos \beta \\ -wL^2/12 & \cos \beta \\ -wL/2 & \cos \alpha \\ -wL/2 & \cos \alpha \\ wL/2 & \text{sen} \alpha \\ wL/2 & \text{sen} \alpha \\ -wL^2/12 & \text{sen} \beta \\ wL^2/12 & \text{sen} \beta \end{Bmatrix} \quad (\text{ec. 51})$$

La ec 49 proporciona la matriz de rigidez de la barra inclinada m , para el sistema coordenado general $x-y-z$. Las ec 50 ó 51 proporcionan el vector de cargas de empotramiento de la barra inclinada m , para el sistema coordenado general $x-y-z$.

Tabla 2.1. Matriz de rigidez, barra inclinada.

θ_p	θ_q	δ_r	δ_s	δ_u	δ_v	θ_a	θ_b	
$(4EI/L)\cos^2\beta + (GI_t/L)\text{sen}^2\beta$	$(2EI/L)\cos^2\beta - (GI_t/L)\text{sen}^2\beta$	$-(6EI/L^2)\cos\beta^*$ $\cos\alpha$	$(6EI/L^2)\cos\beta^*$ $\cos\alpha$	$(6EI/L^2)\cos\beta^*$ $\text{sen}\alpha$	$-(6EI/L^2)^*$ $\cos\beta\text{sen}\alpha$	$(-4EI/L+GI_t/L)^*$ $\cos\beta \text{sen}\beta$	$(-2EI/L-GI_t/L)^*$ $\cos\beta \text{sen}\beta$	θ_p
$(2EI/L)\cos^2\beta - (GI_t/L)\text{sen}^2\beta$	$(4EI/L)\cos^2\beta + (GI_t/L)\text{sen}^2\beta$	$-(6EI/L^2)\cos\beta^*$ $\cos\alpha$	$(6EI/L^2)\cos\beta^*$ $\cos\alpha$	$(6EI/L^2)\cos\beta^*$ $\text{sen}\alpha$	$-(6EI/L^2)^*$ $\cos\beta\text{sen}\alpha$	$(-2EI/L-GI_t/L)^*$ $\cos\beta \text{sen}\beta$	$(-4EI/L+GI_t/L)^*$ $\cos\beta \text{sen}\beta$	θ_q
$-(6EI/L^2)\cos\beta^*$ $\cos\alpha$	$-(6EI/L^2)\cos\beta^*$ $\cos\alpha$	$(12EI/L^3)\cos^2\alpha + (AE/L) \text{sen}^2\alpha$	$-(12EI/L^3)\cos^2\alpha - (AE/L) \text{sen}^2\alpha$	$(AE/L-12EI/L^3)^*$ $\cos\alpha\text{sen}\alpha$	$(12EI/L^3-AE/L)^*$ $\cos\alpha\text{sen}\alpha$	$(6EI/L^2)^*$ $\cos\alpha\text{sen}\beta$	$6EI/L^2)^*$ $\cos\alpha\text{sen}\beta$	δ_r
$(6EI/L^2)\cos\beta^*$ $\cos\alpha$	$(6EI/L^2)\cos\beta^*$ $\cos\alpha$	$-(12EI/L^3)\cos^2\alpha + (AE/L) \text{sen}^2\alpha$	$(12EI/L^3)\cos^2\alpha + (AE/L) \text{sen}^2\alpha$	$(12EI/L^3-AE/L)^*$ $\cos\alpha\text{sen}\alpha$	$(AE/L-12EI/L^3)^*$ $\cos\alpha\text{sen}\alpha$	$-(6EI/L^2)^*$ $\cos\alpha\text{sen}\beta$	$-(6EI/L^2)^*$ $\cos\alpha\text{sen}\beta$	δ_s
$(6EI/L^2)\cos\beta^*$ $\text{sen}\alpha$	$(6EI/L^2)\cos\beta^*$ $\text{sen}\alpha$	$(AE/L-12EI/L^3)^*$ $\cos\alpha\text{sen}\alpha$	$(12EI/L^3-AE/L)^*$ $\cos\alpha\text{sen}\alpha$	$(12EI/L^3)\text{sen}^2\alpha + (AE/L) \cos^2\alpha$	$-(12EI/L^3)\text{sen}^2\alpha - (AE/L) \cos^2\alpha$	$-(6EI/L^2)^*$ $\text{sen}\alpha\text{sen}\beta$	$-(6EI/L^2)^*$ $\text{sen}\alpha\text{sen}\beta$	δ_u
$-(6EI/L^2)^*$ $\cos\beta\text{sen}\alpha$	$-(6EI/L^2)^*$ $\cos\beta\text{sen}\alpha$	$(12EI/L^3-AE/L)^*$ $\cos\alpha\text{sen}\alpha$	$(AE/L-12EI/L^3)^*$ $\cos\alpha\text{sen}\alpha$	$-(12EI/L^3)\text{sen}^2\alpha - (AE/L) \cos^2\alpha$	$(12EI/L^3)\text{sen}^2\alpha + (AE/L) \cos^2\alpha$	$(6EI/L^2)^*$ $\text{sen}\alpha\text{sen}\beta$	$(6EI/L^2)^*$ $\text{sen}\alpha\text{sen}\beta$	δ_v
$(-4EI/L+GI_t/L)^*$ $\cos\beta \text{sen}\beta$	$(-2EI/L-GI_t/L)^*$ $\cos\beta \text{sen}\beta$	$(6EI/L^2)^*$ $\cos\alpha\text{sen}\beta$	$-(6EI/L^2)^*$ $\cos\alpha\text{sen}\beta$	$-(6EI/L^2)^*$ $\text{sen}\alpha\text{sen}\beta$	$(6EI/L^2)^*$ $\text{sen}\alpha\text{sen}\beta$	$(4EI/L)\text{sen}^2\beta + (GI_t/L) \cos^2\beta$	$(2EI/L)\text{sen}^2\beta - (GI_t/L) \cos^2\beta$	θ_a
$(-2EI/L-GI_t/L)^*$ $\cos\beta \text{sen}\beta$	$(-4EI/L+GI_t/L)^*$ $\cos\beta \text{sen}\beta$	$6EI/L^2)^*$ $\cos\alpha\text{sen}\beta$	$-(6EI/L^2)^*$ $\cos\alpha\text{sen}\beta$	$-(6EI/L^2)^*$ $\text{sen}\alpha\text{sen}\beta$	$(6EI/L^2)^*$ $\text{sen}\alpha\text{sen}\beta$	$(2EI/L)\text{sen}^2\beta - (GI_t/L) \cos^2\beta$	$(4EI/L)\text{sen}^2\beta + (GI_t/L) \cos^2\beta$	θ_b

En resumen, primero se utilizan la *Tabla 2.1.1* y las ecs 50 ó 51 para hallar la matriz de rigidez y el vector de cargas de empotramiento de las barras de la estructura. La

matriz de rigideces de la estructura completa se obtiene mediante la suma de las matrices de rigidez de todas y cada una de las barras que forman la estructura; el vector de cargas de empotramiento de la estructura completa es igual a la suma de los vectores de carga de todas y cada una de las barras de la estructura. Sustituyendo en la ec 1 se obtiene la ecuación matricial de equilibrio de toda la estructura; resolviendo el sistema de ecuaciones se obtienen los desplazamientos correspondientes al sistema global x-y-z (vector δ). Los elementos mecánicos en las barras se obtienen de la siguiente forma: primero se determinan los desplazamientos en el sistema local, con el empleo de la ec 31 ó las ecs 33 a 40:

$$\bar{\delta}' = \bar{T}_m \bar{\delta}_m \quad (\text{ec. 52})$$

A continuación, los elementos mecánicos en la barra m se determinan con la ec 53

$$\bar{P}'_m = \bar{K}'_m \bar{\delta}'_m + \bar{P}^{e'}_m \quad (\text{ec. 53})$$

3. Teoría de las Deformaciones en Suelos

Para el cálculo de las deformaciones del terreno de cimentación se toma en cuenta la rigidez de la estructura, los grados de libertad de la estructura se obtienen con el método de rigideces, tanto los desplazamientos de la subestructura como los del terreno son iguales, es decir, existe compatibilidad de deformaciones entre estructura y suelo.

El procedimiento de cálculo para la interacción suelo-estructura consiste en tres pasos:

- a) Calcular los desplazamientos de la subestructura,
- b) Evaluar los desplazamientos del terreno de cimentación, y
- c) Establecer la compatibilidad de deformaciones entre estructura y suelo.

En el artículo (Hermosillo et al., 2012) se presenta un análisis de interacción suelo-estructura de una zapata corrida sobre un suelo friccionante. En dicho trabajo se utiliza una ecuación constitutiva no lineal propuesta por Deméneghi (2008) para la compatibilidad de deformaciones. Así mismo, en el artículo se presenta el análisis de interacción suelo-estructura-superestructura usando como ejemplo un marco apoyado sobre un suelo friccionante; también se usó para la compatibilidad de deformaciones la ecuación constitutiva no lineal propuesta por Deméneghi.

En esta tesis se analiza la deformación de un suelo friccionante donde la presión es transmitida por una losa de cimentación, utilizando una ecuación constitutiva no lineal de deformación para suelos granulares propuesta por Deméneghi (2008). El análisis estructural se realiza por el método de rigideces, mientras que la compatibilidad de deformaciones se realiza con la solución de un sistema de ecuaciones no lineales con el método de Newton.

3.1 Cálculo de la Deformación Lineal del Suelo.

Otros métodos para el cálculo de deformaciones en suelos friccionantes por métodos elástico-lineales son:

1. El asentamiento se calcula empleando la Ley de Hooke para cada estrato

$$\delta_z = \left(\frac{H}{E_s}\right) [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)] \quad (\text{ec. 54})$$

En suelos friccionantes es importante tomar en cuenta el incremento de rigidez del terreno con la presión de confinamiento. Para esto se puede emplear en forma aproximada la fórmula de Jambú (1963) dada por:

$$E_i = E_{i0} + K p_a \left(\frac{p_c}{p_a}\right)^n \quad (\text{ec. 55})$$

En la tabla 3.1 se presentan valores estadísticos de los valores de K y n, en función de la compacidad del suelo.

Tabla 3.1. Valores aproximados de propiedades de deformación en suelos friccionantes.

Estado	D _r	N	q _c kg/cm ²	N	Normalmente cargado	Precargado
					K	
Muy suelto	< 0.2	< 4	< 20	0.65	< 140	< 420
Suelto	0.2 – 0.4	4 – 10	20 – 40	0.65 – 0.62	140 – 290	420 – 870
Medianamente Compacto	0.4 – 0.6	10 – 30	40 – 120	0.62 – 0.58	290 – 800	870 – 2400
Compacto	0.6 – 0.8	30 – 50	120 – 400	0.58 – 0.55	800 – 1300	2400 – 3900
Muy compacto	> 0.8	> 50	> 400	0.55	> 1300	> 3900

D_r: Capacidad relativa

N: Número de golpes en la prueba de penetración estándar.

q_c: Resistencia en la punta del cono holandés.

La presión de confinamiento *p_c* que debe utilizarse en la ec. 55 debe ser la presión efectiva dada por:

$$p_c = p_{c0} + \frac{1}{2} \Delta p_c \quad (\text{ec. 56})$$

Pero

$$\Delta p_c = \frac{1}{3}(\sigma_z + \sigma_x + \sigma_y) \quad (\text{ec. 57})$$

Por lo tanto

$$p_c = p_{co} + \frac{1}{6}(\sigma_z + \sigma_x + \sigma_y) \quad (\text{ec. 58})$$

Efecto de la presencia del nivel de agua freática (NAF). Sí el suelo se encuentra abajo del NAF en las ecs. 55 y 56 se deben de emplear la presión efectiva en vez de la presión total, pues la rigidez de una arena está en función de dicha presión efectiva.

2. El asentamiento se puede calcular por medio de la ecuación de Burland y Burbridge (1985; citados por Décourt, 1989).

Para zapatas en arenas normalmente cargadas está dado por

$$\delta = qB^{0.7}l_c \quad (\text{ec. 59})$$

Mientras que para arenas precargadas

$$\delta = \frac{1}{3}qB^{0.7}l_c \quad (\text{ec. 60})$$

Donde

$$l_c = 1.17/N^{1.4} \quad (\text{ec. 61})$$

q : Presión de contacto, [kN/m²].

B : Ancho de la cimentación, [m].

El asentamiento δ está dado en [mm].

3.2 Cálculo de la Deformación No Lineal del Suelo

El método de Deméneghi toma en cuenta la ecuación constitutiva de Juárez Badillo (1965) que utiliza la siguiente expresión para el cálculo de la deformación volumétrica de los materiales.

$$\frac{dV}{V} = -\gamma(d\sigma/\sigma) \quad (\text{ec. 62})$$

Donde

V: Volumen de un elemento de suelo.

σ : Esfuerzo isotrópico sobre el elemento de suelo.

γ : Parámetro que mide la compresibilidad volumétrica del material.

A partir de estas ideas de Juárez Badillo, Deméneghi propone el siguiente procedimiento para llegar a la ecuación constitutiva de la deformación del suelo no lineal.

Supongamos por un momento que el confinamiento inicial p_{beo} se mantiene constante. Demos incrementos de esfuerzo σ_z , σ_x y σ_y ; podemos usar entonces una variante de la ley de Hooke para el cálculo de la deformación unitaria.

$$\varepsilon \cong (1/A)[\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)]^r \quad (\text{ec. 63})$$

Donde $(1/A)$ es el coeficiente de proporcionalidad entre el esfuerzo desviador y la deformación unitaria, ν es la relación de Poisson y r un exponente que depende de la forma de la curva esfuerzo deformación unitaria del suelo.

Suponiendo que el espesor Δz_0 del elemento es suficientemente pequeño para que la relación entre el incremento de esfuerzo horizontal y el incremento de esfuerzo vertical sea constante, tenemos que:

$$a_1 = \frac{\sigma_x}{\sigma_z} \quad a_2 = \frac{\sigma_y}{\sigma_z} \quad (\text{ec. 64})$$

$$\sigma_x = a_1 \sigma_z \quad \sigma_y = a_2 \sigma_z \quad (\text{ec. 65})$$

Sustituyendo las ecuaciones

$$\varepsilon \cong (1/A)\{\sigma_z[1 - \nu(a_1 + a_2)]\}^r \quad (\text{ec. 66})$$

$$\varepsilon \cong (1/A)(f\sigma_z)^r \quad (\text{ec. 67})$$

siendo

$$f = 1 - \nu (a_1 + a_2) \quad (\text{ec. 68})$$

Por otra parte, como mencionamos antes, la deformación es función inversa del esfuerzo de confinamiento. Veamos a continuación cómo tomar en cuenta este efecto. Consideremos un elemento de suelo sometido a una presión de confinamiento inicial p_{beo} demos incrementos de esfuerzo σ_z , σ_x y σ_y , sobre el cuerpo. Estos incrementos de esfuerzo ocasionan que la presión de confinamiento p_{beo} aumente en una cantidad Δp_{beo} dado lugar a un nuevo valor de p_{be} , que vale

$$p_{be} = p_{beo} + \Delta p_{be} \quad (\text{ec. 69})$$

En términos generales, en mecánica de suelos se acepta que Δp_{be} es igual al incremento de esfuerzo normal en el plano octaédrico, o sea, que es igual al promedio de los incrementos de esfuerzo.

$$\Delta p_{be} = \frac{\sigma_z + \sigma_x + \sigma_y}{3} \quad (\text{ec. 70})$$

Para fines prácticos podemos sustituir la cantidad de (1/3) por coeficientes, es decir

$$\Delta p_{be} = b_1 \sigma_z + b_1 (\sigma_x + \sigma_y) \quad (\text{ec. 71})$$

Donde, dada la experiencia actual

$$b_1 = 1/3 \quad \text{y} \quad b_2 = 1/3 \quad (\text{ec. 72})$$

Reemplazando las ecuaciones

$$\Delta p_{be} = c \sigma_z \quad (\text{ec. 73})$$

Demos ahora incrementos diferenciales de esfuerzo al elemento. Con los resultados anteriores, podemos plantear una ecuación constitutiva general, en la que la deformación unitaria sea directamente proporcional a la variante de la ley de Hooke dada por la ec. 63, el inversamente proporcional a la presión de confinamiento dada por la ec. 69 (Figura 3.2), es decir (Deméneghi, 1984).

$$\frac{d(\Delta z)}{\Delta z} = - \frac{1}{A} \frac{(f \sigma_z / p_a)^r d(f \sigma_z / p_a)}{[(p_{beo} + c \sigma_z) / p_a]^s} \quad (\text{ec. 74})$$

Donde A es el módulo de rigidez del suelo, y r y s son exponentes que depende del tipo de suelo. p_a es la presión atmosférica = 101.3 KPa, a nivel del mar, que se introduce con el fin de que el módulo A sea adimensional (Jambú, 1963).

La ecuación anterior (ec. 74) es la ecuación constitutiva diferencial general que podemos usar para calcular la deformación de un suelo, para diferentes condiciones de carga.

Para el cálculo de la deformación vertical de un elemento de suelo de espesor Δz_0 (Figura 3.2) podemos usar la ec. 74, que corresponde a una ecuación constitutiva diferencial en un medio granular.

En suelos friccionantes, el exponente r varía entre 0 y 0.2. Para fines prácticos podemos tomar $r=0$; la ecuación ec. 74 queda

$$\frac{d(\Delta z)}{\Delta z} = -\frac{1}{A} \frac{d(f \sigma_z / p_a)}{[(p_{beo} + c \sigma_z) / p_a]^s} \quad (\text{ec. 75})$$

Al aumentar el esfuerzo normal vertical de 0 a σ_z , la altura del elemento cambia de la altura inicial Δz_0 a la altura final Δz_f (Figura 3.2). Por lo tanto, debemos integrar la ecuación anterior de Δz_0 a Δz_f el primer miembro y de 0 al segundo σ_z miembro.

$$\int_{\Delta z_0} \frac{d(\Delta z)}{\Delta z} = -\int_0 \frac{1}{A} \frac{d(f \sigma_z / p_a)}{[(p_{beo} + c \sigma_z) / p_a]^s} \quad (\text{ec. 76})$$

$$\frac{\Delta z_f}{\Delta z_0} = \exp \left\{ -\frac{f[(p_{beo} + c \sigma_z)^{1-s} - (p_{beo})^{1-s}]}{(1-s) c A p_a^{1-s}} \right\} \quad (\text{ec. 77})$$

Pero (Figura 3.2.1)

$$\Delta z_f = \Delta z_0 + \Delta w \quad (\text{ec. 78})$$

$$\frac{\Delta z_f}{\Delta z_0} = 1 + \Delta w / \Delta z_0 \quad (\text{ec. 79})$$

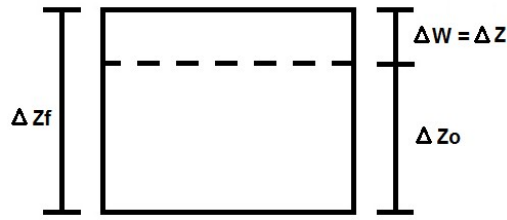


Figura 3.2. Deformación de un elemento de suelo de espesor inicial Δz_0 .

$$\frac{\Delta w}{\Delta z_0} = \frac{\Delta z_f}{\Delta z_0} - 1 \quad (\text{ec. 80})$$

$$\frac{\Delta w}{\Delta z_0} = \exp \left\{ -\frac{f[(p_{beo} + c \sigma_z)^{1-s} - (p_{beo})^{1-s}]}{(1-s) c A p_a^{1-s}} \right\} - 1 \quad (\text{ec. 81})$$

El desplazamiento Δw se mide hacia arriba. Para que el desplazamiento hacia abajo sea positivo (como es usual en la mecánica de suelos), hagamos $\delta_z = -\Delta w$. La ecuación queda

$$\delta_z = \left\{ 1 - \exp \left\{ -\frac{f[(p_{beo} + c \sigma_z)^{1-s} - (p_{beo})^{1-s}]}{(1-s) c A p_a^{1-s}} \right\} \right\} \Delta z_0 \quad (\text{ec. 82})$$

Esta ecuación permite calcular la deformación vertical de un elemento de suelo friccionante de espesor Δz_0 sujeto a incrementos de esfuerzo σ_z , σ_x y σ_y . Cabe aclarar que en suelos friccionantes el exponente s es del orden de 0.5.

Para fines prácticos, para el cómputo de la deformación de un suelo friccionante conveniente entonces emplear la ec. 82 con $s=0.5$, con el procedimiento que indica a continuación.

El coeficiente K_0 se calcula con la siguiente expresión (Mayne y Kulhawy, 1982).

$$K_0 = (1 - \text{sen } \varphi)(OCR)^{\text{sen } \varphi} \quad (\text{ec. 83})$$

Donde φ es el ángulo de fricción interna y OCR es la relación de preconsolidación del suelo en el campo.

