

Manual del Programa ALKT

Introducción

Este trabajo es un desarrollo de *software educativo* enfocado a estudiantes de ingeniería civil, y presenta una alternativa para el estudio de losas planas que puedan tener diferentes condiciones de apoyo. Los autores que han trabajado en el desarrollo, validación e implementación del método, son profesores de tiempo completo que pertenecen al Departamento de Ingeniería Civil de la División de Ingenierías del Campus Guanajuato de la Universidad de Guanajuato, y son:

1. Jesús Gerardo Valdés Vázquez
2. Alejandro Hernández Martínez
3. Adrián David García Soto
4. León Francisco Gay Alanís

A pesar que los autores han validado los resultados arrojados por este software, no se responsabilizan de ningún trabajo de la vida profesional, ya que está pensado para el desarrollo de habilidades de los alumnos en el aula de clase.

Manual Teórico

El programa **ALKT** es un acrónimo para **Análisis de Losas con elementos de Kirchhoff Triangulares**. Su planteamiento teórico se basa el elemento original de Theodore H. H. Pian de julio de 1964 denominado *Derivation of Element Stiffness Matrices by Assumed Stress Distributions* publicado en el American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal en su Volumen 2, número 7 en la página 1333-1336. Debido a la gran cantidad de elementos desarrollado en la época para el análisis de placas delgadas (aplicable a losas en el mundo de la ingeniería civil), diez años más tarde se encontró que el elemento original de Pian era uno de los mejores. Por ese motivo, Jean-Louis Batoz, Klaus-Jürgen Bathe y Lee-Wing Ho publicaron en 1980 un estudio denominado *A Study of Three-Node Triangular Plate Bending Elements* en el International Journal for Numerical Methods in Engineering en su Volumen 15 en las páginas 1771-1812. Posteriormente C. Jeyachandrabose, J. Kirkhope y C. Ramesh Babu publicaron en 1985 una formulación explícita para el elemento original de Pian denominado *An Alternative Explicit Formulation for the DKT Plate-Bending Element* en el International Journal for Numerical Methods in Engineering en su Volumen 21 en las páginas 1289-1293. Este elemento conocido como DKT es el que está implementado para el análisis de losas en el programa ALKT.

El principio del trabajo virtual presentado en el estudio de la mecánica de medios continuos se puede escribir como

$$\int_V \delta \varepsilon \sigma \, dV = \int_A \delta w \, q \, dA + \sum_i \delta w_i \, F_i \quad (1)$$

donde la parte izquierda de la igualdad representa el trabajo virtual interno, mientras que la parte derecha lo hace para el trabajo virtual externo. Debido a que se trata de un problema de la teoría de placas, las integrales de volumen de la ecuación (1) se pueden simplificar sobre el plano medio de la placa en función de los esfuerzos y deformaciones generalizadas, de donde se obtiene

$$\int_V \delta \varepsilon \sigma \, dV = \int_A \delta \hat{\varepsilon}_f \hat{\sigma}_f \, dA \quad (2)$$

Una vez obtenida esta igualdad, se puede operar con los esfuerzos y deformaciones generalizadas en un problema bidimensional ya que todas las integrales y funciones del problema son función únicamente de las coordenadas del plano medio de la placa. De esta manera, la ecuación (2) se escribe de manera simplificada por

$$\int_A \delta \hat{\varepsilon}_f \hat{\sigma}_f \, dA = \int_A \left(\delta \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} M_x + \delta \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} M_y + 2\delta \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} M_{xy} \right) dA \quad (3)$$

De la expresión anterior se concluye que el trabajo virtual interno para una placa puede obtenerse a partir de las contribuciones del trabajo que realizan cada uno de los momentos sobre las curvaturas correspondientes. Es interesante resaltar que entonces nuestro problema nos dará como solución las flechas y los giros de la placa, así como los momentos que se aprecian en la ecuación número 3. Para una comprensión completa del método utilizado en este trabajo, se recomienda estudiar los planteamientos teóricos y numéricos mencionados al principio de este apartado.

Manual del Usuario

Instalación

Para poder usar el programa *ALKT*, lo primero que se debe hacer es descargar el preprocesador y postprocesador GiD, que se encuentra en

<http://www.gidhome.com/download/official-versions>

y seguir las instrucciones ahí mostradas para su instalación. La versión al momento de escribir este manual del programa GiD es la 12. Se puede trabajar con el programa de 3 formas:

1. Instalando el programa y utilizarlo con mallas de pocos elementos.
2. Instalando el programa y solicitar una licencia gratis por un mes.
3. Instalando el programa y comprando una licencia profesional.

Después se tiene que copiar nuestro programa *ALKT.gid* en la carpeta *problemtypes* del recién instalado programa GiD, la cual se encuentra en

`C:\Program Files\GiD\GiD 12.0.6\problemtypes`

Una vez copiada la carpeta *ALKT.gid* dentro de la carpeta *\problemtypes* se puede comenzar a utilizar el programa, como a continuación se detalla.

Mi primer análisis de una losa

Para poder llevar a cabo un ejemplo del análisis de una losa y poder validar la correcta solución del programa, se tomarán los datos de una losa que tiene solución exacta para la flecha usando el método de M. Lévy. Las soluciones propuestas para losas planas por el método de M. Lévy se pueden desarrollar para losas rectangulares con diferentes condiciones de apoyo.