La relación de Poisson ν se obtiene

$$\nu = K_0 / (1 + K_0) \quad (\text{ec. 84})$$

El módulo de rigidez promedio A_m del suelo se determina a partir del número de golpes de la prueba de penetración estándar (SPT), con la siguiente expresión aproximada

$$A_m = 26.25 N^{1.125} \quad (\text{ec. 85})$$

El módulo desfavorable se calcula en función del nivel de confianza α con

$$A = A_m C \quad (\text{ec. 86})$$

Donde

$$C = \exp[-0.784 t_\alpha \sqrt{1.00758 + 0.0152 (\ln N - 2.976)^2}] \quad (\text{ec. 87})$$

t_α es una variable t de Student, cuyos valores en función de α se muestran en la *Tabla 3.2*. Cabe aclarar que existe una probabilidad de α de que el módulo A del suelo sea menor que el valor dado por la ec. 86.

Tabla 3.2. Nivel de confianza en función de variable t de Student.

Nivel de Confianza α (%)	t_α
2.5	1.978
5	1.657
10	1.288
15	1.041
20	0.844
25	0.676
30	0.526
40	0.254
50	0

Finalmente, el cálculo de las deformaciones verticales δ_z de una cimentación en suelos friccionantes de espesor de un estrato de suelo friccionante de espesor Δz_0 sujeto a incrementos de esfuerzos σ_x , σ_y y σ_z está dado por:

$$\delta_z = \left\{ 1 - \exp \left\{ - \frac{f[(p_{beo} + c \sigma_z)^{1-s} - (p_{co})^{1-s}]}{(1-s) c A p_a^{1-s}} \right\} \right\} \Delta z_0 \quad (\text{ec. 88})$$

Donde:

$$f = 1 - \nu(a_1 + a_2) \quad (\text{ec. 89})$$

$$a_1 = \frac{\sigma_x}{\sigma_z} ; a_2 = \frac{\sigma_y}{\sigma_z} \quad (\text{ec. 90})$$

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

$$c = \frac{1}{3} + \frac{(a_1 + a_2)}{3} \quad (\text{ec. 91})$$

Los incrementos de esfuerzo σ_x , σ_y y σ_z en la masa del suelo se calculan con la teoría de la elasticidad que están dadas para σ_z por Damy (1985) y para σ_x y σ_y por Dashkó y Kagán (1980).

3.3 Incremento de esfuerzos en la masa del suelo con carga uniforme

Las expresiones para determinar los esfuerzos normales verticales bajo la esquina de un rectángulo sometido a una carga uniforme “q” aplicada en la superficie (Figura 3.3).

Para σ_z (Damy 1985)

$$\sigma_z = \frac{q}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{x^2+z^2} + \frac{1}{y^2+z^2} \right) \frac{xyz}{A} + \text{ang tan} \left(\frac{xy}{zA} \right) \right] \quad (\text{ec. 92})$$

Para σ_x y σ_y (Dashkó y Kagán 1980)

$$\sigma_x = \frac{q}{2\pi} \left[\frac{\pi}{2} - \frac{xyz}{(x^2+z^2)A} - \text{ang tan} \left(\frac{zA}{xy} \right) + (1 - 2\nu) \left(\text{ang tan} \left(\frac{y}{x} \right) - \text{ang tan} \left(\frac{yA}{xz} \right) \right) \right] \quad (\text{ec. 93})$$

$$\sigma_y = \frac{q}{2\pi} \left[\frac{\pi}{2} - \frac{xyz}{(y^2+z^2)A} - \text{ang tan} \left(\frac{zA}{xy} \right) + (1 - 2\nu) \left(\text{ang tan} \left(\frac{x}{y} \right) - \text{ang tan} \left(\frac{xA}{yz} \right) \right) \right] \quad (\text{ec. 94})$$

$$A = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (\text{ec. 95})$$

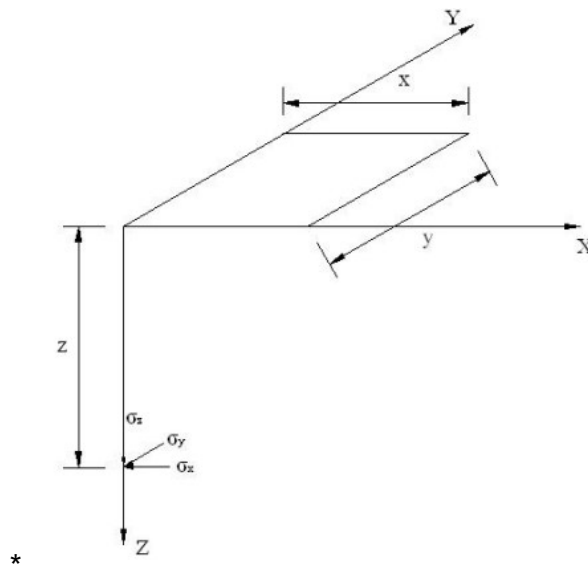


Figura 3.3. Incrementos de esfuerzo normal bajo la esquina de un rectángulo cargado uniformemente en un medio semi-infinito.

Definiendo el “Valor de Influencia”, es el esfuerzo producido por una carga unitaria.

Donde:

I_z : el incremento de esfuerzo vertical producido por una carga unitaria en la esquina de un rectángulo cargado uniformemente (*Figura 3.3*) y se calcula con la ecuación de Damy (1985):

$$I_z = \frac{1}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{x^2+z^2} + \frac{1}{y^2+z^2} \right) \frac{xyz}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}} + \text{ang tan} \frac{xy}{z\sqrt{x^2+y^2+z^2}} \right] \quad (\text{ec. 96})$$

I_x e I_y son los valores de influencia horizontales, producidos por una carga unitaria, en la esquina de un rectángulo cargado uniformemente (*Figura 3.3*); se calculan con las ecuaciones de Dashkó y Kagán, (Dashkó et al., 1980).

$$I_x = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\pi}{2} - \frac{xyz}{(x^2+z^2)\sqrt{x^2+y^2+z^2}} - \text{ang tan} \frac{z\sqrt{x^2+y^2+z^2}}{xy} + (1-2\nu) * \left(\text{ang tan} \frac{y}{x} - \text{ang tan} \frac{y\sqrt{x^2+y^2+z^2}}{xz} \right) \right] \quad (\text{ec. 97})$$

$$I_y = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\pi}{2} - \frac{xyz}{(y^2+z^2)\sqrt{x^2+y^2+z^2}} - \text{ang tan} \frac{z\sqrt{x^2+y^2+z^2}}{xy} + (1-2\nu) * \left(\text{ang tan} \frac{x}{y} - \text{ang tan} \frac{x\sqrt{x^2+y^2+z^2}}{yz} \right) \right] \quad (\text{ec. 98})$$

3.4 Asentamientos Permisibles

Asentamiento total permisible de la cimentación de una estructura, de tal forma que no se presente daño funcional en las siguientes instalaciones o elementos:

Tabla 3.3. Asentamientos permisibles en obras.

Obras de drenaje	15 a 30 cm
Accesos a la estructura	30 a 60 cm
Muros de mampostería	2.5 a 5 cm
Marcos estructurales de concreto o acero	5 a 10 cm
Losas o cajones de cimentación	7.5 a 30 cm

Los valores mayores son para asentamientos en terrenos de cimentaciones homogéneos y estructuras de buena calidad de construcción. Los valores menores son para asentamientos en terrenos de cimentación con estratigrafía errática y estructuras de regular calidad de construcción.

Tomado de Sowers (1962)

De acuerdo al Reglamento de las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones los límites se presentan en la *Tabla 3.4*. Respetando la numeración de las Normas de dicho reglamento.

Tabla 3.4. Límites máximos para movimientos y deformaciones originados en la cimentación

A) Movimientos verticales (hundimientos o emersión).

Concepto	Límite
En la zona I	
Valor medio en el área ocupada por la construcción:	
Asentamiento: Construcciones aisladas	5 cm
Construcciones colindantes	2.5 cm
En la zona II y III	
Valor medio en el área ocupada por la construcción:	
Asentamiento: Construcciones aisladas	30 cm
Construcciones colindantes	15 cm
Asentamiento: Construcciones aisladas	30 cm
Construcciones colindantes	15 cm
Velocidad del componente diferido	1 cm/semana

B) Inclinación media de la construcción		
Tipo de daño	Límite	Observaciones
Inclinación visible	$100/(100 + 3h_c) \%$	h_c : altura de la construcción [m]
Mal funcionamiento de grúas viajeras.	0.3%	En dirección longitudinal

C) Deformaciones diferenciales en la propia estructura y sus vecinas.

Tipo de Estructuras	Variable que se limita	Límite
Marcos de acero	Relación entre el asentamiento diferencial entre apoyos y el claro.	0.006
Marcos de concreto	Relación entre el asentamiento diferencial entre apoyos y el claro.	0.004
Muros de carga de tabique de barro o bloque de concreto	Relación entre el asentamiento diferencial entre apoyos y el claro.	0.002
Muros con acabados muy sensibles, como Yeso, piedra o mental, etc.	Relación entre el asentamiento diferencial entre apoyos y el claro.	0.001 <small>Se tolerarán valores mayores en la medida en la que la deformación ocurra antes de colocar los acabados o éstos se encuentren desligados a los muros.</small>
Páneles móviles o muros con acabados poco sensibles, como mampostería con juntas secas.	Relación entre el asentamiento diferencial entre apoyos y el claro.	0.004
Tuberías de concreto con juntas	Cambios de pendiente den las juntas.	0.015

¹Comprende la suma de los movimientos debidos a todas las combinaciones de carga que se especifican en el Reglamento y las Normas Técnicas Complementarias. Los valores de la tabla son sólo límites máximos y en cada caso habrá que revisar que no se cause ninguno de los daños mencionados

4. Interacción suelo-estructura

Es aquella parte de la ingeniería que estudia las deformaciones del terreno de cimentación cuando éstas se ven afectadas por la presencia y rigidez de la propia estructura. La influencia de la estructura puede ser 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.

Estos métodos están basados en el principio de que el contacto cimiento-terreno, los desplazamientos tanto de la subestructura como los del terreno son iguales, es decir, existe compatibilidad de deformaciones entre estructura y suelo.

Generalmente, el procedimiento de cálculo consiste en 3 pasos:

- Se calculan los desplazamientos de la subestructura.
- Se calculan los desplazamientos del terreno de cimentación, y
- Se establece la compatibilidad de deformaciones entre estructura y suelo.

Podemos distinguir 2 clases de situaciones en relación con la interacción:

- Zapatas Aisladas

Cuando los cimientos están lo suficientemente separados, de tal forma que la carga sobre un apoyo no ejerce influencia sobre los desplazamientos de los apoyos vecinos.

Para llevar a cabo, se hace uso del concepto de módulo de reacción o módulo de rigidez del terreno de cimentación.

Definamos el módulo de reacción o rigidez lineal vertical de un cimiento.

$$K_v = Q_v / \delta_v \quad (\text{ec. 99})$$

Donde

Q_v : es la fuerza vertical aplicada al cimiento y

δ_v : es el asentamiento vertical ocasionado por Q_v .

De la misma manera se define la horizontal.

$$K_h = Q_h / \delta_h \quad (\text{ec. 100})$$

Donde

Q_h : es la fuerza horizontal aplicada al cimiento y

δ_h : es el asentamiento horizontal ocasionado por Q_h .

Se define la rigidez a la rotación de un cimiento

$$K_r = M / \theta \quad (\text{ec. 101})$$

Donde:

M : es el momento aplicado al cimiento y

θ : el ángulo (En radianes) producido por dicho momento.

- Zapatas Continuas

Se trata de un cimiento en donde el desplazamiento de un punto está afectado por la carga repartida en toda la subestructura.

Sea un cimiento totalmente flexible con carga uniforme apoyado en un suelo cohesivo totalmente saturado. El asentamiento a largo plazo toma la forma indicada en la *Figura 4.1*; el diagrama de reacción del terreno en este caso es igual al de la carga, es decir, la reacción es uniforme. Si dicho cimiento se apoya sobre un suelo friccionante, el asentamiento se distribuye como se indica en la *Figura 3.2*; por ser el cimiento totalmente flexible, la reacción del suelo es también uniforme.

Sea ahora una placa de rigidez infinita apoyada en una arcilla totalmente saturada.

El hundimiento es uniforme, pero el diagrama de reacción a largo plazo toma la forma:

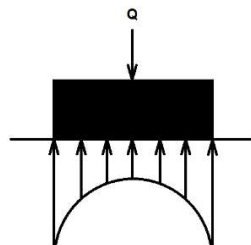


Figura 4.1. Diagrama de reacción de terreno en arcilla totalmente saturada.

Si la placa se apoya sobre el suelo friccionante, el diagrama de reacción toma la forma:

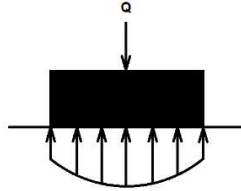


Figura 4.2. Diagrama reacción del terreno en suelo friccionante.

Los diagramas de asentamientos y de reacciones del terreno dependen de la clase de suelo y de la rigidez de la estructura. Un cimiento real puede quedar entre los dos casos extremos señalados, pues su rigidez no necesariamente es nula o infinita.

En esta tesis se presenta el análisis de la interacción suelo-estructura de una cimentación a base de losa.

Los suelos, a través de una cimentación, reciben las cargas de las edificaciones. Dichos asentamientos dependerán de la interacción entre el suelo y la estructura.

Conociendo la interacción que habrá entre un suelo y la estructura puede proponerse un diseño de cimentación que minimice los asentamientos y optimice el diseño estructural de dicha losa de cimentación.

En este trabajo se presenta el análisis estático de la interacción de una losa de cimentación con el suelo; por un lado, se plantea el análisis de las cargas que transmite la losa al suelo a través del método de rigideces, mientras que las deformaciones en el suelo se plantean mediante una ecuación constitutiva que puede ser lineal o no lineal. Ambos procedimientos se utilizan en este trabajo. Al resolverse el sistema de ecuaciones total se logra la compatibilidad de deformaciones.

5. Resolución de sistema de ecuaciones no lineales

El problema de encontrar la solución de un sistema de ecuaciones no lineales resulta más complicado que el caso de la solución de ecuaciones lineales. De hecho, algunos conjuntos de ecuaciones carecen de soluciones reales. El método de Newton puede aplicarse a sistemas de ecuaciones, así como a una sola ecuación no lineal. Comenzando con el siguiente ejemplo de dos ecuaciones con dos incógnitas, e igualando a acero:

$$f(x, y) = 0 \quad (\text{ec. 102})$$

$$g(x, y) = 0 \quad (\text{ec. 103})$$

Sea $x = r$ y $y = s$, y ambas funciones se desarrollan en una serie de Taylor con respecto a un punto (x_i, y_i) en términos de $(r - x_i), (s - y_i)$; donde (x_i, y_i) es un punto cerca de la raíz:

$$f(r, s) = 0 \quad (\text{ec. 104})$$

$$f(x_i, y_i) + f_x(x_i, y_i)(r - x_i) + f_y(x_i, y_i)(s - y_i) + \dots = 0 \quad (\text{ec. 105})$$

$$g(r, s) = 0 \quad (\text{ec. 106})$$

$$g(x_i, y_i) + g_x(x_i, y_i)(r - x_i) + g_y(x_i, y_i)(s - y_i) + \dots = 0 \quad (\text{ec. 107})$$

Al truncar la serie se obtiene:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f(x_i, y_i) \\ g(x_i, y_i) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_x(x_i, y_i) & f_y(x_i, y_i) \\ g_x(x_i, y_i) & g_y(x_i, y_i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r - x_i \\ s - y_i \end{bmatrix} \quad (\text{ec. 108})$$

Lo anterior puede reescribirse para resolverse como el sistema de ecuaciones:

$$\begin{bmatrix} f_x(x_i, y_i) & f_y(x_i, y_i) \\ g_x(x_i, y_i) & g_y(x_i, y_i) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} f(x_i, y_i) \\ g(x_i, y_i) \end{bmatrix} \quad (\text{ec. 109})$$

Donde

$$\Delta x_i = r - x_i, \text{ y } \Delta y_i = s - y_i \quad (\text{ec. 110})$$

La ec. 107 se resuelve por eliminación gaussiana y luego, si se hace

$$\begin{bmatrix} x_{i+1} \\ y_{i+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \end{bmatrix} \quad (\text{ec. 111})$$

Se obtiene una estimación mejorada de la raíz (r, s) . Este proceso se repite con i reemplazada por $i + 1$ hasta que f y g están próximas a 0. La extensión a más de dos ecuaciones simultáneas es directa. Por tanto, el método de Newton para un sistema de n ecuaciones puede escribirse al desarrollar la ec. 109. Así, se tiene:

$$\begin{bmatrix} f_{1x} & f_{1y} & f_{1z} & \cdots \\ f_{2x} & f_{2y} & f_{2z} & \cdots \\ f_{3x} & f_{3y} & f_{3z} & \cdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f_{nx} & f_{ny} & f_{nz} & \cdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_i \\ \Delta y_i \\ \Delta z_i \\ \vdots \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ \vdots \\ f_n \end{bmatrix} \quad (\text{ec. 112})$$

Evaluando en (x_i, y_i, z_i, \dots) . Al resolver lo anterior se calcula:

$$x_{i+1} = x_i + \Delta x_i, y_{i+1} = y_i + \Delta y_i, z_{i+1} = z_i + \Delta z_i, \dots \quad (\text{ec. 113})$$

En un programa de computadora resulta tedioso introducir cada una de las funciones de las derivadas parciales (que a menudo deben desarrollarse manualmente, a menos que se tenga acceso al sistema de álgebra por computadora o a una calculadora avanzada) a utilizar en la ec. 107. Una técnica alternativa es aproximar estas parciales volviendo a calcular la función con una pequeña perturbación a cada una de las variables a la vez:

$$(f_1)_x = \frac{f_1(x+\delta, y, z, \dots) - f_1(x, y, z, \dots)}{\delta}, \quad (\text{ec. 114})$$

$$(f_1)_y = \frac{f_1(x, y+\delta, z, \dots) - f_1(x, y, z, \dots)}{\delta}, \quad (\text{ec. 115})$$

$$(f_1)_{x_j} = \frac{f_1(x, y, z, \dots, x_j+\delta) - f_1(x, y, z, \dots, x_j)}{\delta}, \quad (\text{ec. 116})$$

Relaciones semejantes se usan para cada variable en cada función.

Para la resolución de la interacción suelo-estructura se realizó el programa de cómputo ISE3D, escrito en lenguaje FORTRAN y compilado para computadoras de escritorio de 32 y 64 bits.

6. Programa ISE3D

6.1 Descripción del programa

El programa ISE3D realiza la interacción suelo-estructura y está escrito en lenguaje FORTRAN (Sanginés 2000, Hermsillo et. al 2014). Actualmente, el programa analiza la interacción suelo-estructura planteando la matriz de rigideces de la estructura y después ampliando dicha matriz con la matriz de flexibilidades del suelo, con lo cual se logra la compatibilidad de deformaciones. Esta última se estructura a partir de las propiedades del suelo y depende de cómo se considere el suelo, ya sea con un comportamiento lineal o no lineal, para el caso no lineal se considerará la teoría del profesor Agustín Demeneghi (1979) para suelos friccionantes.

El programa está compuesto por subrutinas las cuales, se describen en el siguiente capítulo. Éstas son presentadas siguiendo el orden lógico en el algoritmo.

Así mismo, está estructurado de tal forma que en la adquisición de datos del problema en estudio el usuario puede definir las características generales del caso y subsecuentemente las dichas características tanto de la superestructura, subestructura y el suelo.

Tanto la superestructura como la cimentación pueden definirse a través de áreas rectangulares.

6.2 Subrutinas

El programa ISE3D consta de las siguientes subrutinas, las cuales realizan lo que se indica en cada una de ellas:

LECN:	Lectura de datos de nodos.
LECB:	Lectura de datos de barras.
ZAP:	Lectura de datos de zapatas.
GLIB:	Calcula los grados de libertad de cada barra.
COSDIR:	Calcula los cosenos directores de cada barra en el sistema global.
LECLOS:	Lectura de incidencias de losas de cimentación.
LECMAT:	Lectura de propiedades elásticas de los materiales.
LECC:	Lectura de cargas concentradas y de empotramiento.
CALC_AR:	Calcula las áreas y longitudes de las reacciones.
PROSU:	Lectura de propiedades del suelo y calcula presiones del suelo.
VALINF:	Calcula valores de influencia IX, IY, IZ.
LECEJESDIAG:	Lectura de barras para diagramas de elementos mecánicos.
FORMA_MAT_K:	Forma la matriz de rigideces.
FLSC:	Matriz de flexibilidades lineal sin confinamiento, Ez_{ij} entra como dato.
MAT_FLEX_K:	Calcula la matriz de flexibilidades para zapatas aisladas.
HUND:	Calcula hundimientos.
ELEM_MEC:	Calcula elementos mecánicos en los nodos.
DIAGRAMAS_V_M:	Calcula los diagramas de elementos mecánicos.
SoINLDem:	Resuelve el sistema no lineal (Demeneghi) por el método de newton.
FLEXJ:	Matriz de flexibilidades lineal para zapatas aisladas.

FLSC_3:	Matriz de flexibilidades lineal sin confinamiento, Ez_{ij} entra como dato. (caso 3)
FLSC_4:	Matriz de flexibilidades lineal sin confinamiento, Ez_{ij} entra como dato. (caso 4)
BOUSI:	Calcula esfuerzos IX, IY, IZ.
Gaussj	Solución del sistema de ecuaciones lineales por Gauss-Jordan.
SUB200:	Obtiene los esfuerzos σ_x , σ_y y σ_z .
CalcDefNL	Calcula las deformaciones no lineales (MÉTODO DE DEMÉNEGHI)
TRANSP:	Calcula la transpuesta de una matriz.
MULMAT:	Multiplica matrices.
PCRUZ:	Calcula el producto cruz de 2 vectores.

6.3 Manual de usuario

Las tarjetas de datos que se deben preparar son las siguientes:

- Tarjeta 1: Datos generales

NN:	Número de Nodos. Deben considerarse los nodos pertenecientes a las barras y además incluir nodos auxiliares. Éstos deben ser en número igual al número de barras
NB:	No. de barras
NLOS:	Número de losas de cimentación
NZAP:	Número de zapatas aisladas
NMAT	Número de materiales de barras
NPS:	No. de perfiles de suelo
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
Pa :	Presión atmosférica (t/m ²)

- Tarjeta 2: Lectura de coordenadas de nodos, y sus restricciones. Se leerán NN tarjetas

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

DF Profundidad de desplante

**Nota: 0 es libre, 1 es fijo

- Tarjeta 3: Lectura de barras

NBarra: No. de barra.

B Ancho de la barra

H Peralte de la barra

T_Mat Tipo de material

W1: Carga (t/m) para Caso1

W2: Carga (t/m) para Caso2

W3: Carga (t/m) para Caso3

W4: Carga (t/m) para Caso4

N₁ Primer nodo de la barra

N₂ Segundo nodo de la barra

N_k Nodo auxiliar de la barra (indica la dirección de su eje vertical). N_k =1 si el vector de posición N₁ – N_k forma un ángulo positivo con el vector de posición N₁ – N₂, de lo contrario N_k =-1.

- Tarjeta 4: Si NZAP >0, se realiza lectura de zapatas aisladas. Si no, no se realiza la lectura de tarjeta 4.

NZ_i Número de zapata

BZ: Ancho de la zapata

LZ: Longitud de la zapata

HZ: Peralte de la zapata

NNZ: Nodo en donde está la zapata

NTP_i: Perfil asociado a la zapata *i*

- Tarjeta 5: Si NLOS >0, se lee datos de losas. Si no, no se realiza la lectura de tarjeta 5.

NL No. de losa

LOSAS Incidencias de losas (4 nodos por losa, sentido antihorario)

- Tarjeta 6: Lectura de materiales (de barras)

IMAT Tipo de material i (desde 1 en orden ascendente)

E_i Módulo de elasticidad

ν_i Relación de Poisson

- Tarjeta 7: Lectura de cargas concentradas en nodos

NNC Número de nodos cargados.

Tarjeta 7.1: Se leerán a continuación NNC tarjetas con seis cargas cada una para cada nodo P_j

P_j $F_{x_j}, F_{y_j}, F_{z_j}, M_{x_j}, M_{y_j}, M_{z_j}$

- Tarjeta 8: Lectura de propiedades por perfil de suelo.

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

- Tarjeta 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)

- Tarjeta 8.2: Propiedades para análisis por expansión (Si Caso1=1, si Caso1=0 omitir esta tarjeta)

Ee $_{i,j}$: Módulo de rigidez del estrato j (t/m^2)

NUe $_{i,j}$: Relación de Poisson

- Tarjeta 8.3: Propiedades para análisis por deformación inmediata (Si Caso2=1, si Caso2=0 omitir esta tarjeta)

Eu $_{i,j}$: Módulo de rigidez del estrato j (t/m^2)

NU $_{i,j}$: Relación de Poisson

KO $_{i,j}$ Coeficiente de presión de tierra en reposo del estrato j del perfil i

$K_{i,j}$ Coeficiente k del suelo, para el cálculo del módulo de deformación E_i , del estrato j del perfil i

$N_{i,j}$ Coeficiente N del suelo, para el cálculo del módulo de deformación E_i , del estrato j del perfil i

$A_{i,j}$ Módulo de deformación no lineal del suelo adimensional (Método Deméneghi), del estrato j del perfil i

- Tarjeta 8.4: Propiedades para análisis por deformación diferida (consolidación primaria) (Si Caso3=1, si Caso3=0 omitir esta tarjeta)

$Ev_{i,j}$ Módulo de rigidez por cambio volumétrico del estrato j (t/m^2)

$AP_{i,j}$ Módulo adimensional Ap para consolidación primaria

$T_{i,j}$ Factor tiempo

- Tarjeta 8.5: Propiedades para análisis por deformación diferida (consolidación secundaria) (Si Caso4=1, si Caso4=0 omitir esta tarjeta)

$E_{mt\ i,j}$ Módulo de rigidez por cambio de forma del estrato j (t/m^2)

$A_{cs\ i,j}$ Módulo adimensional Acs para consolidación secundaria

PSI Parámetro ζ , consolidación secundaria

$T_{i,j}$ Factor tiempo

- Tarjeta 9 Lectura de ejes para cálculo de diagramas de fuerza cortante y momento flexionante

NEJES: Número de ejes

NSB: Número de secciones en que se divide cada barra

Tarjeta 9.1 Se leerán el número de barras del eje i

$NBEJE_i$ Número de barras en eje i

Tarjeta 9.2 Barras que conforman al eje i

$BAREJE(i,j)$ NB_1, NB_2, \dots, NB_j , Barras que pertenecen al eje i

NOTA. Para ejecutar el programa deben ser copiadas las librerías (dll) incluidas en la carpeta "librerías" a la carpeta de windows (c:\windows)

7. Ejemplo de Aplicación

En este capítulo se presenta un ejemplo práctico para mostrar y comprender la manera lógica de análisis de interacción suelo-estructura de una losa de cimentación, utilizando el software ISE 3D desarrollado por el M. I. Héctor Sanginés (Sanginés, 2002) considerando deformaciones no lineales (Deméneghi, 2008), (Hermosillo et al., 2012), (Hermosillo *et al.*, 2014), y actualizado para analizar estructuras tridimensionales.

Para ello, se realiza un ejercicio práctico donde se analiza un edificio de 3 niveles y planta baja con cimentación a base de losa y contratrabes con una geometría rectangular de 320 m² que a continuación se presentará esquemáticamente.

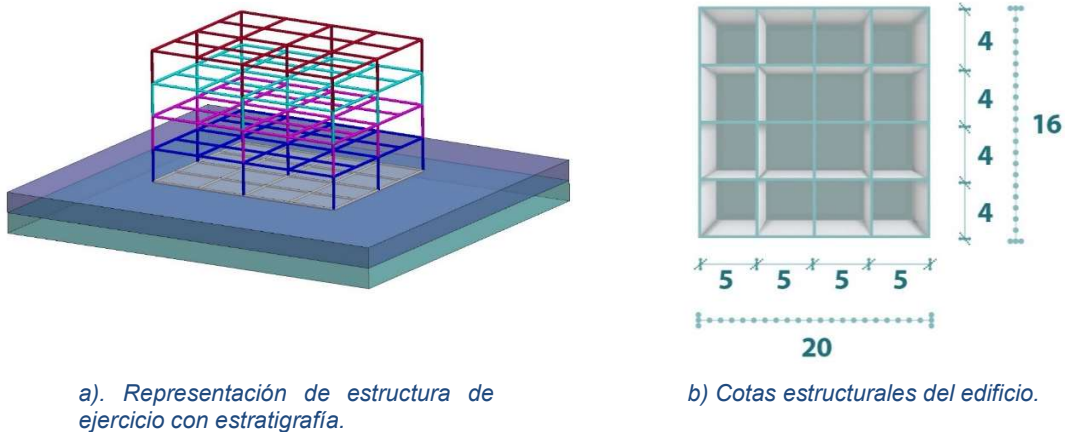


Figura 7.1. Croquis de planta, y elevación del edificio.

Como se puede observar en la figura 7.1a la losa cuenta con una base de 20 m y una longitud de 16 m, con una separación de 5 y 4 m respectivamente, la retícula propuesta será utilizada para calcular elementos mecánicos en distintos puntos los cuales, serán identificados a través de los ejes mostrados en la figura 7.2

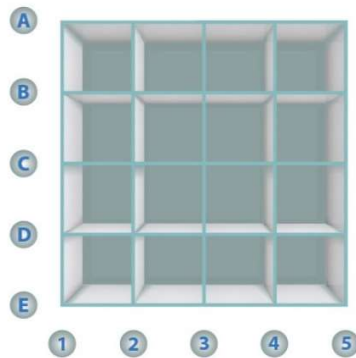


Figura 7.2. Denominación de ejes para cuadrícula.

En este ejercicio se considerarán 2 estratos, sin embargo, el programa está diseñado para aceptar la cantidad de estratos que sean pertinentes en el proyecto. A mayor riqueza en datos e información menor incertidumbre en resultados.

No olvidar que, para la identificación de los estratos deberá ser precisada por medio de la mecánica de suelos la estratigrafía, la cual descarta el terreno superficial natural o los rellenos debido a sus condiciones mecánicas pobres.

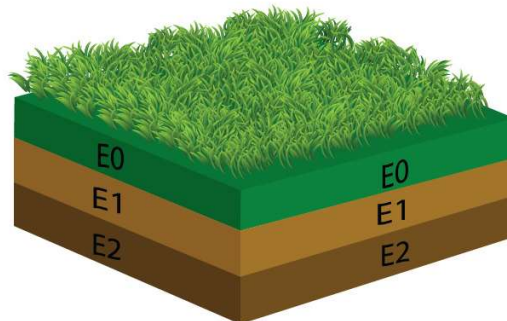


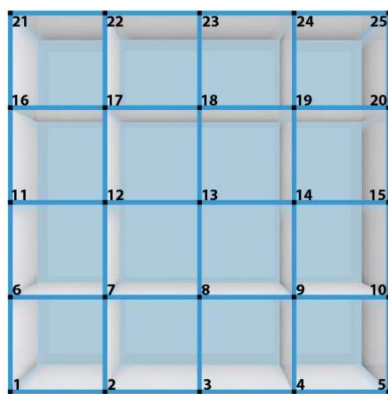
Figura 7.3. Representación de estratigrafía con terreno natural.

El programa está diseñado para realizar tres tipos de análisis, los cuales se podrán seleccionar en la tarjeta 1 en la subrutina KANAL donde la opción (0) será para un análisis elástico lineal, (1) Elástico lineal con Janbú, y (2) No lineal para suelos friccionantes (Demeneghi)).

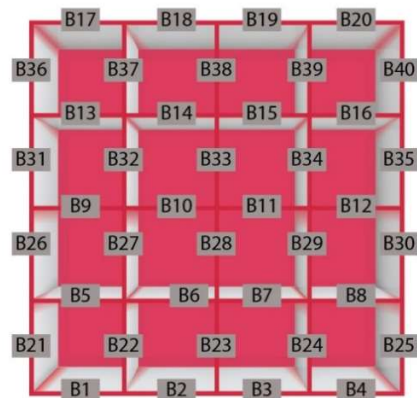
En este ejercicio, para el cálculo de las deformaciones del suelo, se utilizarán el método no lineal presentado como opción número (2) en los datos generales y la

opción (0), siendo este último el caso lineal; y no menos importante la opción 1, realizando el análisis por el método de Jambú para considerar el confinamiento en los suelos friccionantes.

A continuación, se mostrará gráficamente el acomodo y numeración nodal así como el ordenamiento de las barras del reticulado de la cimentación del edificio en cuestión. No olvidar que dichas barras representan una contratabe, la cual, al igual que la losa deberá ser diseñada a partir de los elementos mecánicos y reacciones obtenidas del análisis suelo estructura.



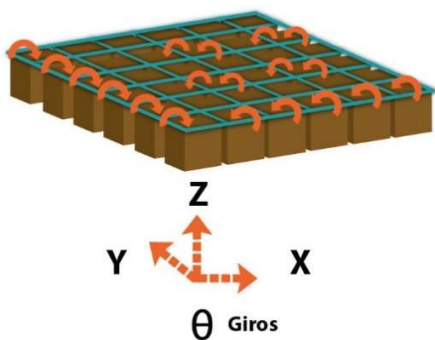
a). Numeración de nodos en cuadrícula.



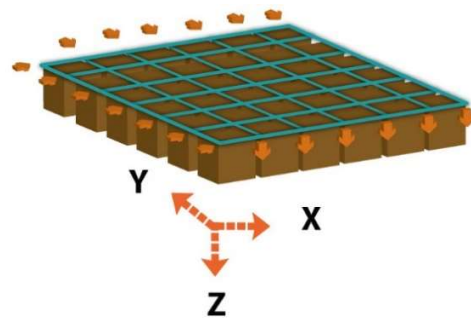
b) Numeración de barras en cuadrícula

Figura 7.4. Numeración de nodos y barras.

Ya que el programa trabaja en las 3 direcciones llamaremos a estas como “x” “y” y “z” ubicadas en las direcciones tradicionalmente conocidas. Además recordar que el análisis considera torciones, desplazamientos y giros (ver figura 7.5).



a). Giros



b). Desplazamientos

Figura 7.5. Convención de giros y desplazamientos.

Antes de empezar, deberá tenerse bien definido el proyecto de estudio, así como la información de mecánica de suelos. Posteriormente se requerirán consultar las instrucciones del programa para realizar el llenado correcto de la base de datos; en caso de cometerse un error en el vaciado de información se corre el riesgo de que el programa interprete incorrectamente los datos o en su defecto arroje un mensaje de error. Por lo anterior, se recomienda revisar la congruencia tanto de los datos asignados como de los resultados para evitar una incongruencia.

A continuación, se mostrará el procedimiento del uso del programa resolviendo el ejercicio propuesto. Véase que la entrada de datos se registrará para un análisis de tipo lineal sin embargo más adelante se registrarán los resultados del análisis No Lineal.

Haciendo uso del Manual de Usuario se hace el vaciado de datos del proyecto, siguiendo cada paso indicado por el mismo, en un archivo de datos (véase en las figuras de la 7.6 a 7.8)

Tarjeta 1											
125	236	16	0	1	1	0	1	1	1	0	10.3
Tarjeta 2											
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
4	15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
5	20	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
6	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0
7	5	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0
8	10	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	15	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	20	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0
11	0	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0
12	5	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0
13	10	8	0	1	1	0	0	0	0	1	0
14	15	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0
15	20	8	0	0	0	0	0	0	0	1	0
16	0	12	0	0	0	0	0	0	0	1	0
17	5	12	0	0	0	0	0	0	0	1	0
18	10	12	0	0	0	0	0	0	0	1	0
19	15	12	0	0	0	0	0	0	0	1	0
20	20	12	0	0	0	0	0	0	0	1	0
21	0	16	0	0	0	0	0	0	0	1	0
22	5	16	0	0	0	0	0	0	0	1	0
23	10	16	0	0	0	0	0	0	0	1	0
24	15	16	0	0	0	0	0	0	0	1	0
25	20	16	0	0	0	0	0	0	0	1	0
26	0	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0
27	5	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0
28	10	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0
29	15	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0
30	20	0	3.2	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 7.6. Ingreso de datos generales y nodos del programa ISE3D.

Tarjeta 3

1	0.8	0.6	1	1.6	1.6	1.6	1.6	1	2	26
2	0.8	0.6	1	1.6	1.6	1.6	1.6	2	3	27
3	0.8	0.6	1	1.6	1.6	1.6	1.6	3	4	28
4	0.8	0.6	1	1.6	1.6	1.6	1.6	4	5	29
5	0.8	0.6	1	3.2	3.2	3.2	3.2	6	7	31
6	0.8	0.6	1	3.2	3.2	3.2	3.2	7	8	32
7	0.8	0.6	1	3.2	3.2	3.2	3.2	8	9	33
8	0.8	0.6	1	3.2	3.2	3.2	3.2	9	10	34
9	0.8	0.6	1	3.2	3.2	3.2	3.2	11	12	36
10	0.8	0.6	1	3.2	3.2	3.2	3.2	12	13	37
11	0.8	0.6	1	3.2	3.2	3.2	3.2	13	14	38
12	0.8	0.6	1	3.2	3.2	3.2	3.2	14	15	39
13	0.8	0.6	1	3.2	3.2	3.2	3.2	16	17	41
14	0.8	0.6	1	3.2	3.2	3.2	3.2	17	18	42
15	0.8	0.6	1	3.2	3.2	3.2	3.2	18	19	43
16	0.8	0.6	1	3.2	3.2	3.2	3.2	19	20	44
17	0.8	0.6	1	1.6	1.6	1.6	1.6	21	22	46
18	0.8	0.6	1	1.6	1.6	1.6	1.6	22	23	47
19	0.8	0.6	1	1.6	1.6	1.6	1.6	23	24	48
20	0.8	0.6	1	1.6	1.6	1.6	1.6	24	25	49
21	0.8	0.6	1	1	1	1	1	1	6	26
22	0.8	0.6	1	2	2	2	2	2	7	27
23	0.8	0.6	1	2	2	2	2	3	8	28
24	0.8	0.6	1	2	2	2	2	4	9	29
25	0.8	0.6	1	1	1	1	1	5	10	30
26	0.8	0.6	1	1	1	1	1	6	11	31
27	0.8	0.6	1	2	2	2	2	7	12	32
28	0.8	0.6	1	2	2	2	2	8	13	33
29	0.8	0.6	1	2	2	2	2	9	14	34
30	0.8	0.6	1	1	1	1	1	10	15	35
31	0.8	0.6	1	1	1	1	1	11	16	36
32	0.8	0.6	1	2	2	2	2	12	17	37
33	0.8	0.6	1	2	2	2	2	13	18	38
34	0.8	0.6	1	2	2	2	2	14	19	39
35	0.8	0.6	1	1	1	1	1	15	20	40

Figura 7.7. Ingreso de datos de elementos y cargas repartidas sobre ellos del programa ISE3D.

```

Tarjeta 5
  1      1      2      7      6
  2      2      3      8      7
  3      3      4      9      8
  4      4      5     10      9
  5      6      7     12     11
  6      7      8     13     12
  7      8      9     14     13
  8      9     10     15     14
  9     11     12     17     16
 10     12     13     18     17
 11     13     14     19     18
 12     14     15     20     19
 13     16     17     22     21
 14     17     18     23     22
 15     18     19     24     23
 16     19     20     25     24

Tarjeta 6
  1 1130000      0.3

Tarjeta 7
  1
  1      0      0      0      0      0      0

Tarjeta 8
  2
  1      1      1.0      1.7
2500.00      0.29      % PROPIEDADES PARA EXPANSIÓN : Ee , NU
2500.00      0.29      0.42      749.0 0.58      573.39 % PROPIEDADES PARA COMPRESIÓN INMEDIATA : Eu,NU,k0,k,n,A_DEM
2500.00      35.10 0.73 % PROPIEDADES PARA COMPRESIÓN DIFERIDA,CONSOLIDACION PRIMARIA : (Ev,NU=0,AP,T)

  2      2      2.50      1.9
3000.00      0.31      % PROPIEDADES PARA EXPANSIÓN : Ee , NU
3000.00      0.31      0.46      647.0 0.59      482.30 % PROPIEDADES PARA COMPRESIÓN INMEDIATA : Eu,NU,k0,k,n,A_DEM
3000.00      35.10 1.73 % PROPIEDADES PARA COMPRESIÓN DIFERIDA,CONSOLIDACION PRIMARIA : (Ev,AP,T)

Tarjeta 9
  4      10
  4
  1      2      3      4
  4
  5      6      7      8
  4
  9      10     11     12
  4
 13      14     15     16

```

Figura 7.8. Ingreso de datos sobre losas, materiales, cargas concentradas y propiedades del suelo del programa ISE3D.

Puede verse en la figura 7.8 que al final se indica (en la tarjeta 9) en que elementos (ejes) se imprimirán los resultados.

Una vez completo y correcto lo anterior, se requerirá ubicar el archivo ejecutable en una sola carpeta junto con la base de datos donde se registró la información del proyecto como "archivo DAT", entenderse esto como que el archivo tendrá la extensión ".dat". Una vez hecho esto se deberá abrir el programa ejecutable ISE3D y escribir el nombre de este último archivo con extensión ".DAT". Para fines del ejercicio se registrará como "Edificio.dat" y dar enter. Figura 7.9

Inmediatamente aparecerá la leyenda "Archivo de Resultados" (Figura 7.10) y se deberá de ingresar el mismo nombre del archivo pero ahora con la extensión ".res" (Figura 7.11) para marcar el archivo de salida.

```
ARCHIVO DE DATOS DE ENTRADA
Edificio.dat
```

Figura 7.9. Introducción de nombre de Archivo para activación del programa.

```
ARCHIVO DE DATOS DE ENTRADA
Edificio.dat
ARCHIVO DE RESULTADOS
```

Figura 7.10. Respuesta de programa posterior a introducción de nombre tipo DAT.

```
ARCHIVO DE DATOS DE ENTRADA
Edificio.dat
ARCHIVO DE RESULTADOS
Edificio.res
```

Figura 7.11. Introducción de nombre de archivo de salida, RES.