Para nuestro análisis, estudiaremos una losa cuadrada empotrada perimetralmente que tiene los siguientes datos adimensionales

- $a = b = 12$ (losa cuadrada)
- $E = 1.8 \times 10^{10}$
- $\nu = 0.3$
- $t = 0.05$
- $q = -0.5$

Lo primero que hay que hacer después de iniciar el programa GiD, es abrir el menú *Data* de la parte de *probletype*, seleccionar nuestro programa *ALKT*, como se muestra en la figura 1.

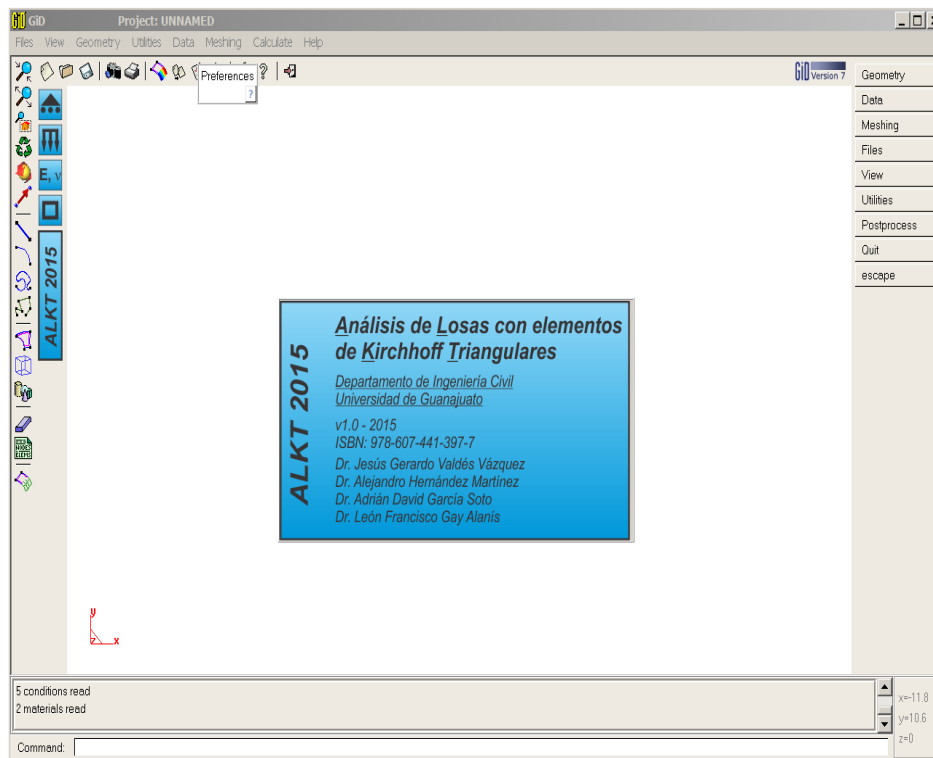
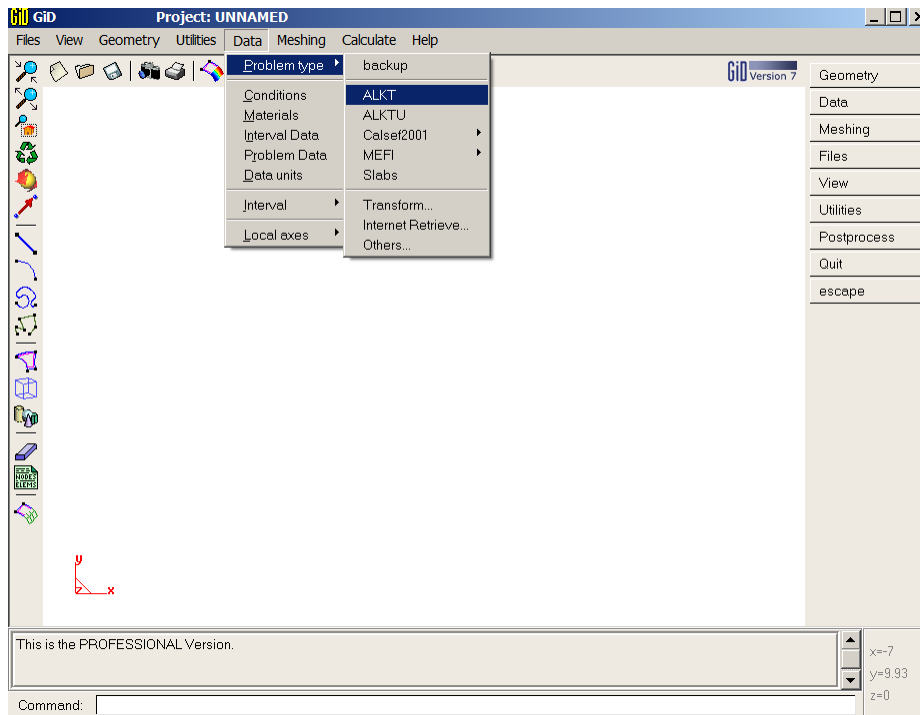


Figura 1.- Trabajar con el programa ALKT

El siguiente paso consiste en empezar a dibujar el contorno de nuestra losa, para lo cual seleccionamos el ícono de línea, como se muestra el figura 2.