Una vez hecho esto se debe de dar "Enter" y de inmediato el programa deberá de ejecutarse apareciendo en la ventana algunos datos de las rutinas Figura 7.11 y 7.12.

```

ncol1=      14
ncol2=      19
X(ncol1+NG)= 4.63152790
X(ncol2+NG)= 2.47962570
ncol1=      15
ncol2=      20
X(ncol1+NG)= 21.3845711
X(ncol2+NG)= 5.24976587
ncol1=      16
ncol2=      21
X(ncol1+NG)= 5.27412271
X(ncol2+NG)= 19.2934723
ncol1=      17
ncol2=      22
X(ncol1+NG)= 2.47645259
X(ncol2+NG)= 2.78117967
ncol1=      18
ncol2=      23
X(ncol1+NG)= 7.77328825
X(ncol2+NG)= 22.5814075
ncol1=      19
ncol2=      24
X(ncol1+NG)= 2.47962570
X(ncol2+NG)= 2.76746082
ncol1=      20
ncol2=      25
X(ncol1+NG)= 5.24976587
X(ncol2+NG)= 19.3002605
DENTRO DE HUND

```

Figura 7.12. Programa ISE3D ejecutando las rutinas.

214	0.400	0.600	1	1.00	1.00	1.00	1.00	107	112	-82	Sup	0	0
215	0.400	0.600	1	1.00	1.00	1.00	1.00	108	113	-83	Sup	0	0
216	0.400	0.600	1	1.00	1.00	1.00	1.00	109	114	-84	Sup	0	0
217	0.400	0.600	1	0.50	0.50	0.50	0.50	110	115	-85	Sup	0	0
218	0.400	0.600	1	0.50	0.50	0.50	0.50	111	116	-86	Sup	0	0
219	0.400	0.600	1	1.00	1.00	1.00	1.00	112	117	-87	Sup	0	0
220	0.400	0.600	1	1.00	1.00	1.00	1.00	113	118	-88	Sup	0	0
221	0.400	0.600	1	1.00	1.00	1.00	1.00	114	119	-89	Sup	0	0
222	0.400	0.600	1	0.50	0.50	0.50	0.50	115	120	-90	Sup	0	0
223	0.400	0.600	1	0.50	0.50	0.50	0.50	116	121	-91	Sup	0	0
224	0.400	0.600	1	1.00	1.00	1.00	1.00	117	122	-92	Sup	0	0
225	0.400	0.600	1	1.00	1.00	1.00	1.00	118	123	-93	Sup	0	0
226	0.400	0.600	1	1.00	1.00	1.00	1.00	119	124	-94	Sup	0	0
227	0.400	0.600	1	0.50	0.50	0.50	0.50	120	125	-95	Sup	0	0
228	0.700	0.500	1	0.00	0.00	0.00	0.00	76	101	-81	Sup	0	0
229	0.700	0.500	1	0.00	0.00	0.00	0.00	78	103	-83	Sup	0	0
230	0.700	0.500	1	0.00	0.00	0.00	0.00	80	105	-85	Sup	0	0
231	0.700	0.500	1	0.00	0.00	0.00	0.00	86	111	-91	Sup	0	0
232	0.700	0.500	1	0.00	0.00	0.00	0.00	88	113	-93	Sup	0	0
233	0.700	0.500	1	0.00	0.00	0.00	0.00	90	115	-95	Sup	0	0
234	0.700	0.500	1	0.00	0.00	0.00	0.00	96	121	91	Sup	0	0
235	0.700	0.500	1	0.00	0.00	0.00	0.00	98	123	93	Sup	0	0
236	0.700	0.500	1	0.00	0.00	0.00	0.00	100	125	95	Sup	0	0
FIN DE LECC													
casos													
	1		1		1		1						
NO. DE PERFILES													
ESTRATOS													
	2												
1		1		1	0.40000006		0.80000012	1.70000005					
1		2		2	1.60000002		1.60000002	1.89999998					

Figura 7.13. Programa ISE3D ejecutando rutinas.

Una vez ejecutado se creará en la carpeta fuente un archivo con el mismo nombre pero con la extensión “.SAL” en donde se encontrará todo el análisis, de cualquiera de las 3 opciones, realizado por el programa.

A continuación, se muestran los resultados del ejercicio tal y como lo entrega el programa ISE3D.

INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA A BASE DE BARRAS

PROGRAMA ISE3DL

ACTUALIZACION 2017

LECTURA DE DATOS

ANALISIS LINEAL SIN CONFINAMIENTO											
NN	NUMERO DE NODOS	=	125								
NB	NUMERO DE BARRAS	=	236								
NLOS	NUMERO DE LOSAS	=	16								
NZAP	NUMERO DE ZAPATAS AISLADAS	=	0								
NMAT	NO. DE MATERIALES (P/BARRAS)	=	1								
NPS	NO. DE PERFILES DISPONIBLES	=	1								
KANAL	TIPO DE ANALISIS	=	0								
CASO(1)	ANALISIS POR EXPANSIÓN	=	1								
CASO(2)	ANALISIS POR COMPRESIÓN	=	1								
CASO(3)	CONSOLIDACIÓN PRIMARIA	=	1								
CASO(4)	CONSOLIDACIÓN SECUNDARIA	=	0								
COORDENADAS DE LOS NODOS				RESTRICCIONES						PERFIL	DF
NODO	X	Y	Z	DX	DY	DZ	MX	MY	MZ		
1	0.0000	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
2	5.0000	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
3	10.0000	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
4	15.0000	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
5	20.0000	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
6	0.0000	4.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
7	5.0000	4.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
8	10.0000	4.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
9	15.0000	4.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
10	20.0000	4.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
11	0.0000	8.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
12	5.0000	8.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
13	10.0000	8.0000	0.0000	1	1	0	0	0	0	1	0.0000
14	15.0000	8.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
15	20.0000	8.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
16	0.0000	12.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
17	5.0000	12.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
18	10.0000	12.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
19	15.0000	12.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000
20	20.0000	12.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0	1	0.0000

Figura 7.14. Características generales y geometría la de la estructura.

PROPIEDADES DE LAS BARRAS

No	BASE(m)	ALTURA(m)	TIPO_MAT	w1(t/m)	w2(t/m)	w3(t/m)	w4(t/m)	PI	PJ	NK	TIPO	PERF	SUELO	Iy	Iz
1	0.800	0.600	1	1.60	1.60	1.60	1.60	1	2	26	Cim	1	1	0.014400	0.025600
2	0.800	0.600	1	1.60	1.60	1.60	1.60	2	3	27	Cim	1	1	0.014400	0.025600
3	0.800	0.600	1	1.60	1.60	1.60	1.60	3	4	28	Cim	1	1	0.014400	0.025600
4	0.800	0.600	1	1.60	1.60	1.60	1.60	4	5	29	Cim	1	1	0.014400	0.025600
5	0.800	0.600	1	3.20	3.20	3.20	3.20	6	7	31	Cim	1	1	0.014400	0.025600
6	0.800	0.600	1	3.20	3.20	3.20	3.20	7	8	32	Cim	1	1	0.014400	0.025600
7	0.800	0.600	1	3.20	3.20	3.20	3.20	8	9	33	Cim	1	1	0.014400	0.025600
8	0.800	0.600	1	3.20	3.20	3.20	3.20	9	10	34	Cim	1	1	0.014400	0.025600
9	0.800	0.600	1	3.20	3.20	3.20	3.20	11	12	36	Cim	1	1	0.014400	0.025600
10	0.800	0.600	1	3.20	3.20	3.20	3.20	12	13	37	Cim	1	1	0.014400	0.025600
11	0.800	0.600	1	3.20	3.20	3.20	3.20	13	14	38	Cim	1	1	0.014400	0.025600
12	0.800	0.600	1	3.20	3.20	3.20	3.20	14	15	39	Cim	1	1	0.014400	0.025600
13	0.800	0.600	1	3.20	3.20	3.20	3.20	16	17	41	Cim	1	1	0.014400	0.025600
14	0.800	0.600	1	3.20	3.20	3.20	3.20	17	18	42	Cim	1	1	0.014400	0.025600
15	0.800	0.600	1	3.20	3.20	3.20	3.20	18	19	43	Cim	1	1	0.014400	0.025600
16	0.800	0.600	1	3.20	3.20	3.20	3.20	19	20	44	Cim	1	1	0.014400	0.025600
17	0.800	0.600	1	1.60	1.60	1.60	1.60	21	22	46	Cim	1	1	0.014400	0.025600
18	0.800	0.600	1	1.60	1.60	1.60	1.60	22	23	47	Cim	1	1	0.014400	0.025600
19	0.800	0.600	1	1.60	1.60	1.60	1.60	23	24	48	Cim	1	1	0.014400	0.025600
20	0.800	0.600	1	1.60	1.60	1.60	1.60	24	25	49	Cim	1	1	0.014400	0.025600
21	0.800	0.600	1	1.00	1.00	1.00	1.00	1	6	26	Cim	1	1	0.014400	0.025600
22	0.800	0.600	1	2.00	2.00	2.00	2.00	2	7	27	Cim	1	1	0.014400	0.025600
23	0.800	0.600	1	2.00	2.00	2.00	2.00	3	8	28	Cim	1	1	0.014400	0.025600
24	0.800	0.600	1	2.00	2.00	2.00	2.00	4	9	29	Cim	1	1	0.014400	0.025600
25	0.800	0.600	1	1.00	1.00	1.00	1.00	5	10	30	Cim	1	1	0.014400	0.025600
26	0.800	0.600	1	1.00	1.00	1.00	1.00	6	11	31	Cim	1	1	0.014400	0.025600
27	0.800	0.600	1	2.00	2.00	2.00	2.00	7	12	32	Cim	1	1	0.014400	0.025600
28	0.800	0.600	1	2.00	2.00	2.00	2.00	8	13	33	Cim	1	1	0.014400	0.025600
29	0.800	0.600	1	2.00	2.00	2.00	2.00	9	14	34	Cim	1	1	0.014400	0.025600
30	0.800	0.600	1	1.00	1.00	1.00	1.00	10	15	35	Cim	1	1	0.014400	0.025600

Figura 7.1. Propiedades de las barras y cargas sobre ellas.

LECTURA DE NODOS QUE CONFORMAN CADA LOSA

LOSA	NI	NJ	NK	NL
1	1	2	7	6
2	2	3	8	7
3	3	4	9	8
4	4	5	10	9
5	6	7	12	11
6	7	8	13	12
7	8	9	14	13
8	9	10	15	14
9	11	12	17	16
10	12	13	18	17
11	13	14	19	18
12	14	15	20	19
13	16	17	22	21
14	17	18	23	22
15	18	19	24	23
16	19	20	25	24

PROPIEDADES ELÁSTICAS PARA BARRAS Y LOSAS

NMAT	E (T/M2)	REL POISSON
1	1130000.00	0.300

Figura 7.2. Lectura de nodos que conforman las losas y sus propiedades elásticas.

CARGAS CONCENTRADAS Y CARGAS DE EMPOTRAMIENTO

No	P (t)
LONGITUD DE BARRAS	
1	5.0000
2	5.0000
3	5.0000
4	5.0000
5	5.0000
6	5.0000
7	5.0000
8	5.0000
9	5.0000
10	5.0000
11	5.0000
12	5.0000
13	5.0000
14	5.0000
15	5.0000
16	5.0000
17	5.0000
18	5.0000
19	5.0000
20	5.0000
21	4.0000
22	4.0000
23	4.0000
24	4.0000
25	4.0000

Figura 7.17. Cargas concentradas sobre las barras de la estructura.

	COORDENADAS DE REACCIONES					
	PUNTO		PUNTO INICIAL		PUNTO FINAL	
	(X ,	Y)	(Xi ,	Yi)	(Xf ,	Yf)
direccion 1						
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.5000	2.0000
2	5.0000	0.0000	2.5000	0.0000	7.5000	2.0000
3	10.0000	0.0000	7.5000	0.0000	12.5000	2.0000
4	15.0000	0.0000	12.5000	0.0000	17.5000	2.0000
5	20.0000	0.0000	17.5000	0.0000	20.0000	2.0000
6	0.0000	4.0000	0.0000	2.0000	2.5000	6.0000
7	5.0000	4.0000	2.5000	2.0000	7.5000	6.0000
8	10.0000	4.0000	7.5000	2.0000	12.5000	6.0000
9	15.0000	4.0000	12.5000	2.0000	17.5000	6.0000
10	20.0000	4.0000	17.5000	2.0000	20.0000	6.0000
11	0.0000	8.0000	0.0000	6.0000	2.5000	10.0000
12	5.0000	8.0000	2.5000	6.0000	7.5000	10.0000
13	10.0000	8.0000	7.5000	6.0000	12.5000	10.0000
14	15.0000	8.0000	12.5000	6.0000	17.5000	10.0000
15	20.0000	8.0000	17.5000	6.0000	20.0000	10.0000
16	0.0000	12.0000	0.0000	10.0000	2.5000	14.0000
17	5.0000	12.0000	2.5000	10.0000	7.5000	14.0000
18	10.0000	12.0000	7.5000	10.0000	12.5000	14.0000
19	15.0000	12.0000	12.5000	10.0000	17.5000	14.0000
20	20.0000	12.0000	17.5000	10.0000	20.0000	14.0000
21	0.0000	16.0000	0.0000	14.0000	2.5000	16.0000
22	5.0000	16.0000	2.5000	14.0000	7.5000	16.0000
23	10.0000	16.0000	7.5000	14.0000	12.5000	16.0000
24	15.0000	16.0000	12.5000	14.0000	17.5000	16.0000
25	20.0000	16.0000	17.5000	14.0000	20.0000	16.0000

Figura 7.18. Coordenadas de cada nodo que compone la estructura.

GL DE REACCION	LONGITUD	AREA
3	4.5000	5.0000
9	7.0000	10.0000
15	7.0000	10.0000
21	7.0000	10.0000
27	4.5000	5.0000
33	6.5000	10.0000
39	9.0000	20.0000
45	9.0000	20.0000
51	9.0000	20.0000
57	6.5000	10.0000
63	6.5000	10.0000
69	9.0000	20.0000
75	9.0000	20.0000
81	9.0000	20.0000
87	6.5000	10.0000
93	6.5000	10.0000
99	9.0000	20.0000
105	9.0000	20.0000
111	9.0000	20.0000
117	6.5000	10.0000
123	4.5000	5.0000
129	7.0000	10.0000
135	7.0000	10.0000
141	7.0000	10.0000
147	4.5000	5.0000

Figura 7.19. Grados de libertad de reacciones.

PROPIEDADES DEL SUELO

PERFIL	ESTRATO	TIPO MAT	z (m)	H (m)	PESO t/m3	
1	1	ARENA	0.50	1.00	1.7000	
PROPIEDADES CASO 1						
	E	NU				
	t/m2					
	2500.00	0.29				
PROPIEDADES CASO 2						
	E	NU	KO	K	N	A
	t/m2					
	2500.00	0.29	0.42	749.00	0.58	573.39
PROPIEDADES CASO 3						
	Emv	Ap	T			
	m2/t					
	2500.00	35.10	0.73			
PERFIL	ESTRATO	TIPO MAT	z (m)	H (m)	PESO t/m3	
1	2	ARCILLA	2.25	2.50	1.9000	
PROPIEDADES CASO 1						
	E	NU				
	t/m2					
	3000.00	0.31				
PROPIEDADES CASO 2						
	E	NU	KO	K	N	A
	t/m2					
	3000.00	0.31	0.46	647.00	0.59	482.30
PROPIEDADES CASO 3						
	Emv	Ap	T			
	m2/t					
	3000.00	35.10	1.73			
PRESIONES EN PERFIL						
	ESTRATO	PROFUNDIDAD	Pv	Ph	EMPUJE POR	EMPUJE
		m	t/m2	t/m2	ESTRATO (t)	ACUMULADO (t)
1	1.00	1.00	1.70	0.71	0.36	0.36
2	3.50	3.50	6.45	2.97	6.44	6.80

Figura 7.20. Propiedades y características de estratigrafía

Como se puede observar, el programa entrega un resumen de la estructura que se analiza e imprime las características, ubicación de nodos y barras, geometría y propiedades tanto de los materiales como de perfiles estratigráficos.

Esto permite que el usuario pueda identificar con mayor facilidad las características entregadas al programa y confirmarlas o en su caso reconocer incongruencias.

Esto mismo realizará para cualquier tipo de análisis que se realice, siendo los siguientes datos que a continuación se mostrarán los resultados del análisis lineal.

ANALISIS DE EXPANSIONES
SOLUCION CASO LINEAL

GRADO DE LIBERTAD, REACCION (t) HASTA N= 25 , Y GIROS (rad) LOS SIGUIENTES

1	2.019302851069289E-005
2	7.139419963120459E-006
3	-4.036103033128614E-003
4	1.933081038245699E-003
5	-1.835926776829952E-003
6	-1.367959431689119E-005
7	-5.368394996574117E-005
8	5.631735828878597E-006
9	-2.358309938437044E-004
10	3.102436903970418E-004
11	8.481318229709244E-004
12	-1.624444696388653E-005
13	-1.240224076707822E-004
14	7.332401076325557E-006
15	-7.818518493792654E-003
16	2.834028292675557E-003
17	2.112215169038437E-005
18	-2.838181363041127E-005
19	-1.973347312633671E-004
20	3.764934107670471E-005

Figura 7.21. Grados de libertad, reacciones y giros del análisis de expansiones para el caso lineal.

EL VALOR DE LAS REACCIONES ES:

1	22.1808764578754
2	4.518563942282683E-002
3	27.5530484394922
4	3.583648007498473E-002
5	22.2012525395303
6	1.75487060333047
7	2.38376673753725
8	4.04886872523390
9	2.38513050736275
10	1.75287162366422
11	27.2706666931612
12	1.97770111266222
13	38.5841405369019
14	1.98518598367432
15	27.2135029079415
16	1.76265797045845
17	2.38602409914978
18	4.05572874914019
19	2.38736042400160
20	1.75807769962686
21	22.2111635493015
22	3.859632879652583E-002
23	27.5567788375997
24	3.239565188150291E-002
25	22.2044273955071

Figura 7.3. Valores de las reacciones del análisis de expansiones para el caso lineal.

NUDO,	HUNDIMIENTO DEL NUDO (m)
1	-0.00404
2	-0.00024
3	-0.00782
4	-0.00023
5	-0.00404
6	-0.00100
7	-0.00092
8	-0.00253
9	-0.00092
10	-0.00100
11	-0.00718
12	-0.00112
13	-0.01410
14	-0.00112
15	-0.00716
16	-0.00101
17	-0.00092
18	-0.00253
19	-0.00092
20	-0.00100
21	-0.00404
22	-0.00023
23	-0.00782
24	-0.00023
25	-0.00404

Figura 7.23. Valores de los hundimientos de cada nudo del análisis de expansiones para el caso lineal.

Desplazamientos y giros por nodo

nodo	dx	dy	dz	tx	ty	tz
1	0.000020	0.000007	-0.004036	0.001933	-0.001836	-0.000014
2	-0.000054	0.000006	-0.000236	0.000310	0.000848	-0.000016
3	-0.000124	0.000007	-0.007819	0.002834	0.000021	-0.000028
4	-0.000197	0.000038	-0.000233	0.000308	-0.000871	-0.000028
5	-0.000270	-0.000011	-0.004040	0.001928	0.001892	-0.000075
6	-0.000083	-0.000010	-0.001004	-0.000972	-0.000616	0.000021
7	-0.000094	0.000003	-0.000917	-0.000334	0.000438	0.000001
8	-0.000110	0.000004	-0.002527	-0.001597	-0.000000	-0.000008
9	-0.000127	0.000034	-0.000918	-0.000334	-0.000437	-0.000014
10	-0.000140	-0.000026	-0.001003	-0.000967	0.000615	-0.000036
11	0.000085	-0.000026	-0.007178	0.000012	-0.002435	-0.000020
12	0.000038	0.000002	-0.001122	0.000002	0.001223	-0.000008
13	0.000000	0.000000	-0.014101	0.000015	-0.000024	-0.000013
14	-0.000053	0.000030	-0.001124	0.000002	-0.001199	-0.000009
15	-0.000099	-0.000041	-0.007163	0.000008	0.002370	-0.000015
16	-0.000024	-0.000043	-0.001007	0.000958	-0.000619	0.000033
17	-0.000030	-0.000000	-0.000918	0.000329	0.000438	0.000006
18	-0.000042	-0.000002	-0.002530	0.001580	-0.000001	-0.000006
19	-0.000053	0.000026	-0.000918	0.000330	-0.000437	-0.000010
20	-0.000061	-0.000056	-0.001005	0.000958	0.000615	-0.000049
21	0.000084	-0.000059	-0.004042	-0.001901	-0.001842	-0.000024
22	0.000011	-0.000000	-0.000234	-0.000300	0.000850	0.000003
23	-0.000061	-0.000006	-0.007820	-0.002792	0.000018	0.000000
24	-0.000133	0.000022	-0.000232	-0.000300	-0.000869	0.000016
25	-0.000207	-0.000071	-0.004040	-0.001905	0.001889	0.000030
26	0.000355	-0.000432	-0.004693	-0.001221	0.001147	0.000108
27	0.000192	-0.000280	-0.019282	-0.005645	0.000405	0.000123
28	0.000026	-0.000656	-0.009209	-0.002414	0.000005	0.000027
29	-0.000138	-0.000176	-0.019282	-0.005642	-0.000409	0.000102
30	-0.000308	-0.000423	-0.004697	-0.001215	-0.001137	-0.000046

Figura 7.24. Desplazamientos y giros del análisis de expansiones para el caso lineal.