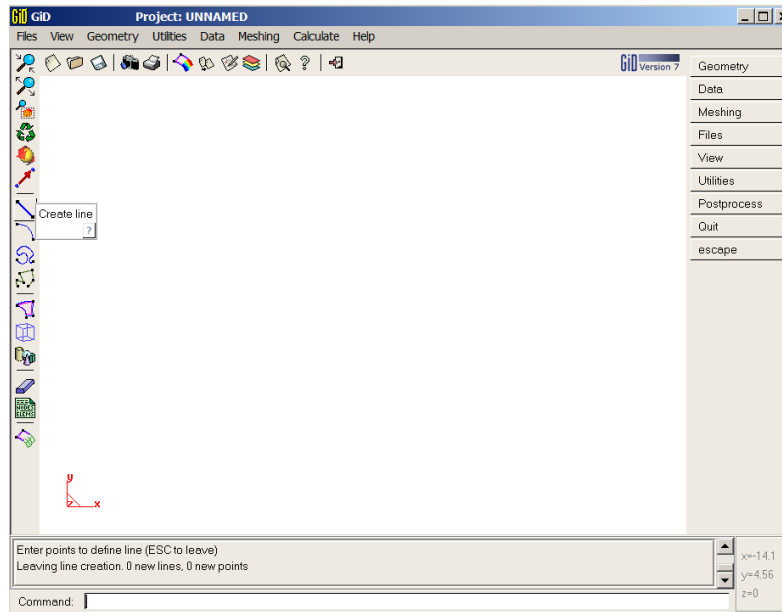


Figura 2.- Selección del ícono de línea

Posteriormente se escoge un punto de partida para nuestra losa, dando click con el botón izquierdo del *mouse* en cualquier parte de la pantalla y empezando a mover el *mouse* en cualquier dirección, como se muestra en la figura 3.

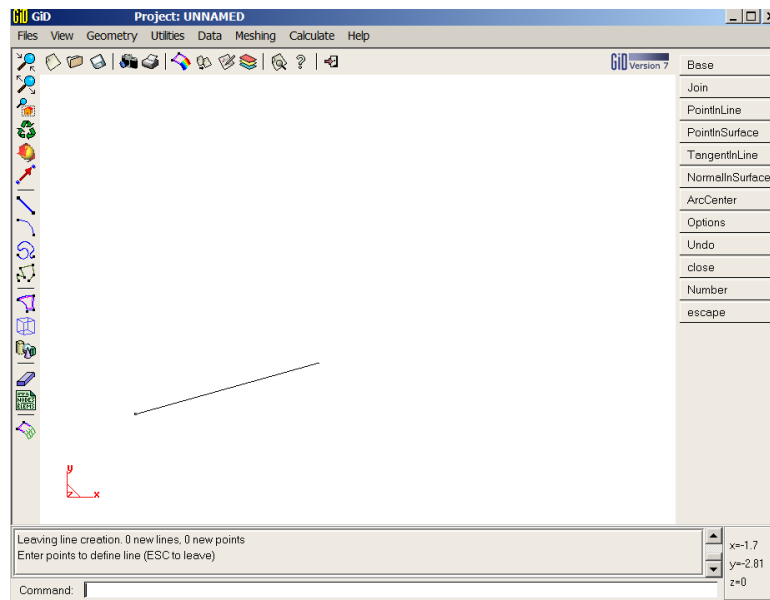


Figura 3.- Comienzo del trazado de nuestro contorno de losa

A continuación se le indica con el teclado que se trata de una línea con una distancia relativa al primer punto en dirección x de 12 unidades, escribiendo @12,0 y dando *enter* como se aprecia en las figuras 4 y 5.

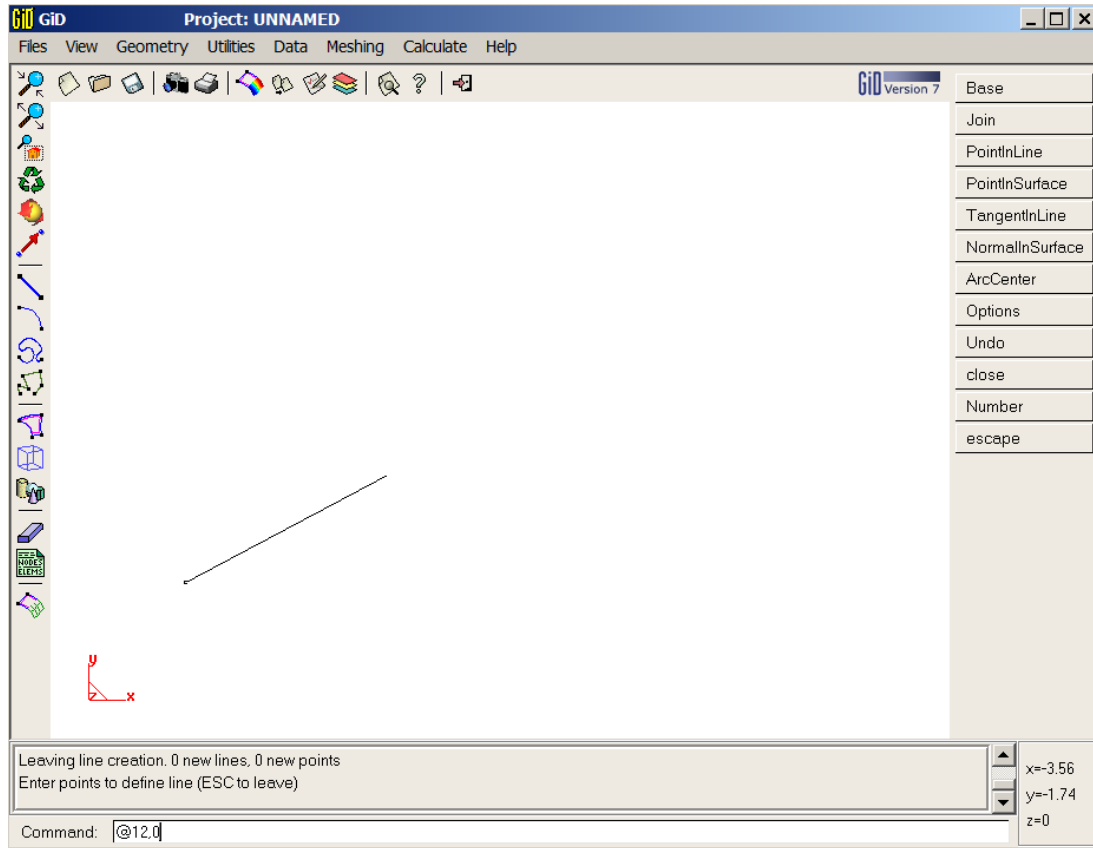


Figura 4.- Indicando coordenadas relativas @12,0

Se continua con las demás coordenadas, haciéndolas relativas al punto anterior y finalmente tecleando c para conectar con el punto inicial, escribiendo

- @0,12
- @-12,0
- c

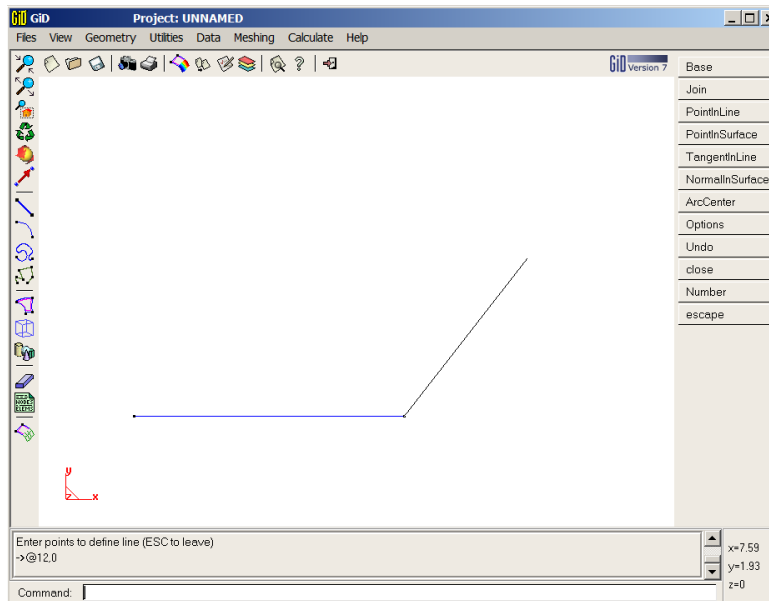


Figura 5.- Al dar enter, aparecerá la primer línea terminada en azul

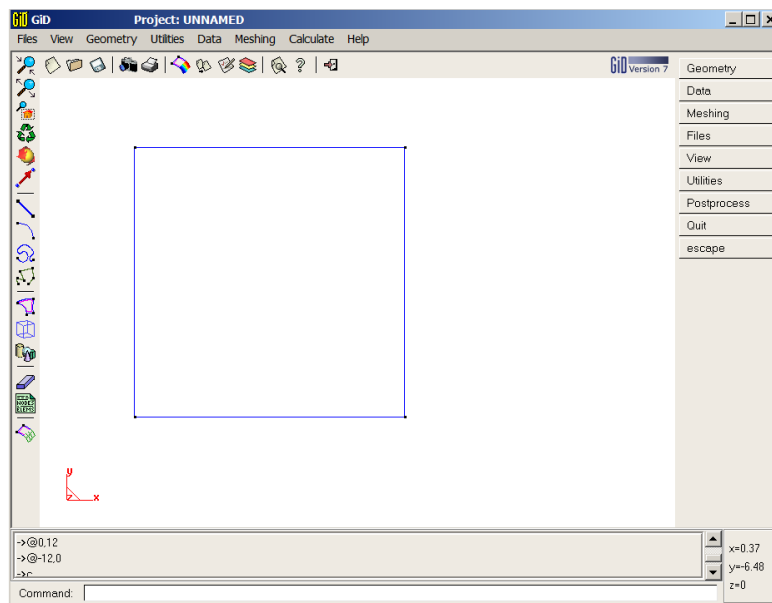


Figura 6.- Contorno terminado después de teclear @0,12 @-12,0 c

El siguiente paso consiste en indicarle al programa que las líneas azules arriba dibujadas forman una superficie, para lo cual hay que darle *click* en el botón izquierdo del mouse sobre el ícono que se muestra en la figura 7.

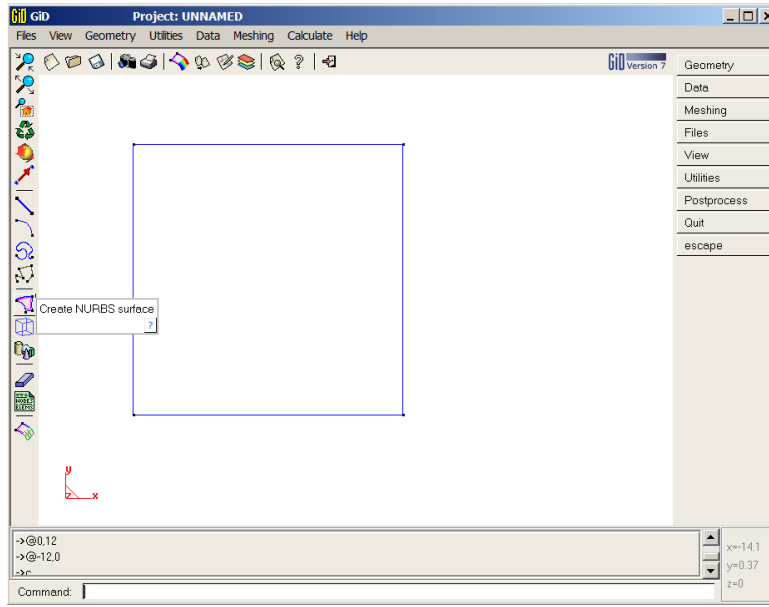


Figura 7.- Selección del ícono de superficie

Después de seleccionar el ícono de superficie, hay que darle click con el botón izquierdo del mouse a cada una de las líneas del contorno creadas y posteriormente oprimir la tecla ESC del teclado, para obtener lo que aparece en la figura 8.