BARRA	ELEMENTOS MECANICOS	GRADO DE LIBERTAD	MAGNITUD
1	NORMAL X1	1	8.01417463
1	CORTANTE Y1	2	-0.20356727
1	CORTANTE Z1	3	38.99725140
1	TORSION X1	4	3.17848684
1	FLEXIONANTE Y1	5	-32.00348252
1	FLEXIONANTE Z1	6	-0.41587983
1	NORMAL X2	7	-8.01417463
1	CORTANTE Y2	8	0.01362008
1	CORTANTE Z2	9	8.56790385
1	TORSION X2	10	-3.17848684
1	FLEXIONANTE Y2	11	25.10414746
1	FLEXIONANTE Z2	12	-0.52375738
2	NORMAL X1	7	7.63031589
2	CORTANTE Y1	8	-0.31455053
2	CORTANTE Z1	9	17.45760176
2	TORSION X1	10	-4.94308080
2	FLEXIONANTE Y1	11	-33.10396542
2	FLEXIONANTE Z1	12	-0.61434076
2	NORMAL X2	13	-7.63031589
2	CORTANTE Y2	14	0.08898924
2	CORTANTE Z2	15	43.53798344
2	TORSION X2	16	4.94308080
2	FLEXIONANTE Y2	17	12.34284836
2	FLEXIONANTE Z2	18	-0.85659827
3	NORMAL X1	13	7.95292086
3	CORTANTE Y1	14	-0.47349195
3	CORTANTE Z1	15	43.45234418
3	TORSION X1	16	4.94671417
3	FLEXIONANTE Y1	17	-11.92310221
3	FLEXIONANTE Z1	18	-0.66494790
3	NORMAL X2	19	-7.95292086
3	CORTANTE Y2	20	0.07939798
3	CORTANTE Z2	21	17.51986812
3	TORSION X2	22	-4.94671417
3	FLEXIONANTE Y2	23	33.08319944
3	FLEXIONANTE Z2	24	-1.17973418
4	NORMAL X1	19	7.87773454
4	CORTANTE Y1	20	-0.57656931
4	CORTANTE Z1	21	8.43581772
4	TORSION X1	22	-3.17134733
4	FLEXIONANTE Y1	23	-25.05370779
4	FLEXIONANTE Z1	24	-1.32619235
4	NORMAL X2	25	-7.87773454
4	CORTANTE Y2	26	0.19206500
4	CORTANTE Z2	27	39.15690483
4	TORSION X2	28	3.17134733
4	FLEXIONANTE Y2	29	32.58950038
4	FLEXIONANTE Z2	30	-1.71499761

Figura 7.25. Magnitudes de los Elementos Mecánicos y grados de libertad del análisis de expansiones para el caso lineal.

DIAGRAMAS DE ELEMENTOS MECANICOS POR EJE

EJE 1				EJE 2			
BARRA	X	V	M	BARRA	X	V	M
1	0.000000	-38.997251	32.003483	5	0.000000	2.755450	2.236002
1	0.500000	-28.706813	15.077466	5	0.500000	2.032885	3.433085
1	1.000000	-18.416375	3.296669	5	1.000000	1.310321	4.268887
1	1.500000	-8.125937	-3.338909	5	1.500000	0.587756	4.743406
1	2.000000	2.164502	-4.829267	5	2.000000	-0.134809	4.856643
1	2.500000	12.454940	-1.174407	5	2.500000	-0.857373	4.608597
1	3.000000	11.677533	4.858711	5	3.000000	-1.265490	4.077881
1	3.500000	10.900125	10.503126	5	3.500000	-1.673607	3.343107
1	4.000000	10.122718	15.758836	5	4.000000	-2.081723	2.404275
1	4.500000	9.345311	20.625844	5	4.500000	-2.489840	1.261384
1	5.000000	8.567904	25.104147	5	5.000000	-2.897957	-0.085565
2	5.000000	-17.457602	33.103965	6	5.000000	0.453420	-0.025318
2	5.500000	-18.235009	24.180813	6	5.500000	0.045303	0.099362
2	6.000000	-19.012416	14.868956	6	6.000000	-0.362813	0.019985
2	6.500000	-19.789823	5.168397	6	6.500000	-0.770930	-0.263451
2	7.000000	-20.567230	-4.920867	6	7.000000	-1.179046	-0.750945
2	7.500000	-21.344638	-15.398834	6	7.500000	-1.587163	-1.442497
2	8.000000	-8.368113	-22.827022	6	8.000000	-1.162729	-2.129970
2	8.500000	4.608411	-23.766947	6	8.500000	-0.738294	-2.605226
2	9.000000	17.584935	-18.218611	6	9.000000	-0.313860	-2.868265
2	9.500000	30.561459	-6.182012	6	9.500000	0.110574	-2.919086
2	10.000000	43.537983	12.342848	6	10.000000	0.535009	-2.757690
3	10.000000	-43.452344	11.923102	7	10.000000	-0.536628	-2.750678
3	10.500000	-30.475820	-6.558939	7	10.500000	-0.112193	-2.912884
3	11.000000	-17.499296	-18.552718	7	11.000000	0.312241	-2.862872
3	11.500000	-4.522772	-24.058235	7	11.500000	0.736675	-2.600643
3	12.000000	8.453753	-23.075489	7	12.000000	1.161110	-2.126196
3	12.500000	21.430277	-15.604482	7	12.500000	1.585544	-1.439533
3	13.000000	20.648195	-5.084864	7	13.000000	1.178109	-0.748619
3	13.500000	19.866113	5.043713	7	13.500000	0.770675	-0.261423
3	14.000000	19.084032	14.781250	7	14.000000	0.363240	0.022055
3	14.500000	18.301950	24.127745	7	14.500000	-0.044195	0.101816
3	15.000000	17.519868	33.083199	7	15.000000	-0.451630	-0.022140
4	15.000000	-8.435818	25.053708	8	15.000000	2.892956	-0.084452
4	15.500000	-9.217899	20.640278	8	15.500000	2.485521	1.260167
4	16.000000	-9.999981	15.835808	8	16.000000	2.078086	2.401069
4	16.500000	-10.782063	10.640297	8	16.500000	1.670651	3.338253
4	17.000000	-11.564145	5.053745	8	17.000000	1.263217	4.071720
4	17.500000	-12.346227	-0.923848	8	17.500000	0.855782	4.601470
4	18.000000	-2.045600	-4.521804	8	18.000000	0.132218	4.848470
4	18.500000	8.255026	-2.969448	8	18.500000	-0.591346	4.733688
4	19.000000	18.555652	3.733222	8	19.000000	-1.314911	4.257124
4	19.500000	28.856279	15.586205	8	19.500000	-2.038475	3.418777
4	20.000000	39.156905	32.589500	8	20.000000	-2.762039	2.218649

Figura 7.25. Elementos mecánicos por eje del análisis de expansiones para el caso lineal.

DIAGRAMAS DE ELEMENTOS MECANICOS POR EJE

EJE 3				EJE 4			
BARRA	X	V	M	BARRA	X	V	M
9	0.000000	-43.595036	33.771433	13	0.000000	2.735679	2.265342
9	0.500000	-31.559703	14.982749	13	0.500000	2.017008	3.453514
9	1.000000	-19.524369	2.211731	13	1.000000	1.298337	4.282350
9	1.500000	-7.489036	-4.541621	13	1.500000	0.579666	4.751850
9	2.000000	4.546297	-5.277306	13	2.000000	-0.139005	4.862015
9	2.500000	16.581631	0.004676	13	2.500000	-0.857676	4.612845
9	3.000000	15.970481	8.142704	13	3.000000	-1.264664	4.082260
9	3.500000	15.359332	15.975158	13	3.500000	-1.671652	3.348181
9	4.000000	14.748182	23.502036	13	4.000000	-2.078640	2.410608
9	4.500000	14.137033	30.723340	13	4.500000	-2.485628	1.269540
9	5.000000	13.525883	37.639069	13	5.000000	-2.892616	-0.075021
10	5.000000	-29.696837	56.212176	14	5.000000	0.444094	-0.017588
10	5.500000	-30.307986	41.210971	14	5.500000	0.037106	0.102712
10	6.000000	-30.919136	25.904190	14	6.000000	-0.369882	0.019518
10	6.500000	-31.530285	10.291835	14	6.500000	-0.776870	-0.267170
10	7.000000	-32.141434	-5.626095	14	7.000000	-1.183858	-0.757352
10	7.500000	-32.752584	-21.849599	14	7.500000	-1.590845	-1.451027
10	8.000000	-15.060514	-33.802874	14	8.000000	-1.162981	-2.139484
10	8.500000	2.631557	-36.910113	14	8.500000	-0.735117	-2.614009
10	9.000000	20.323627	-31.171317	14	9.000000	-0.307252	-2.874601
10	9.500000	38.015697	-16.586486	14	9.500000	0.120612	-2.921261
10	10.000000	55.707767	6.844380	14	10.000000	0.548476	-2.753989
11	10.000000	-55.810568	7.328556	15	10.000000	-0.550227	-2.741329
11	10.500000	-38.118498	-16.153711	15	10.500000	-0.122362	-2.909476
11	11.000000	-20.426428	-30.789942	15	11.000000	0.305502	-2.863691
11	11.500000	-2.734357	-36.580138	15	11.500000	0.733367	-2.603974
11	12.000000	14.957713	-33.524299	15	12.000000	1.161231	-2.130325
11	12.500000	32.649783	-21.622425	15	12.500000	1.589095	-1.442743
11	13.000000	32.042376	-5.449386	15	13.000000	1.182776	-0.749775
11	13.500000	31.434969	10.419951	15	13.500000	0.776456	-0.259967
11	14.000000	30.827562	25.985584	15	14.000000	0.370136	0.026680
11	14.500000	30.220155	41.247513	15	14.500000	-0.036184	0.110168
11	15.000000	29.612748	56.205739	15	15.000000	-0.442504	-0.009503
12	15.000000	-13.651617	37.667566	16	15.000000	2.885849	-0.077203
12	15.500000	-14.259024	30.689906	16	15.500000	2.479530	1.264141
12	16.000000	-14.866431	23.408543	16	16.000000	2.073210	2.402326
12	16.500000	-15.473838	15.823476	16	16.500000	1.666890	3.337351
12	17.000000	-16.081245	7.934705	16	17.000000	1.260570	4.069216
12	17.500000	-16.688652	-0.257769	16	17.500000	0.854250	4.597921
12	18.000000	-4.681900	-5.600407	16	18.000000	0.133289	4.844806
12	18.500000	7.324851	-4.939669	16	18.500000	-0.587672	4.731211
12	19.000000	19.331603	1.724445	16	19.000000	-1.308633	4.257134
12	19.500000	31.338354	14.391934	16	19.500000	-2.029594	3.422578
12	20.000000	43.345106	33.062799	16	20.000000	-2.750555	2.227540

Figura 7.26. Elementos mecánicos por eje del análisis de expansiones para el caso lineal.

ANALISIS DE COMPRESIONES
SOLUCION CASO LINEAL

GRADO DE LIBERTAD, REACCION (t) HASTA N= 25 , Y GIROS (rad) LOS SIGUIENTES

1	1.757347531783620E-005
2	3.177280949016696E-006
3	-4.919200327510019E-003
4	1.986070065078696E-003
5	-1.896314255184900E-003
6	-1.473024978893321E-005
7	-6.015695521728419E-005]
8	3.989948786847081E-006
9	-9.178626983925377E-004
10	3.058996087703051E-004
11	9.829763513387595E-004
12	-1.744638878192973E-005
13	-1.341831229875398E-004
14	7.900801029031302E-006
15	-9.441869500459147E-003
16	2.885212514365781E-003
17	2.323690359953400E-005
18	-3.046550055853595E-005
19	-2.113641192455270E-004
20	4.078761563160284E-005
21	-9.147747462031777E-004
22	3.037606054224053E-004
23	-1.007623498791568E-003
24	-2.979868811533364E-005
25	-2.877758836822503E-004
26	-1.150808865586555E-005
27	-4.923578157857142E-003
28	1.979518729449098E-003
29	1.958395951238801E-003
30	-8.003702329376062E-005

Figura 7.27. Grados de libertad, reacciones y giros del análisis de compresiones para el caso lineal.

EL VALOR DE LAS REACCIONES ES:

1	21.9823066853749
2	0.380250978151707
3	27.0216750532418
4	0.370304631650190
5	22.0032814889112
6	2.11804574726987
7	2.43010515115872
8	4.38822815073940
9	2.43156464293283
10	2.11549624085839
11	26.5699707151006
12	2.31762707759978
13	37.1817924137048
14	2.32542997209056
15	26.5098757733090
16	2.12646733031107
17	2.43247921817023
18	4.39535506701982
19	2.43392988956307
20	2.12065033957255
21	22.0156611655546
22	0.373411376154649
23	27.0274015874230
24	0.366719901076611
25	22.0098086840623

NUDO, HUNDIMIENTO DEL NUDO (m)

1	-0.00492
2	-0.00092
3	-0.00944
4	-0.00091
5	-0.00492
6	-0.00184
7	-0.00186
8	-0.00416
9	-0.00186
10	-0.00184
11	-0.00862
12	-0.00241
13	-0.01678
14	-0.00242
15	-0.00861
16	-0.00184
17	-0.00186
18	-0.00417
19	-0.00186
20	-0.00184
21	-0.00493
22	-0.00092
23	-0.00944
24	-0.00091
25	-0.00493

Figura 7.28. Valores de las reacciones y hundimientos de cada nodo del análisis de compresiones para el caso lineal.

Desplazamientos y giros por nodo

nodo	dx	dy	dz	tx	ty	tz
1	0.000018	0.000003	-0.004919	0.001986	-0.001896	-0.000015
2	-0.000060	0.000004	-0.000918	0.000306	0.000983	-0.000017
3	-0.000134	0.000008	-0.009442	0.002885	0.000023	-0.000030
4	-0.000211	0.000041	-0.000915	0.000304	-0.001008	-0.000030
5	-0.000288	-0.000012	-0.004924	0.001980	0.001958	-0.000080
6	-0.000090	-0.000015	-0.001838	-0.001097	-0.000692	0.000022
7	-0.000101	0.000002	-0.001859	-0.000453	0.000582	0.000001
8	-0.000118	0.000005	-0.004164	-0.001808	-0.000000	-0.000009
9	-0.000136	0.000037	-0.001860	-0.000453	-0.000582	-0.000016
10	-0.000150	-0.000027	-0.001836	-0.001091	0.000690	-0.000038
11	0.000090	-0.000032	-0.008625	0.000013	-0.002489	-0.000021
12	0.000040	0.000000	-0.002413	0.000003	0.001428	-0.000009
13	0.000000	0.000000	-0.016782	0.000017	-0.000026	-0.000014
14	-0.000055	0.000033	-0.002415	0.000002	-0.001403	-0.000010
15	-0.000104	-0.000042	-0.008606	0.000009	0.002417	-0.000016
16	-0.000026	-0.000049	-0.001841	0.001081	-0.000694	0.000035
17	-0.000033	-0.000002	-0.001861	0.000448	0.000583	0.000006
18	-0.000045	-0.000003	-0.004167	0.001790	-0.000001	-0.000006
19	-0.000056	0.000029	-0.001861	0.000448	-0.000582	-0.000011
20	-0.000064	-0.000058	-0.001838	0.001081	0.000690	-0.000052
21	0.000086	-0.000065	-0.004927	-0.001951	-0.001903	-0.000024
22	0.000009	-0.000003	-0.000916	-0.000295	0.000985	0.000003
23	-0.000066	-0.000006	-0.009444	-0.002840	0.000020	0.000000
24	-0.000142	0.000024	-0.000914	-0.000295	-0.001006	0.000017
25	-0.000220	-0.000073	-0.004925	-0.001956	0.001955	0.000032
26	0.000370	-0.000455	-0.005583	-0.001247	0.001172	0.000116
27	0.000200	-0.000303	-0.020604	-0.005753	0.000510	0.000128
28	0.000026	-0.000675	-0.010834	-0.002451	0.000005	0.000030
29	-0.000145	-0.000188	-0.020604	-0.005749	-0.000514	0.000105
30	-0.000323	-0.000434	-0.005587	-0.001243	-0.001161	-0.000047

Figura 7.30. Desplazamientos y giros del análisis de compresiones para el caso lineal

BARRA	ELEMENTOS MECANICOS	GRADO DE LIBERTAD	MAGNITUD
1	NORMAL X1	1	8.43219710
1	CORTANTE Y1	2	-0.22565024
1	CORTANTE Z1	3	38.14610582
1	TORSION X1	4	3.29077938
1	FLEXIONANTE Y1	5	-31.06042073
1	FLEXIONANTE Z1	6	-0.49300892
1	NORMAL X2	7	-8.43219710
1	CORTANTE Y2	8	0.02111424
1	CORTANTE Z2	9	9.76028834
1	TORSION X2	10	-3.29077938
1	FLEXIONANTE Y2	11	27.60230110
1	FLEXIONANTE Z2	12	-0.57984010
2	NORMAL X1	7	8.03035868
2	CORTANTE Y1	8	-0.34349961
2	CORTANTE Z1	9	18.82470379
2	TORSION X1	10	-5.05183846
2	FLEXIONANTE Y1	11	-35.14492931
2	FLEXIONANTE Z1	12	-0.67371956
2	NORMAL X2	13	-8.03035868
2	CORTANTE Y2	14	0.10124883
2	CORTANTE Z2	15	41.68011128
2	TORSION X2	16	5.05183846
2	FLEXIONANTE Y2	17	9.02899780
2	FLEXIONANTE Z2	18	-0.93407241
3	NORMAL X1	13	8.37259447
3	CORTANTE Y1	14	-0.50972697
3	CORTANTE Z1	15	41.58538599
3	TORSION X1	16	5.05602791
3	FLEXIONANTE Y1	17	-8.56590892
3	FLEXIONANTE Z1	18	-0.71182134
3	NORMAL X2	19	-8.37259447
3	CORTANTE Y2	20	0.08670009
3	CORTANTE Z2	21	18.89456322
3	TORSION X2	22	-5.05602791
3	FLEXIONANTE Y2	23	35.12438457
3	FLEXIONANTE Z2	24	-1.27045951
4	NORMAL X1	19	8.28914821
4	CORTANTE Y1	20	-0.61732882
4	CORTANTE Z1	21	9.61538675
4	TORSION X1	22	-3.28213739
4	FLEXIONANTE Y1	23	-27.54763584
4	FLEXIONANTE Z1	24	-1.41245801
4	NORMAL X2	25	-8.28914821
4	CORTANTE Y2	26	0.20356092
4	CORTANTE Z2	27	38.31857855
4	TORSION X2	28	3.28213739
4	FLEXIONANTE Y2	29	31.70256265
4	FLEXIONANTE Z2	30	-1.83398096

Figura 7.31. Magnitudes de los Elementos Mecánicos y grados de libertad del análisis de compresiones para el caso lineal.