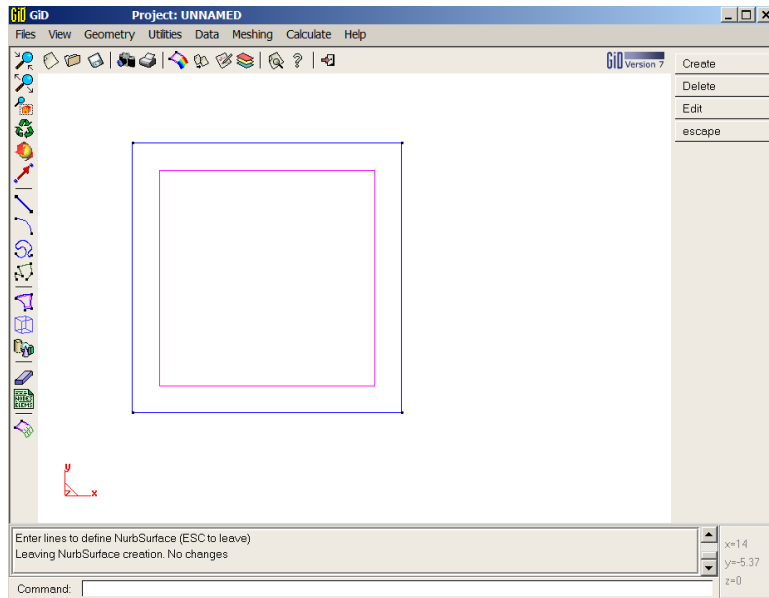


Figura 8.- Losa terminada, indicada por el cuadro menor rosa

El siguiente paso consiste en indicarle las diferentes condiciones de apoyo que pueda tener la losa, en este caso, el perímetro empotrado. Para ello seleccionar del menú *Data* donde dice *Conditions* y después *Displacement constrains*, como aparece en la figura 9.

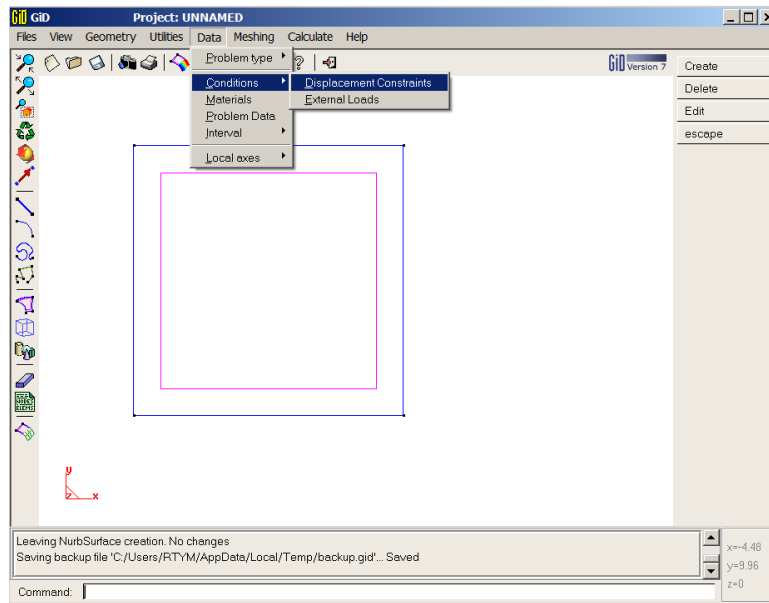


Figura 9.- Selección de la orden desplazamientos conocidos

Después aparecerá una ventana donde podemos indicar si se trata de un punto apoyado o toda un costado, y que tipo de apoyo es. Para realizar esta tarea hay que darle al botón *assign* de la ventana. Esto se muestra en la figura 10, cuando se está asignando la propiedad a tres costados, faltando solo uno.

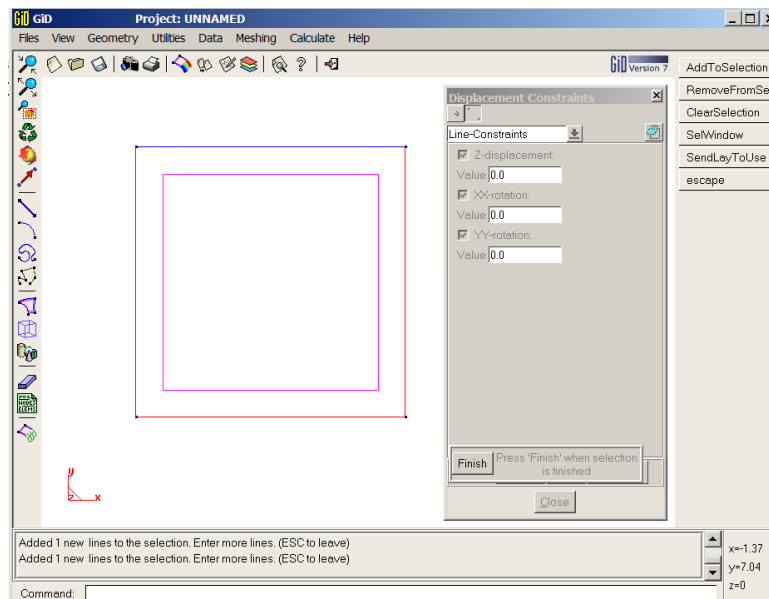


Figura 10.- Asignación del contorno empotrado

Después hay que indicarle las cargas que pueda tener la losa, que para este caso están en una superficie con un valor de $q = -0.5$. Para ello seleccionar del menú *Data* donde dice *Conditions* y después *External Loads*, como aparece en la figura 11.