DIAGRAMAS DE ELEMENTOS MECANICOS POR EJE

EJE 1				EJE 2			
BARRA	X	V	M	BARRA	X	V	M
1	0.000000	-38.146106	31.060421	5	0.000000	2.097852	3.246827
1	0.500000	-27.954952	14.535156	5	0.500000	1.556875	4.160509
1	1.000000	-17.763799	3.105468	5	1.000000	1.015898	4.803702
1	1.500000	-7.572646	-3.228643	5	1.500000	0.474921	5.176407
1	2.000000	2.618508	-4.467178	5	2.000000	-0.066056	5.278623
1	2.500000	12.809661	-0.610135	5	2.500000	-0.607033	5.110350
1	3.000000	12.199786	5.642226	5	3.000000	-0.991981	4.710597
1	3.500000	11.589912	11.589651	5	3.500000	-1.376928	4.118370
1	4.000000	10.980037	17.232138	5	4.000000	-1.761876	3.333669
1	4.500000	10.370163	22.569688	5	4.500000	-2.146823	2.356494
1	5.000000	9.760288	27.602301	5	5.000000	-2.531770	1.186846
2	5.000000	-18.824704	35.144929	6	5.000000	-0.319907	1.091731
2	5.500000	-19.434578	25.580109	6	5.500000	-0.704854	0.835541
2	6.000000	-20.044453	15.710351	6	6.000000	-1.089801	0.386877
2	6.500000	-20.654327	5.535656	6	6.500000	-1.474749	-0.254260
2	7.000000	-21.264202	-4.943976	6	7.000000	-1.859696	-1.087872
2	7.500000	-21.874076	-15.728546	6	7.500000	-2.244644	-2.113957
2	8.000000	-9.163239	-23.487875	6	8.000000	-1.650530	-3.087750
2	8.500000	3.547599	-24.891785	6	8.500000	-1.056416	-3.764486
2	9.000000	16.258436	-19.940276	6	9.000000	-0.462301	-4.144165
2	9.500000	28.969274	-8.633348	6	9.500000	0.131813	-4.226788
2	10.000000	41.680111	9.028998	6	10.000000	0.725927	-4.012353
3	10.000000	-41.585386	8.565909	7	10.000000	-0.727701	-4.005166
3	10.500000	-28.874548	-9.049075	7	10.500000	-0.133587	-4.220488
3	11.000000	-16.163711	-20.308640	7	11.000000	0.460527	-4.138753
3	11.500000	-3.452873	-25.212786	7	11.500000	1.054641	-3.759961
3	12.000000	9.257964	-23.761513	7	12.000000	1.648755	-3.084112
3	12.500000	21.968802	-15.954822	7	12.500000	2.242869	-2.111206
3	13.000000	21.353954	-5.124133	7	13.000000	1.858651	-1.085826
3	13.500000	20.739106	5.399132	7	13.500000	1.474434	-0.252554
3	14.000000	20.124259	15.614974	7	14.000000	1.090216	0.388608
3	14.500000	19.509411	25.523391	7	14.500000	0.705998	0.837662
3	15.000000	18.894563	35.124385	7	15.000000	0.321781	1.094607
4	15.000000	-9.615387	27.547636	8	15.000000	2.526670	1.187647
4	15.500000	-10.230234	22.586231	8	15.500000	2.142453	2.354928
4	16.000000	-10.845082	17.317401	8	16.000000	1.758235	3.330100
4	16.500000	-11.459930	11.741148	8	16.500000	1.374017	4.113163
4	17.000000	-12.074777	5.857472	8	17.000000	0.989800	4.704117
4	17.500000	-12.689625	-0.333629	8	17.500000	0.605582	5.102962
4	18.000000	-2.487984	-4.128031	8	18.000000	0.063330	5.270190
4	18.500000	7.713656	-2.821614	8	18.500000	-0.478922	5.166292
4	19.000000	17.915297	3.585625	8	19.000000	-1.021174	4.791269
4	19.500000	28.116938	15.093684	8	19.500000	-1.563426	4.145119
4	20.000000	38.318579	31.702563	8	20.000000	-2.105677	3.227843

Figura 7.32. Elementos mecánicos por eje del análisis de compresiones para el caso lineal.

DIAGRAMAS DE ELEMENTOS MECANICOS POR EJE

EJE 3				EJE 4			
BARRA	X	V	M	BARRA	X	V	M
9	0.000000	-41.495113	31.739773	13	0.000000	2.076553	3.279017
9	0.500000	-29.810127	13.913464	13	0.500000	1.539787	4.183102
9	1.000000	-18.125142	1.929646	13	1.000000	1.003021	4.818804
9	1.500000	-6.440156	-4.211678	13	1.500000	0.466254	5.186123
9	2.000000	5.244829	-4.510510	13	2.000000	-0.070512	5.285058
9	2.500000	16.929814	1.033151	13	2.500000	-0.607278	5.115611
9	3.000000	16.488628	9.387761	13	3.000000	-0.991039	4.716032
9	3.500000	16.047441	17.521778	13	3.500000	-1.374799	4.124572
9	4.000000	15.606255	25.435202	13	4.000000	-1.758560	3.341232
9	4.500000	15.165068	33.128033	13	4.500000	-2.142320	2.366013
9	5.000000	14.723882	40.600271	13	5.000000	-2.526080	1.198912
10	5.000000	-31.107743	58.555959	14	5.000000	-0.329999	1.100264
10	5.500000	-31.548929	42.891791	14	5.500000	-0.713760	0.839325
10	6.000000	-31.990116	27.007029	14	6.000000	-1.097520	0.386505
10	6.500000	-32.431302	10.901675	14	6.500000	-1.481281	-0.258196
10	7.000000	-32.872489	-5.424273	14	7.000000	-1.865041	-1.094776
10	7.500000	-33.313675	-21.970814	14	7.500000	-2.248801	-2.123237
10	8.000000	-16.322779	-34.379928	14	8.000000	-1.651124	-3.098218
10	8.500000	0.668117	-38.293593	14	8.500000	-1.053446	-3.774361
10	9.000000	17.659013	-33.711810	14	9.000000	-0.455769	-4.151664
10	9.500000	34.649910	-20.634580	14	9.500000	0.141909	-4.230129
10	10.000000	51.640806	0.938099	14	10.000000	0.739586	-4.009756
11	10.000000	-51.753497	1.466641	15	10.000000	-0.741569	-3.995914
11	10.500000	-34.762601	-20.162383	15	10.500000	-0.143892	-4.217280
11	11.000000	-17.771705	-33.295960	15	11.000000	0.453786	-4.139806
11	11.500000	-0.780809	-37.934088	15	11.500000	1.051463	-3.763494
11	12.000000	16.210088	-34.076768	15	12.000000	1.649141	-3.088343
11	12.500000	33.200984	-21.724000	15	12.500000	2.246818	-2.114353
11	13.000000	32.763699	-5.232830	15	13.000000	1.863783	-1.086702
11	13.500000	32.326414	11.039698	15	13.500000	1.480748	-0.250569
11	14.000000	31.889129	27.093584	15	14.000000	1.097713	0.394046
11	14.500000	31.451844	42.928827	15	14.500000	0.714678	0.847144
11	15.000000	31.014559	58.545428	15	15.000000	0.331643	1.108724
12	15.000000	-14.860325	40.629672	16	15.000000	2.519056	1.195492
12	15.500000	-15.297610	33.090188	16	15.500000	2.136021	2.359261
12	16.000000	-15.734895	25.332062	16	16.000000	1.752986	3.331513
12	16.500000	-16.172180	17.355293	16	16.500000	1.369951	4.112247
12	17.000000	-16.609465	9.159881	16	17.000000	0.986916	4.701463
12	17.500000	-17.046750	0.745827	16	17.500000	0.603881	5.099163
12	18.000000	-5.391813	-4.863814	16	18.000000	0.064206	5.266184
12	18.500000	6.263125	-4.645986	16	18.500000	-0.475469	5.163368
12	19.000000	17.918063	1.399312	16	19.000000	-1.015144	4.790715
12	19.500000	29.573001	13.272078	16	19.500000	-1.554819	4.148225
12	20.000000	41.227939	30.972313	16	20.000000	-2.094493	3.235897

Figura 7.33. Elementos mecánicos por eje del análisis de compresiones para el caso lineal.

A continuación, se muestran los resultados del análisis de tipo No Lineal para lo cual, se repiten los pasos del Manual de Uso con los datos del ejercicio propuesto y haciendo el cambio en la tarjeta 1.

El programa de igual manera que en el análisis de tipo Lineal entregará primero el resumen de la información de la estructura y posteriormente los resultados del análisis de expansiones. Figura 7.34.

ANALISIS DE EXPANSIONES
SOLUCION CASO LINEAL

GRADO DE LIBERTAD, REACCION (t) HASTA N= 25 , Y GIROS (rad) LOS SIGUIENTES

1	2.019302851069289E-005
2	7.139419963120459E-006
3	-4.036103033128614E-003
4	1.933081038245699E-003
5	-1.835926776829952E-003
6	-1.367959431689119E-005
7	-5.368394996574117E-005
8	5.631735828878597E-006
9	-2.358309938437044E-004
10	3.102436903970418E-004
11	8.481318229709244E-004
12	-1.624444696388653E-005
13	-1.240224076707822E-004
14	7.332401076325557E-006
15	-7.818518493792654E-003
16	2.834028292675557E-003
17	2.112215169038437E-005
18	-2.838181363041127E-005
19	-1.973347312633671E-004
20	3.764934107670471E-005

Figura 7.34. Grados de libertad, reacciones y giros del análisis de expansiones para el caso No Lineal.

EL VALOR DE LAS REACCIONES ES:		NUDO, HUNDIMIENTO DEL NUDO (m)	
1	22.1808764578754	1	-0.00404
2	4.518563942282683E-002	2	-0.00024
3	27.5530484394922	3	-0.00782
4	3.583648007498473E-002	4	-0.00023
5	22.2012525395303	5	-0.00404
6	1.75487060333047	6	-0.00100
7	2.38376673753725	7	-0.00092
8	4.04886872523390	8	-0.00253
9	2.38513050736275	9	-0.00092
10	1.75287162366422	10	-0.00100
11	27.2706666931612	11	-0.00718
12	1.97770111266222	12	-0.00112
13	38.5841405369019	13	-0.01410
14	1.98518598367432	14	-0.00112
15	27.2135029079415	15	-0.00716
16	1.76265797045845	16	-0.00101
17	2.38602409914978	17	-0.00092
18	4.05572874914019	18	-0.00253
19	2.38736042400160	19	-0.00092
20	1.75807769962686	20	-0.00100
21	22.2111635493015	21	-0.00404
22	3.859632879652583E-002	22	-0.00023
23	27.5567788375997	23	-0.00782
24	3.239565188150291E-002	24	-0.00023
25	22.2044273955071	25	-0.00404

Figura 7.35. Valores de las reacciones y el hundimiento de cada nodo del análisis de expansiones para el caso No Lineal.

Desplazamientos y giros por nodo

nodo	dx	dy	dz	tx	ty	tz
1	0.000020	0.000007	-0.004036	0.001933	-0.001836	-0.000014
2	-0.000054	0.000006	-0.000236	0.000310	0.000848	-0.000016
3	-0.000124	0.000007	-0.007819	0.002834	0.000021	-0.000028
4	-0.000197	0.000038	-0.000233	0.000308	-0.000871	-0.000028
5	-0.000270	-0.000011	-0.004040	0.001928	0.001892	-0.000075
6	-0.000083	-0.000010	-0.001004	-0.000972	-0.000616	0.000021
7	-0.000094	0.000003	-0.000917	-0.000334	0.000438	0.000001
8	-0.000110	0.000004	-0.002527	-0.001597	-0.000000	-0.000008
9	-0.000127	0.000034	-0.000918	-0.000334	-0.000437	-0.000014
10	-0.000140	-0.000026	-0.001003	-0.000967	0.000615	-0.000036
11	0.000085	-0.000026	-0.007178	0.000012	-0.002435	-0.000020
12	0.000038	0.000002	-0.001122	0.000002	0.001223	-0.000008
13	0.000000	0.000000	-0.014101	0.000015	-0.000024	-0.000013
14	-0.000053	0.000030	-0.001124	0.000002	-0.001199	-0.000009
15	-0.000099	-0.000041	-0.007163	0.000008	0.002370	-0.000015
16	-0.000024	-0.000043	-0.001007	0.000958	-0.000619	0.000033
17	-0.000030	-0.000000	-0.000918	0.000329	0.000438	0.000006
18	-0.000042	-0.000002	-0.002530	0.001580	-0.000001	-0.000006
19	-0.000053	0.000026	-0.000918	0.000330	-0.000437	-0.000010
20	-0.000061	-0.000056	-0.001005	0.000958	0.000615	-0.000049
21	0.000084	-0.000059	-0.004042	-0.001901	-0.001842	-0.000024
22	0.000011	-0.000000	-0.000234	-0.000300	0.000850	0.000003
23	-0.000061	-0.000006	-0.007820	-0.002792	0.000018	0.000000
24	-0.000133	0.000022	-0.000232	-0.000300	-0.000869	0.000016
25	-0.000207	-0.000071	-0.004040	-0.001905	0.001889	0.000030
26	0.000355	-0.000432	-0.004693	-0.001221	0.001147	0.000108
27	0.000192	-0.000280	-0.019282	-0.005645	0.000405	0.000123
28	0.000026	-0.000656	-0.009209	-0.002414	0.000005	0.000027
29	-0.000138	-0.000176	-0.019282	-0.005642	-0.000409	0.000102
30	-0.000308	-0.000423	-0.004697	-0.001215	-0.001137	-0.000046

Figura 7.36. Desplazamientos y giros del análisis de expansiones para el caso No Lineal.

BARRA	ELEMENTOS MECANICOS	GRADO DE LIBERTAD	MAGNITUD
1	NORMAL X1	1	8.01417463
1	CORTANTE Y1	2	-0.20356727
1	CORTANTE Z1	3	38.99725140
1	TORSION X1	4	3.17848684
1	FLEXIONANTE Y1	5	-32.00348252
1	FLEXIONANTE Z1	6	-0.41587983
1	NORMAL X2	7	-8.01417463
1	CORTANTE Y2	8	0.01362008
1	CORTANTE Z2	9	8.56790385
1	TORSION X2	10	-3.17848684
1	FLEXIONANTE Y2	11	25.10414746
1	FLEXIONANTE Z2	12	-0.52375738
2	NORMAL X1	7	7.63031589
2	CORTANTE Y1	8	-0.31455053
2	CORTANTE Z1	9	17.45760176
2	TORSION X1	10	-4.94308080
2	FLEXIONANTE Y1	11	-33.10396542
2	FLEXIONANTE Z1	12	-0.61434076
2	NORMAL X2	13	-7.63031589
2	CORTANTE Y2	14	0.08898924
2	CORTANTE Z2	15	43.53798344
2	TORSION X2	16	4.94308080
2	FLEXIONANTE Y2	17	12.34284836
2	FLEXIONANTE Z2	18	-0.85659827
3	NORMAL X1	13	7.95292086
3	CORTANTE Y1	14	-0.47349195
3	CORTANTE Z1	15	43.45234418
3	TORSION X1	16	4.94671417
3	FLEXIONANTE Y1	17	-11.92310221
3	FLEXIONANTE Z1	18	-0.66494790
3	NORMAL X2	19	-7.95292086
3	CORTANTE Y2	20	0.07939798
3	CORTANTE Z2	21	17.51986812
3	TORSION X2	22	-4.94671417
3	FLEXIONANTE Y2	23	33.08319944
3	FLEXIONANTE Z2	24	-1.17973418

Figura 7.37. Magnitudes de los Elementos Mecánicos y grados de libertad del análisis de expansiones para el caso No Lineal

DIAGRAMAS DE ELEMENTOS MECANICOS POR EJE

EJE 1				EJE 2			
EJE	X	V	M	EJE	X	V	M
1	0.000000	-38.997251	32.003483	5	0.000000	2.755450	2.236002
1	0.500000	-28.706813	15.077466	5	0.500000	2.032885	3.433085
1	1.000000	-18.416375	3.296669	5	1.000000	1.310321	4.268887
1	1.500000	-8.125937	-3.338909	5	1.500000	0.587756	4.743406
1	2.000000	2.164502	-4.829267	5	2.000000	-0.134809	4.856643
1	2.500000	12.454940	-1.174407	5	2.500000	-0.857373	4.608597
1	3.000000	11.677533	4.858711	5	3.000000	-1.265490	4.077881
1	3.500000	10.900125	10.503126	5	3.500000	-1.673607	3.343107
1	4.000000	10.122718	15.758836	5	4.000000	-2.081723	2.404275
1	4.500000	9.345311	20.625844	5	4.500000	-2.489840	1.261384
1	5.000000	8.567904	25.104147	5	5.000000	-2.897957	-0.085565
2	5.000000	-17.457602	33.103965	6	5.000000	0.453420	-0.025318
2	5.500000	-18.235009	24.180813	6	5.500000	0.045303	0.099362
2	6.000000	-19.012416	14.868956	6	6.000000	-0.362813	0.019985
2	6.500000	-19.789823	5.168397	6	6.500000	-0.770930	-0.263451
2	7.000000	-20.567230	-4.920867	6	7.000000	-1.179046	-0.750945
2	7.500000	-21.344638	-15.398834	6	7.500000	-1.587163	-1.442497
2	8.000000	-8.368113	-22.827022	6	8.000000	-1.162729	-2.129970
2	8.500000	4.608411	-23.766947	6	8.500000	-0.738294	-2.605226
2	9.000000	17.584935	-18.218611	6	9.000000	-0.313860	-2.868265
2	9.500000	30.561459	-6.182012	6	9.500000	0.110574	-2.919086
2	10.000000	43.537983	12.342848	6	10.000000	0.535009	-2.757690
3	10.000000	-43.452344	11.923102	7	10.000000	-0.536628	-2.750678
3	10.500000	-30.475820	-6.558939	7	10.500000	-0.112193	-2.912884
3	11.000000	-17.499296	-18.552718	7	11.000000	0.312241	-2.862872
3	11.500000	-4.522772	-24.058235	7	11.500000	0.736675	-2.600643
3	12.000000	8.453753	-23.075489	7	12.000000	1.161110	-2.126196
3	12.500000	21.430277	-15.604482	7	12.500000	1.585544	-1.439533
3	13.000000	20.648195	-5.084864	7	13.000000	1.178109	-0.748619
3	13.500000	19.866113	5.043713	7	13.500000	0.770675	-0.261423
3	14.000000	19.084032	14.781250	7	14.000000	0.363240	0.022055
3	14.500000	18.301950	24.127745	7	14.500000	-0.044195	0.101816
3	15.000000	17.519868	33.083199	7	15.000000	-0.451630	-0.022140
4	15.000000	-8.435818	25.053708	8	15.000000	2.892956	-0.084452
4	15.500000	-9.217899	20.640278	8	15.500000	2.485521	1.260167
4	16.000000	-9.999981	15.835808	8	16.000000	2.078086	2.401069
4	16.500000	-10.782063	10.640297	8	16.500000	1.670651	3.338253
4	17.000000	-11.564145	5.053745	8	17.000000	1.263217	4.071720
4	17.500000	-12.346227	-0.923848	8	17.500000	0.855782	4.601470
4	18.000000	-2.045600	-4.521804	8	18.000000	0.132218	4.848470
4	18.500000	8.255026	-2.969448	8	18.500000	-0.591346	4.733688
4	19.000000	18.555652	3.733222	8	19.000000	-1.314911	4.257124
4	19.500000	28.856279	15.586205	8	19.500000	-2.038475	3.418777

Figura 7.38. Elementos mecánicos por eje del análisis de expansiones para el caso No Lineal

DIAGRAMAS DE ELEMENTOS MECANICOS POR EJE

EJE 3				EJE 4			
BARRA	X	V	M	BARRA	X	V	M
9	0.000000	-43.595036	33.771433	13	0.000000	2.735679	2.265342
9	0.500000	-31.559703	14.982749	13	0.500000	2.017008	3.453514
9	1.000000	-19.524369	2.211731	13	1.000000	1.298337	4.282350
9	1.500000	-7.489036	-4.541621	13	1.500000	0.579666	4.751850
9	2.000000	4.546297	-5.277306	13	2.000000	-0.139005	4.862015
9	2.500000	16.581631	0.004676	13	2.500000	-0.857676	4.612845
9	3.000000	15.970481	8.142704	13	3.000000	-1.264664	4.082260
9	3.500000	15.359332	15.975158	13	3.500000	-1.671652	3.348181
9	4.000000	14.748182	23.502036	13	4.000000	-2.078640	2.410608
9	4.500000	14.137033	30.723340	13	4.500000	-2.485628	1.269540
9	5.000000	13.525883	37.639069	13	5.000000	-2.892616	-0.075021
10	5.000000	-29.696837	56.212176	14	5.000000	0.444094	-0.017588
10	5.500000	-30.307986	41.210971	14	5.500000	0.037106	0.102712
10	6.000000	-30.919136	25.904190	14	6.000000	-0.369882	0.019518
10	6.500000	-31.530285	10.291835	14	6.500000	-0.776870	-0.267170
10	7.000000	-32.141434	-5.626095	14	7.000000	-1.183858	-0.757352
10	7.500000	-32.752584	-21.849599	14	7.500000	-1.590845	-1.451027
10	8.000000	-15.060514	-33.802874	14	8.000000	-1.162981	-2.139484
10	8.500000	2.631557	-36.910113	14	8.500000	-0.735117	-2.614009
10	9.000000	20.323627	-31.171317	14	9.000000	-0.307252	-2.874601
10	9.500000	38.015697	-16.586486	14	9.500000	0.120612	-2.921261
10	10.000000	55.707767	6.844380	14	10.000000	0.548476	-2.753989
11	10.000000	-55.810568	7.328556	15	10.000000	-0.550227	-2.741329
11	10.500000	-38.118498	-16.153711	15	10.500000	-0.122362	-2.909476
11	11.000000	-20.426428	-30.789942	15	11.000000	0.305502	-2.863691
11	11.500000	-2.734357	-36.580138	15	11.500000	0.733367	-2.603974
11	12.000000	14.957713	-33.524299	15	12.000000	1.161231	-2.130325
11	12.500000	32.649783	-21.622425	15	12.500000	1.589095	-1.442743
11	13.000000	32.042376	-5.449386	15	13.000000	1.182776	-0.749775
11	13.500000	31.434969	10.419951	15	13.500000	0.776456	-0.259967
11	14.000000	30.827562	25.985584	15	14.000000	0.370136	0.026680
11	14.500000	30.220155	41.247513	15	14.500000	-0.036184	0.110168
11	15.000000	29.612748	56.205739	15	15.000000	-0.442504	-0.009503
12	15.000000	-13.651617	37.667566	16	15.000000	2.885849	-0.077203
12	15.500000	-14.259024	30.689906	16	15.500000	2.479530	1.264141
12	16.000000	-14.866431	23.408543	16	16.000000	2.073210	2.402326
12	16.500000	-15.473838	15.823476	16	16.500000	1.666890	3.337351
12	17.000000	-16.081245	7.934705	16	17.000000	1.260570	4.069216
12	17.500000	-16.688652	-0.257769	16	17.500000	0.854250	4.597921
12	18.000000	-4.681900	-5.600407	16	18.000000	0.133289	4.844806
12	18.500000	7.324851	-4.939669	16	18.500000	-0.587672	4.731211
12	19.000000	19.331603	1.724445	16	19.000000	-1.308633	4.257134
12	19.500000	31.338354	14.391934	16	19.500000	-2.029594	3.422578

Figura 7.39. Elementos mecánicos por eje del análisis de expansiones para el caso No Lineal.

Siguiendo la lógica de las subrutinas después, se imprimen los resultados para compresiones para el caso no lineal

INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA UTILIZANDO LA ECUACION NO-LINEAL DE DEMENEGHI

ANALISIS DE COMPRESIONES

SOLUCION CASO NO-LINEAL, ECUACION DE DEMENEGHI

REACCIONES, t/m		HUNDIMIENTOS, m	
1	21.57772181	1	-0.00595136
2	0.56211205	2	-0.00138589
3	27.09055064	3	-0.00980639
4	0.55217621	4	-0.00138123
5	21.59932015	5	-0.00595586
6	2.21992503	6	-0.00256494
7	2.39097753	7	-0.00249875
8	3.56192152	8	-0.00462461
9	2.39226947	9	-0.00249908
10	2.21909253	10	-0.00256372
11	26.68496916	11	-0.00920908
12	1.86653148	12	-0.00290071
13	39.56634079	13	-0.01527411
14	1.87517287	14	-0.00290402
15	26.61818121	15	-0.00919235
16	2.22826910	16	-0.00256933
17	2.39335055	17	-0.00250028
18	3.56916930	18	-0.00462821
19	2.39463562	19	-0.00250051
20	2.22398970	20	-0.00256599
21	21.61400890	21	-0.00595911
22	0.55512985	22	-0.00138323
23	27.09796155	23	-0.00980836
24	0.54854586	24	-0.00137979
25	21.60840934	25	-0.00595782

Figura 7.40. Valores de las reacciones y hundimientos de cada nodo del análisis de compresiones para el caso No Lineal.

ANALISIS DE COMPRESIONES
SOLUCION CASO NO-LINEAL, ECUACION DE DEMENEGHI

GIROS Y DESPLAZAMIENTOS

1	0.00001939
2	0.00000200
3	-0.00595136
4	0.00201123
5	-0.00193091
6	-0.00001456
7	-0.00006198
8	0.00000257
9	-0.00138589
10	0.00023707
11	0.00088420
12	-0.00001765
13	-0.00013954
14	0.00000415
15	-0.00980639
16	0.00272996
17	0.00002442
18	-0.00003152
19	-0.00022031
20	0.00004214
21	-0.00138123
22	0.00023449
23	-0.00091023
24	-0.00003083
25	-0.00030040
26	-0.00000977
27	-0.00595586
28	0.00200400
29	0.00199668
30	-0.00008320

Figura 7.41. Desplazamientos y giros del análisis de compresiones para el caso No Lineal.

ANALISIS DE COMPRESIONES
 SOLUCION CASO NO-LINEAL, ECUACION DE DEMENEGHI

Desplazamientos y giros por nodo

nodo	dx	dy	dz	tx	ty	tz
1	0.000019	0.000002	-0.005951	0.002011	-0.001931	-0.000015
2	-0.000062	0.000003	-0.001386	0.000237	0.000884	-0.000018
3	-0.000140	0.000004	-0.009806	0.002730	0.000024	-0.000032
4	-0.000220	0.000042	-0.001381	0.000234	-0.000910	-0.000031
5	-0.000300	-0.000010	-0.005956	0.002004	0.001997	-0.000083
6	-0.000094	-0.000017	-0.002565	-0.001016	-0.000697	0.000022
7	-0.000105	0.000000	-0.002499	-0.000424	0.000535	0.000001
8	-0.000122	0.000003	-0.004625	-0.001431	-0.000000	-0.000009
9	-0.000141	0.000038	-0.002499	-0.000424	-0.000535	-0.000016
10	-0.000155	-0.000026	-0.002564	-0.001010	0.000695	-0.000039
11	0.000086	-0.000035	-0.009209	0.000014	-0.002427	-0.000021
12	0.000038	-0.000001	-0.002901	0.000003	0.001096	-0.000009
13	0.000000	0.000000	-0.015274	0.000017	-0.000027	-0.000015
14	-0.000054	0.000034	-0.002904	0.000002	-0.001069	-0.000011
15	-0.000100	-0.000043	-0.009192	0.000009	0.002352	-0.000017
16	-0.000027	-0.000054	-0.002569	0.000999	-0.000700	0.000036
17	-0.000034	-0.000004	-0.002500	0.000418	0.000536	0.000006
18	-0.000046	-0.000001	-0.004628	0.001412	-0.000001	-0.000006
19	-0.000058	0.000030	-0.002501	0.000419	-0.000535	-0.000011
20	-0.000066	-0.000059	-0.002566	0.001000	0.000695	-0.000053
21	0.000091	-0.000071	-0.005959	-0.001974	-0.001939	-0.000025
22	0.000010	-0.000004	-0.001383	-0.000225	0.000887	0.000003
23	-0.000069	-0.000003	-0.009808	-0.002683	0.000020	0.000001
24	-0.000149	0.000025	-0.001380	-0.000225	-0.000908	0.000017
25	-0.000230	-0.000076	-0.005958	-0.001980	0.001993	0.000034
26	0.000384	-0.000466	-0.006609	-0.001234	0.001169	0.000121
27	0.000207	-0.000317	-0.021241	-0.005592	0.000406	0.000128
28	0.000025	-0.000659	-0.011191	-0.002368	0.000005	0.000033
29	-0.000153	-0.000195	-0.021242	-0.005588	-0.000410	0.000104
30	-0.000338	-0.000437	-0.006613	-0.001231	-0.001159	-0.000048

Figura 7.42. Desplazamientos y giros por nodo del análisis de compresiones para el caso No Lineal.

BARRA	ELEMENTOS MECANICOS	GRADO DE LIBERTAD	MAGNITUD
1	NORMAL X1	1	8.82769297
1	CORTANTE Y1	2	-0.22523894
1	CORTANTE Z1	3	37.04914447
1	TORSION X1	4	3.47486762
1	FLEXIONANTE Y1	5	-29.48949035
1	FLEXIONANTE Z1	6	-0.50957544
1	NORMAL X2	7	-8.82769297
1	CORTANTE Y2	8	0.02302834
1	CORTANTE Z2	9	10.30044018
1	TORSION X2	10	-3.47486762
1	FLEXIONANTE Y2	11	28.29151016
1	FLEXIONANTE Z2	12	-0.58097262
2	NORMAL X1	7	8.41296261
2	CORTANTE Y1	8	-0.34577464
2	CORTANTE Z1	9	19.44582036
2	TORSION X1	10	-4.88258048
2	FLEXIONANTE Y1	11	-36.32411681
2	FLEXIONANTE Z1	12	-0.72654248
2	NORMAL X2	13	-8.41296261
2	CORTANTE Y2	14	0.10066340
2	CORTANTE Z2	15	41.68583636
2	TORSION X2	16	4.88258048
2	FLEXIONANTE Y2	17	9.02278621
2	FLEXIONANTE Z2	18	-0.94465051
3	NORMAL X1	13	8.76273029
3	CORTANTE Y1	14	-0.53834410
3	CORTANTE Z1	15	41.58480691
3	TORSION X1	16	4.88762500
3	FLEXIONANTE Y1	17	-8.53171118
3	FLEXIONANTE Z1	18	-0.76471180
3	NORMAL X2	19	-8.76273029
3	CORTANTE Y2	20	0.10071948
3	CORTANTE Z2	21	19.52201022
3	TORSION X2	22	-4.88762500
3	FLEXIONANTE Y2	23	36.30713954
3	FLEXIONANTE Z2	24	-1.34188609
4	NORMAL X1	19	8.68787614
4	CORTANTE Y1	20	-0.64752550
4	CORTANTE Z1	21	10.14948199
4	TORSION X1	22	-3.46574582
4	FLEXIONANTE Y1	23	-28.23785742
4	FLEXIONANTE Z1	24	-1.45146717
4	NORMAL X2	25	-8.68787614
4	CORTANTE Y2	26	0.21943887
4	CORTANTE Z2	27	37.22925892
4	TORSION X2	28	3.46574582
4	FLEXIONANTE Y2	29	30.16497494
4	FLEXIONANTE Z2	30	-1.92180783

Figura 7.43. Magnitudes de los Elementos Mecánicos y grados de libertad del análisis de compresiones para el caso No Lineal

DIAGRAMAS DE ELEMENTOS MECANICOS POR EJE

EJE 1				EJE 2			
EJE BARRA	X	V	M	EJE BARRA	X	V	M
1	0.000000	-37.049144	29.489490	5	0.000000	1.842531	3.397476
1	0.500000	-27.060284	13.462133	5	0.500000	1.352493	4.196232
1	1.000000	-17.071423	2.429207	5	1.000000	0.862456	4.749969
1	1.500000	-7.082562	-3.609289	5	1.500000	0.372418	5.058687
1	2.000000	2.906299	-4.653355	5	2.000000	-0.117619	5.122387
1	2.500000	12.895160	-0.702990	5	2.500000	-0.607657	4.941068
1	3.000000	12.376216	5.614854	5	3.000000	-1.012168	4.536112
1	3.500000	11.857272	11.673226	5	3.500000	-1.416679	3.928900
1	4.000000	11.338328	17.472126	5	4.000000	-1.821190	3.119433
1	4.500000	10.819384	23.011554	5	4.500000	-2.225702	2.107710
1	5.000000	10.300440	28.291510	5	5.000000	-2.630213	0.893731
2	5.000000	-19.445820	36.324117	6	5.000000	0.241761	0.413897
2	5.500000	-19.964764	26.471471	6	5.500000	-0.162750	0.433650
2	6.000000	-20.483708	16.359352	6	6.000000	-0.567262	0.251147
2	6.500000	-21.002652	5.987762	6	6.500000	-0.971773	-0.133612
2	7.000000	-21.521596	-4.643300	6	7.000000	-1.376284	-0.720626
2	7.500000	-22.040540	-15.533834	6	7.500000	-1.780795	-1.509896
2	8.000000	-9.295265	-23.367785	6	8.000000	-1.599835	-2.355054
2	8.500000	3.450010	-24.829099	6	8.500000	-1.418874	-3.109731
2	9.000000	16.195286	-19.917775	6	9.000000	-1.237913	-3.773928
2	9.500000	28.940561	-8.633813	6	9.500000	-1.056952	-4.347644
2	10.000000	41.685836	9.022786	6	10.000000	-0.875992	-4.830880
3	10.000000	-41.584807	8.531711	7	10.000000	0.874176	-4.823591
3	10.500000	-28.839532	-9.074373	7	10.500000	1.055137	-4.341263
3	11.000000	-16.094256	-20.307820	7	11.000000	1.236098	-3.768454
3	11.500000	-3.348981	-25.168630	7	11.500000	1.417058	-3.105165
3	12.000000	9.396294	-23.656801	7	12.000000	1.598019	-2.351396
3	12.500000	22.141570	-15.772335	7	12.500000	1.778980	-1.507146
3	13.000000	21.617658	-4.832528	7	13.000000	1.375115	-0.718623
3	13.500000	21.093746	5.845322	7	13.500000	0.971249	-0.132032
3	14.000000	20.569834	16.261217	7	14.000000	0.567384	0.252627
3	14.500000	20.045922	26.415156	7	14.500000	0.163519	0.435352
3	15.000000	19.522010	36.307140	7	15.000000	-0.240346	0.416145
4	15.000000	-10.149482	28.237857	8	15.000000	2.624988	0.895178
4	15.500000	-10.673394	23.032138	8	15.500000	2.221122	2.106705
4	16.000000	-11.197306	17.564464	8	16.000000	1.817257	3.116300
4	16.500000	-11.721218	11.834833	8	16.500000	1.413392	3.923962
4	17.000000	-12.245130	5.843246	8	17.000000	1.009527	4.529692
4	17.500000	-12.769041	-0.410297	8	17.500000	0.605661	4.933489
4	18.000000	-2.769381	-4.294903	8	18.000000	0.115208	5.113706
4	18.500000	7.230279	-3.179678	8	18.500000	-0.375246	5.048696
4	19.000000	17.229939	2.935376	8	19.000000	-0.865700	4.738460
4	19.500000	27.229599	14.050260	8	19.500000	-1.356154	4.182996
4	20.000000	37.229259	30.164975	8	20.000000	-1.846607	3.382306

Figura 7.44. Elementos mecánicos por eje del análisis de compresiones para el caso No Lineal.

DIAGRAMAS DE ELEMENTOS MECANICOS POR EJE

EJE 3				EJE 4			
EJE BARRA	X	V	M	EJE BARRA	X	V	M
9	0.000000	-42.423843	32.597846	13	0.000000	1.821419	3.430256
9	0.500000	-30.681359	14.321545	13	0.500000	1.335553	4.219499
9	1.000000	-18.938874	1.916487	13	1.000000	0.849688	4.765810
9	1.500000	-7.196390	-4.617329	13	1.500000	0.363822	5.069187
9	2.000000	4.546095	-5.279903	13	2.000000	-0.122043	5.129632
9	2.500000	16.288579	-0.071234	13	2.500000	-0.607908	4.947144
9	3.000000	15.621845	7.906372	13	3.000000	-1.011233	4.542359
9	3.500000	14.955111	15.550611	13	3.500000	-1.414558	3.935911
9	4.000000	14.288377	22.861483	13	4.000000	-1.817883	3.127801
9	4.500000	13.621642	29.838988	13	4.500000	-2.221207	2.118028
9	5.000000	12.954908	36.483125	13	5.000000	-2.624532	0.906594
10	5.000000	-29.493593	55.999283	14	5.000000	0.231439	0.422838
10	5.500000	-30.160328	41.085802	14	5.500000	-0.171885	0.437726
10	6.000000	-30.827062	25.838955	14	6.000000	-0.575210	0.250952
10	6.500000	-31.493796	10.258740	14	6.500000	-0.978535	-0.137484
10	7.000000	-32.160530	-5.654841	14	7.000000	-1.381860	-0.727583
10	7.500000	-32.827265	-21.901790	14	7.500000	-1.785184	-1.519344
10	8.000000	-14.644094	-33.769630	14	8.000000	-1.600600	-2.365790
10	8.500000	3.539076	-36.545885	14	8.500000	-1.416015	-3.119943
10	9.000000	21.722246	-30.230554	14	9.000000	-1.231430	-3.781805
10	9.500000	39.905417	-14.823638	14	9.500000	-1.046846	-4.351374
10	10.000000	58.088587	9.674863	14	10.000000	-0.862261	-4.828650
11	10.000000	-58.206649	10.230569	15	10.000000	0.860136	-4.813979
11	10.500000	-40.023479	-14.326963	15	10.500000	1.044721	-4.337765
11	11.000000	-21.840308	-29.792910	15	11.000000	1.229306	-3.769258
11	11.500000	-3.657138	-36.167271	15	11.500000	1.413890	-3.108459
11	12.000000	14.526032	-33.450048	15	12.000000	1.598475	-2.355368
11	12.500000	32.709203	-21.641239	15	12.500000	1.783060	-1.509984
11	13.000000	32.046789	-5.452241	15	13.000000	1.380377	-0.719125
11	13.500000	31.384376	10.405551	15	13.500000	0.977695	-0.129607
11	14.000000	30.721962	25.932135	15	14.000000	0.575013	0.258570
11	14.500000	30.059549	41.127513	15	14.500000	0.172331	0.445406
11	15.000000	29.397135	55.991684	15	15.000000	-0.230351	0.430901
12	15.000000	-13.099368	36.515252	16	15.000000	2.617287	0.902984
12	15.500000	-13.761782	29.799964	16	15.500000	2.214605	2.110957
12	16.000000	-14.424195	22.753470	16	16.000000	1.811923	3.117589
12	16.500000	-15.086609	15.375769	16	16.500000	1.409240	3.922879
12	17.000000	-15.749023	7.666861	16	17.000000	1.006558	4.526829
12	17.500000	-16.411436	-0.373253	16	17.500000	0.603876	4.929438
12	18.000000	-4.702345	-5.651699	16	18.000000	0.115871	5.109374
12	18.500000	7.006745	-5.075599	16	18.500000	-0.372134	5.045308
12	19.000000	18.715836	1.355046	16	19.000000	-0.860140	4.737240
12	19.500000	30.424926	13.640237	16	19.500000	-1.348145	4.185169
12	20.000000	42.134017	31.779973	16	20.000000	-1.836150	3.389095

Figura 7.45. Elementos mecánicos por eje del análisis de compresiones para el caso No Lineal.

7.1 Comparativa de Resultados

A partir de los resultados obtenidos de los análisis Lineal y No Lineal del ejercicio. Se presentan las siguientes tablas donde se comparan los elementos mecánicos de los ejes C, D y E y se muestran los diagramas de cortante y momento de cada uno.

Tabla 7.1. Comparativo de elementos mecánicos del Eje C para el análisis Lineal y No Lineal.

Análisis Lineal			
EJE C			
BARRA	X	V	M
9	0	-41.495113	31.739773
9	0.5	-29.810127	13.913464
9	1	-18.125142	1.929646
9	1.5	-6.440156	-4.211678
9	2	5.244829	-4.51051
9	2.5	16.929814	1.033151
9	3	16.488628	9.387761
9	3.5	16.047441	17.521778
9	4	15.606255	25.435202
9	4.5	15.165068	33.128033
9	5	14.723882	40.600271
10	5	-31.107743	58.555959
10	5.5	-31.548929	42.891791
10	6	-31.990116	27.007029
10	6.5	-32.431302	10.901675
10	7	-32.872489	-5.424273
10	7.5	-33.313675	-21.970814
10	8	-16.322779	-34.379928
10	8.5	0.668117	-38.293593
10	9	17.659013	-33.71181
10	9.5	34.64991	-20.63458
10	10	51.640806	0.938099
11	10	-51.753497	1.466641
11	10.5	-34.762601	-20.162383
11	11	-17.771705	-33.29596
11	11.5	-0.780809	-37.934088
11	12	16.210088	-34.076768
11	12.5	33.200984	-21.724
11	13	32.763699	-5.23283
11	13.5	32.326414	11.039698
11	14	31.889129	27.093584
11	14.5	31.451844	42.928827
11	15	31.014559	58.545428
12	15	-14.860325	40.629672
12	15.5	-15.29761	33.090188
12	16	-15.734895	25.332062
12	16.5	-16.17218	17.355293
12	17	-16.609465	9.159881
12	17.5	-17.04675	0.745827
12	18	-5.391813	-4.863814
12	18.5	6.263125	-4.645986
12	19	17.918063	1.399312
12	19.5	29.573001	13.272078
12	20	41.227939	30.972313

Análisis No lineal			
EJE C			
BARRA	X	V	M
9	0	-42.423843	32.597846
9	0.5	-30.681359	14.321545
9	1	-18.938874	1.916487
9	1.5	-7.19639	-4.617329
9	2	4.546095	-5.279903
9	2.5	16.288579	-0.071234
9	3	15.621845	7.906372
9	3.5	14.955111	15.550611
9	4	14.288377	22.861483
9	4.5	13.621642	29.838988
9	5	12.954908	36.483125
10	5	-29.493593	55.999283
10	5.5	-30.160328	41.085802
10	6	-30.827062	25.838955
10	6.5	-31.493796	10.25874
10	7	-32.16053	-5.654841
10	7.5	-32.827265	-21.90179
10	8	-14.644094	-33.76963
10	8.5	3.539076	-36.545885
10	9	21.722246	-30.230554
10	9.5	39.905417	-14.823638
10	10	58.088587	9.674863
11	10	-58.206649	10.230569
11	10.5	-40.023479	-14.326963
11	11	-21.840308	-29.79291
11	11.5	-3.657138	-36.167271
11	12	14.526032	-33.450048
11	12.5	32.709203	-21.641239
11	13	32.046789	-5.452241
11	13.5	31.384376	10.405551
11	14	30.721962	25.932135
11	14.5	30.059549	41.127513
11	15	29.397135	55.991684
12	15	-13.099368	36.515252
12	15.5	-13.761782	29.799964
12	16	-14.424195	22.75347
12	16.5	-15.086609	15.375769
12	17	-15.749023	7.666861
12	17.5	-16.411436	-0.373253
12	18	-4.702345	-5.651699
12	18.5	7.006745	-5.075599
12	19	18.715836	1.355046
12	19.5	30.424926	13.640237
12	20	42.134017	31.779973

Tabla 7.2. Comparativo de elementos mecánicos del Eje D para el análisis Lineal y No Lineal.