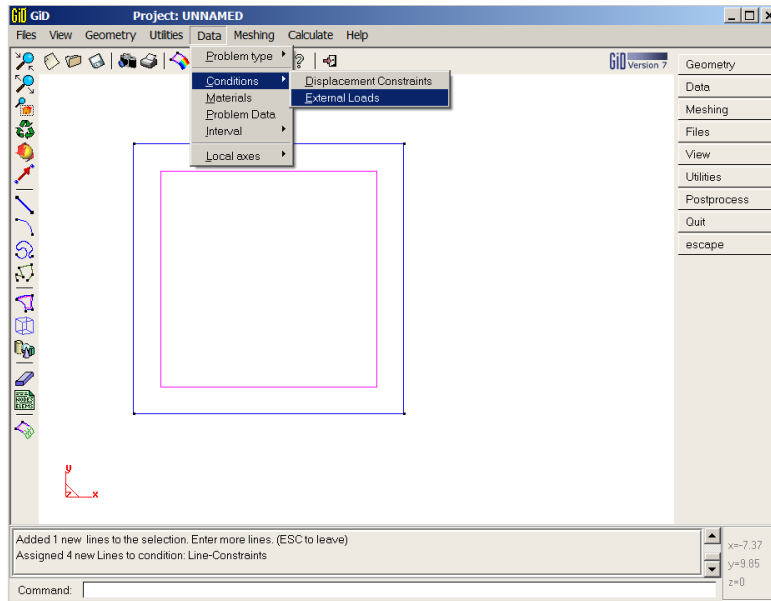


Figura 11.- Selección de la orden de cargas externas

Aparecerá una ventana donde podemos indicar si se trata de una carga sobre un punto, una línea o una superficie. Seleccionamos superficie y asignamos la carga a la losa, como se muestra en la figura 12.

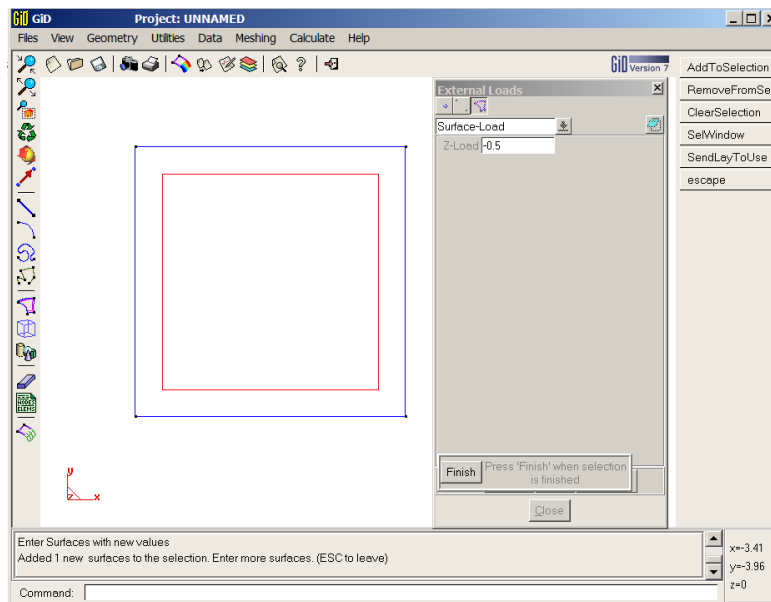


Figura 12.- Asignación de la cargas a la losa

El siguiente paso es darle las propiedades del material a la losa. Para ello seleccionar del menú *Data* donde dice *Materials*, como aparece en la figura 13.

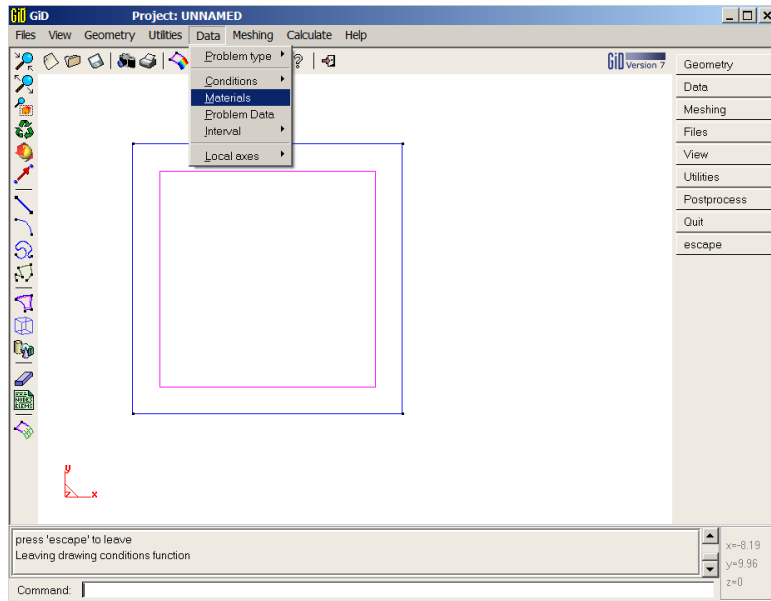


Figura 13.- Selección de la orden de propiedades de los materiales

Al aparecer la ventana de los materiales, seleccionar el ícono de material nuevo, como se aprecia en la figura 14, le damos un nombre para identificarlo (en nuestro caso será *acero*) y después le indicamos las propiedades del material con el que vamos a trabajar.

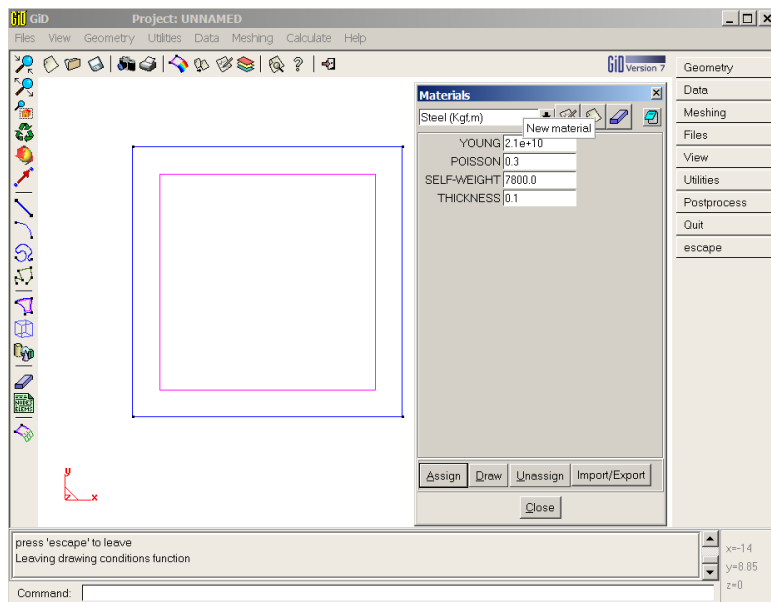


Figura 14.- Selección de la orden de propiedades de los materiales

Se le dan las propiedades que se nos soliciten y después se asignan a la superficie, tal y como aparece en la figura 15.

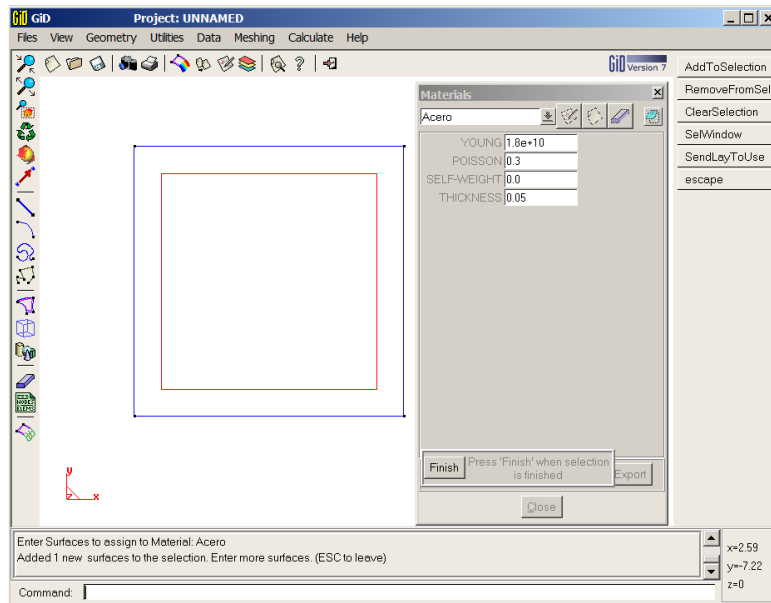


Figura 15.- Selección de la orden de propiedades de los materiales

Con eso se termina toda la información de nuestro modelo y procedemos a guardarlo con algún nombre (En este caso *Losa Lévy*). A continuación se procede a generar una malla (en este caso estructurada) de elementos finitos, como se muestra en la figura 16.

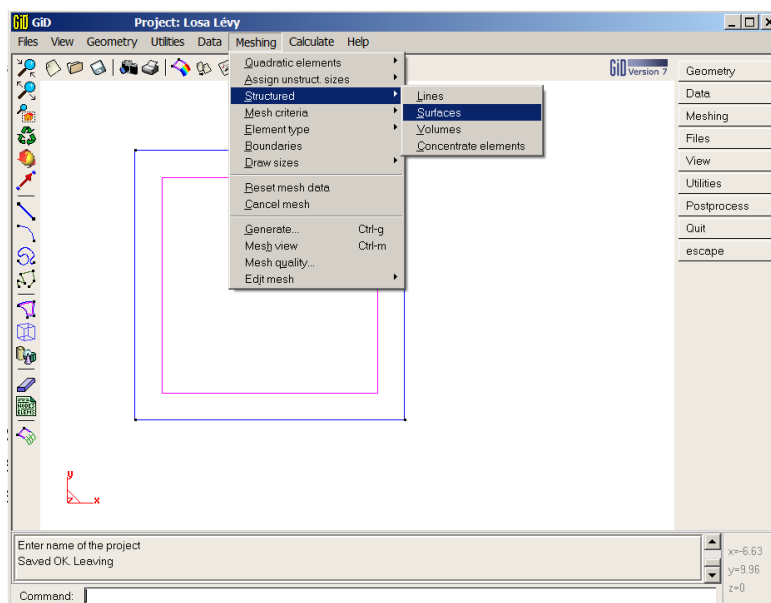


Figura 16.- Procedimiento para crear una malla estructurado

Cuando realizamos la instrucción arriba descrita, escogemos 20 divisiones en cada sentido y se las asignamos una a cada dirección. Este paso se aprecia en la figura 17. Para salir de esta orden, oprimir ESC dos veces.