Análisis Lineal			
EJE D			
BARRA	X	V	M
5	0	2.097852	3.246827
5	0.5	1.556875	4.160509
5	1	1.015898	4.803702
5	1.5	0.474921	5.176407
5	2	-0.066056	5.278623
5	2.5	-0.607033	5.11035
5	3	-0.991981	4.710597
5	3.5	-1.376928	4.11837
5	4	-1.761876	3.333669
5	4.5	-2.146823	2.356494
5	5	-2.53177	1.186846
6	5	-0.319907	1.091731
6	5.5	-0.704854	0.835541
6	6	-1.089801	0.386877
6	6.5	-1.474749	-0.25426
6	7	-1.859696	-1.087872
6	7.5	-2.244644	-2.113957
6	8	-1.65053	-3.08775
6	8.5	-1.056416	-3.764486
6	9	-0.462301	-4.144165
6	9.5	0.131813	-4.226788
6	10	0.725927	-4.012353
7	10	-0.727701	-4.005166
7	10.5	-0.133587	-4.220488
7	11	0.460527	-4.138753
7	11.5	1.054641	-3.759961
7	12	1.648755	-3.084112
7	12.5	2.242869	-2.111206
7	13	1.858651	-1.085826
7	13.5	1.474434	-0.252554
7	14	1.090216	0.388608
7	14.5	0.705998	0.837662
7	15	0.321781	1.094607
8	15	2.52667	1.187647
8	15.5	2.142453	2.354928
8	16	1.758235	3.3301
8	16.5	1.374017	4.113163
8	17	0.9898	4.704117
8	17.5	0.605582	5.102962
8	18	0.06333	5.27019
8	18.5	-0.478922	5.166292
8	19	-1.021174	4.791269
8	19.5	-1.563426	4.145119
8	20	-2.105677	3.227843

Análisis No lineal			
EJE C			
BARRA	X	V	M
5	0	1.842531	3.397476
5	0.5	1.352493	4.196232
5	1	0.862456	4.749969
5	1.5	0.372418	5.058687
5	2	-0.117619	5.122387
5	2.5	-0.607657	4.941068
5	3	-1.012168	4.536112
5	3.5	-1.416679	3.9289
5	4	-1.82119	3.119433
5	4.5	-2.225702	2.10771
5	5	-2.630213	0.893731
6	5	0.241761	0.413897
6	5.5	-0.16275	0.43365
6	6	-0.567262	0.251147
6	6.5	-0.971773	-0.133612
6	7	-1.376284	-0.720626
6	7.5	-1.780795	-1.509896
6	8	-1.599835	-2.355054
6	8.5	-1.418874	-3.109731
6	9	-1.237913	-3.773928
6	9.5	-1.056952	-4.347644
6	10	-0.875992	-4.83088
7	10	0.874176	-4.823591
7	10.5	1.055137	-4.341263
7	11	1.236098	-3.768454
7	11.5	1.417058	-3.105165
7	12	1.598019	-2.351396
7	12.5	1.77898	-1.507146
7	13	1.375115	-0.718623
7	13.5	0.971249	-0.132032
7	14	0.567384	0.252627
7	14.5	0.163519	0.435352
7	15	-0.240346	0.416145
8	15	2.624988	0.895178
8	15.5	2.221122	2.106705
8	16	1.817257	3.1163
8	16.5	1.413392	3.923962
8	17	1.009527	4.529692
8	17.5	0.605661	4.933489
8	18	0.115208	5.113706
8	18.5	-0.375246	5.048696
8	19	-0.8657	4.73846
8	19.5	-1.356154	4.182996
8	20	-1.846607	3.382306

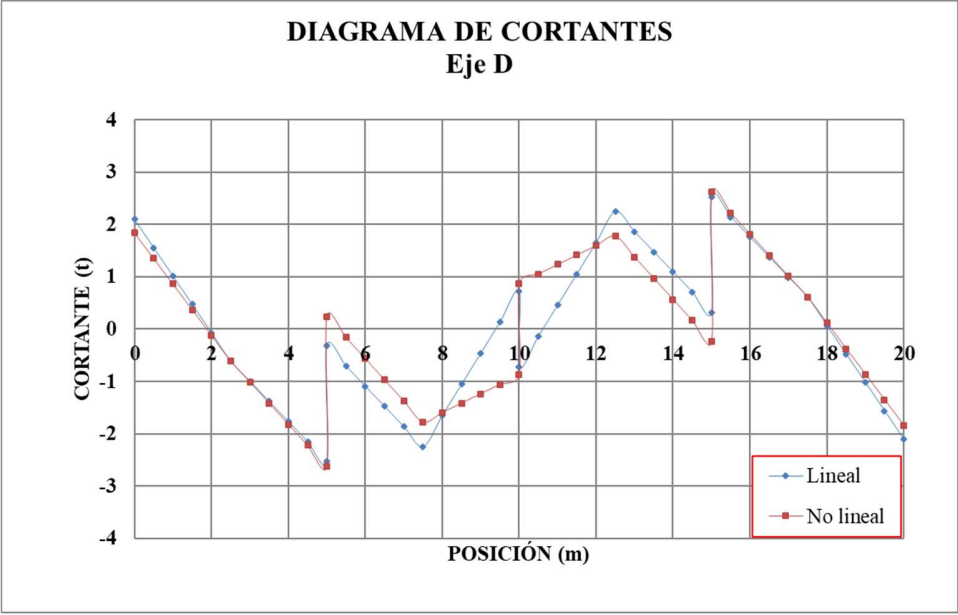


Figura 7.46. Comparativa de diagrama de cortantes del Eje D.

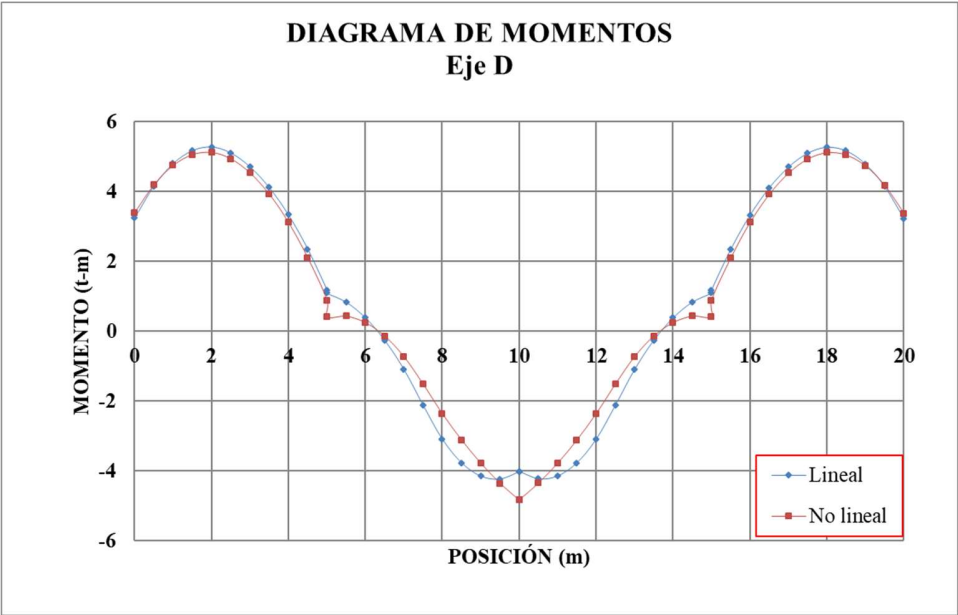


Figura 7.47. Comparativa de diagrama de momentos del Eje D.

Tabla 7.3. Comparativo de elementos mecánicos del Eje E para el análisis Lineal y No Lineal

Análisis Lineal			
EJE E			
BARRA	X	V	M
1	0	-38.146106	31.060421
1	0.5	-27.954952	14.535156
1	1	-17.763799	3.105468
1	1.5	-7.572646	-3.228643
1	2	2.618508	-4.467178
1	2.5	12.809661	-0.610135
1	3	12.199786	5.642226
1	3.5	11.589912	11.589651
1	4	10.980037	17.232138
1	4.5	10.370163	22.569688
1	5	9.760288	27.602301
2	5	-18.824704	35.144929
2	5.5	-19.434578	25.580109
2	6	-20.044453	15.710351
2	6.5	-20.654327	5.535656
2	7	-21.264202	-4.943976
2	7.5	-21.874076	-15.728546
2	8	-9.163239	-23.487875
2	8.5	3.547599	-24.891785
2	9	16.258436	-19.940276
2	9.5	28.969274	-8.633348
2	10	41.680111	9.028998
3	10	-41.585386	8.565909
3	10.5	-28.874548	-9.049075
3	11	-16.163711	-20.30864
3	11.5	-3.452873	-25.212786
3	12	9.257964	-23.761513
3	12.5	21.968802	-15.954822
3	13	21.353954	-5.124133
3	13.5	20.739106	5.399132
3	14	20.124259	15.614974
3	14.5	19.509411	25.523391
3	15	18.894563	35.124385
4	15	-9.615387	27.547636
4	15.5	-10.230234	22.586231
4	16	-10.845082	17.317401
4	16.5	-11.45993	11.741148
4	17	-12.074777	5.857472
4	17.5	-12.689625	-0.333629
4	18	-2.487984	-4.128031
4	18.5	7.713656	-2.821614
4	19	17.915297	3.585625
4	19.5	28.116938	15.093684
4	20	38.318579	31.702563

Análisis No lineal			
EJE E			
BARRA	X	V	M
1	0	-37.049144	29.48949
1	0.5	-27.060284	13.462133
1	1	-17.071423	2.429207
1	1.5	-7.082562	-3.609289
1	2	2.906299	-4.653355
1	2.5	12.89516	-0.70299
1	3	12.376216	5.614854
1	3.5	11.857272	11.673226
1	4	11.338328	17.472126
1	4.5	10.819384	23.011554
1	5	10.30044	28.29151
2	5	-19.44582	36.324117
2	5.5	-19.964764	26.471471
2	6	-20.483708	16.359352
2	6.5	-21.002652	5.987762
2	7	-21.521596	-4.6433
2	7.5	-22.04054	-15.533834
2	8	-9.295265	-23.367785
2	8.5	3.45001	-24.829099
2	9	16.195286	-19.917775
2	9.5	28.940561	-8.633813
2	10	41.685836	9.022786
3	10	-41.584807	8.531711
3	10.5	-28.839532	-9.074373
3	11	-16.094256	-20.30782
3	11.5	-3.348981	-25.16863
3	12	9.396294	-23.656801
3	12.5	22.14157	-15.772335
3	13	21.617658	-4.832528
3	13.5	21.093746	5.845322
3	14	20.569834	16.261217
3	14.5	20.045922	26.415156
3	15	19.52201	36.30714
4	15	-10.149482	28.237857
4	15.5	-10.673394	23.032138
4	16	-11.197306	17.564464
4	16.5	-11.721218	11.834833
4	17	-12.24513	5.843246
4	17.5	-12.769041	-0.410297
4	18	-2.769381	-4.294903
4	18.5	7.230279	-3.179678
4	19	17.229939	2.935376
4	19.5	27.229599	14.05026
4	20	37.229259	30.164975

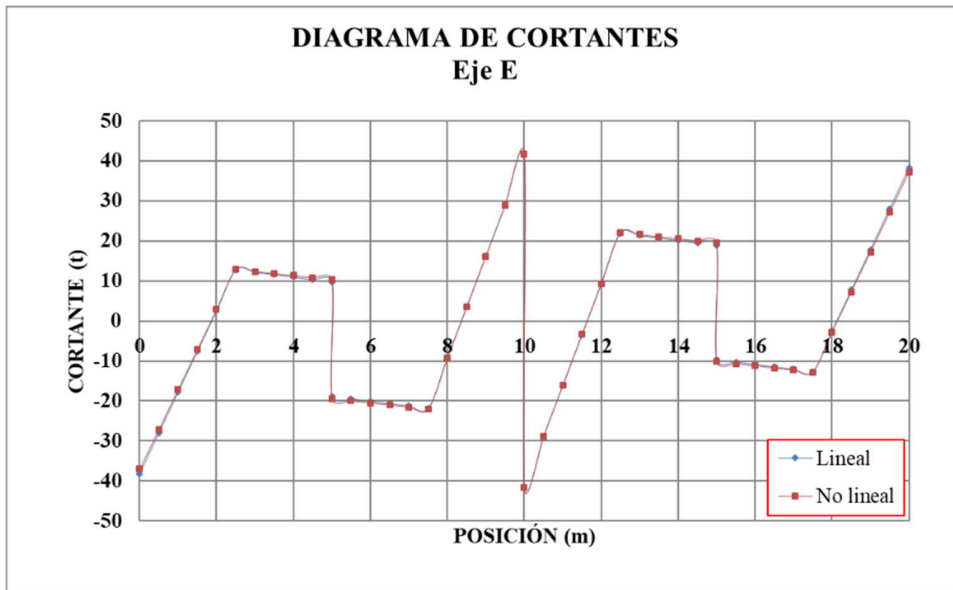


Figura 7.48. Comparativa de diagrama de cortantes del Eje E.

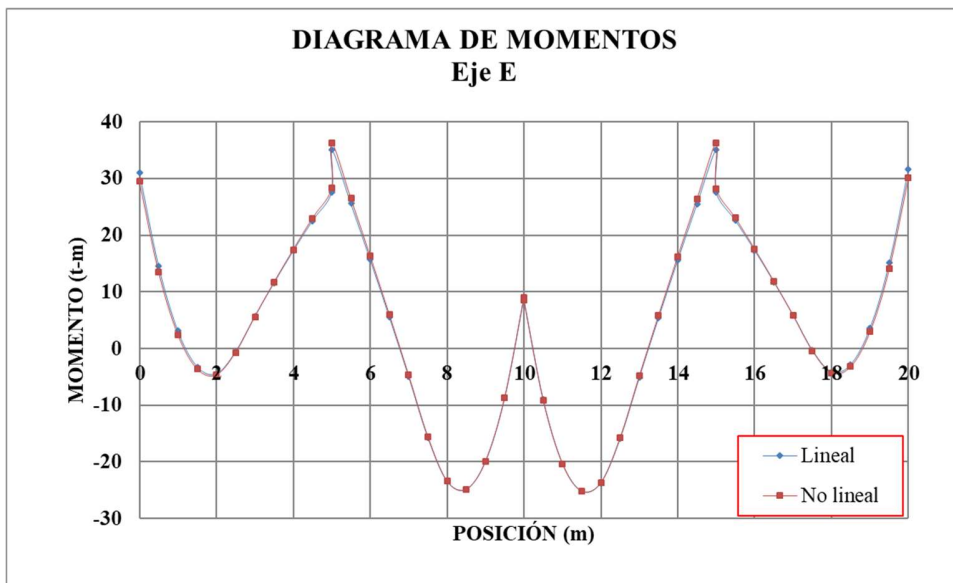


Figura 7.49. Comparativa de diagrama de momentos del Eje E.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos de ambos análisis se obtiene el comportamiento de la estructura para cada caso. Gráficamente los desplazamientos en cada nodo y barra se presentan en las figuras 7.50 y 7.51

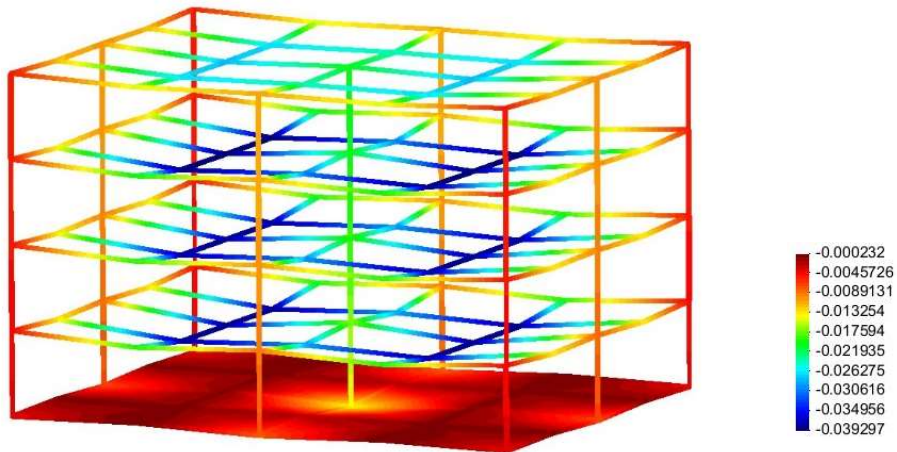


Figura 7.50. Estructura deformada, desplazamientos para el análisis Lineal. La coloración indica su valor (m)

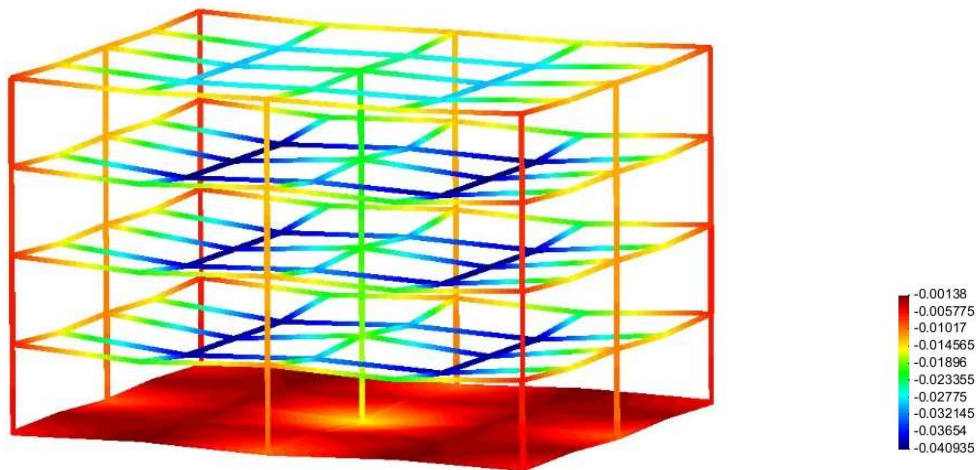


Figura 7.51. Estructura deformada, desplazamientos para el análisis No Lineal. La coloración indica su valor (m)

8. Conclusiones

Mediante el programa de computadora ISE3D, el cual toma en cuenta la interacción suelo-cimentación-superestructura y además considera la no linealidad del suelo, se obtuvieron los elementos mecánicos en cada barra, tanto en la estructura como en la losa de cimentación, a partir de la compatibilidad de deformaciones nodales entre la estructura, la subestructura y el suelo.

En el estudio de la interacción suelo-estructura resulta necesario emplear ecuaciones constitutivas no lineales para tomar en cuenta el comportamiento no lineal de los suelos. En este trabajo se empleó la expresión para calcular desplazamientos en suelos friccionantes propuesta por Deméneghi (2008).

Los resultados obtenidos de las reacciones, elementos mecánicos, hundimientos y desplazamientos para cada tipo de análisis permiten apreciar ciertas diferencias debido a las consideraciones mismas en cada método. Sin embargo lo recomendable para fines de diseño se deberá evaluar ambos casos para determinar el caso más desfavorable y garantizar la seguridad estructural de la edificación a través de un diseño adecuado.

La elaboración del programa ISE3D es una muestra de que los ingenieros civiles tenemos la capacidad de crear nuestras propias herramientas numéricas, las cuales nos permiten obtener información importante para el diseño de obras. Esto nos hace menos independientes del software comercial, y además, tenemos la libertad y el control completo para seguir modificando nuestro propio software según las necesidades que tengamos y conforme vayamos mejorando nuestras técnicas de cálculo.

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 Colina, Agustín. Cálculo del Asentamiento de un Cimiento en Arena. XXIV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. "Los nuevos retos de la ingeniería geotécnica en el siglo XXI". Tomo 2. Noviembre de 2008. Aguascalientes, Ags. Pág 301-305
- Deméneghi A., Puebla M. y Sanginés H. (2008) "Apuntes de análisis y diseño de cimentaciones: Tomo 1". Facultad de Ingeniería, UNAM
- Deméneghi Colina, Agustín, Puebla Cadena, Margarita, Sanginés García, Hector, Análisis y Diseño de Cimentaciones. Tomo 1. México, Universidad Nacional de México, Facultad de Ingeniería, Tercera Edición, 2015, pág.
- 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., Deméneghi A., Legorreta N. y Sanginés H. (2014) "Interacción Suelo – Estructura tomando en cuenta la superestructura, la sub estructura y el terreno de cimentación". XXVII Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, Puerto Vallarta, Jalisco, 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