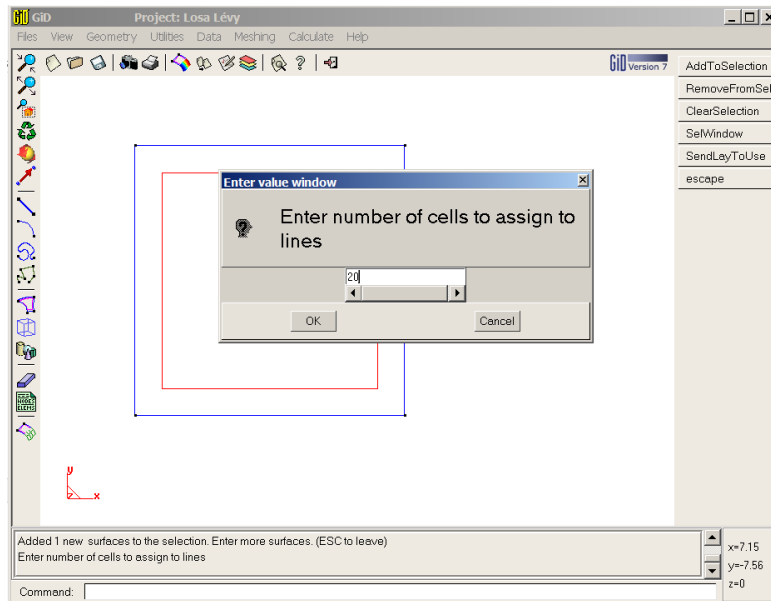


Figura 17.- Procedimiento para crear una malla estructurado

Antes de proceder al mallado, hay que indicarle que necesitamos que genere una malla de elementos finitos a base de triángulos, para lo cual procedemos como se indica en la figura 18 y seleccionamos la superficie dibujada, terminando con ESC.

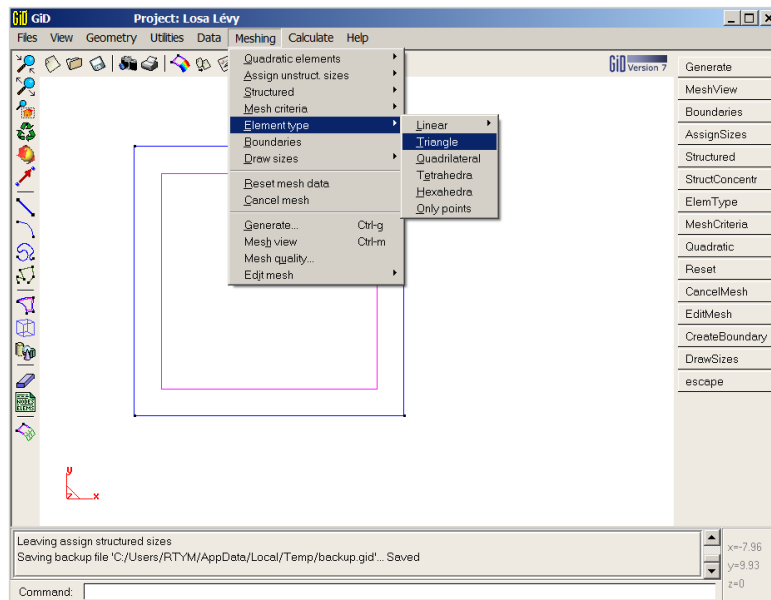


Figura 18.- Asignado de tipo de elemento a la superficie

Ya por último, se procede a mallar nuestra geometría como se indica en la figura 19 y después siguiendo las indicaciones del programa.

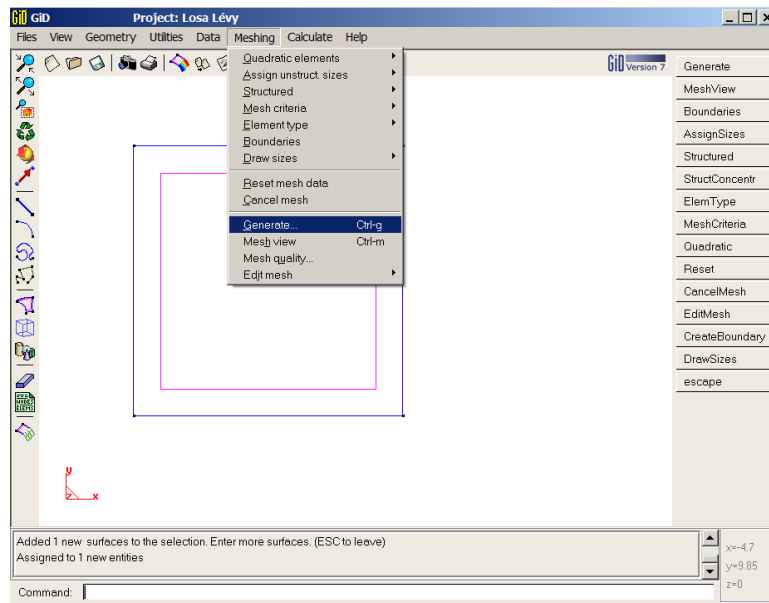


Figura 19.- Indicación para generar mallado

Finalmente, hemos creado nuestra malla de elementos finitos, la cual aparece en la figura 20.

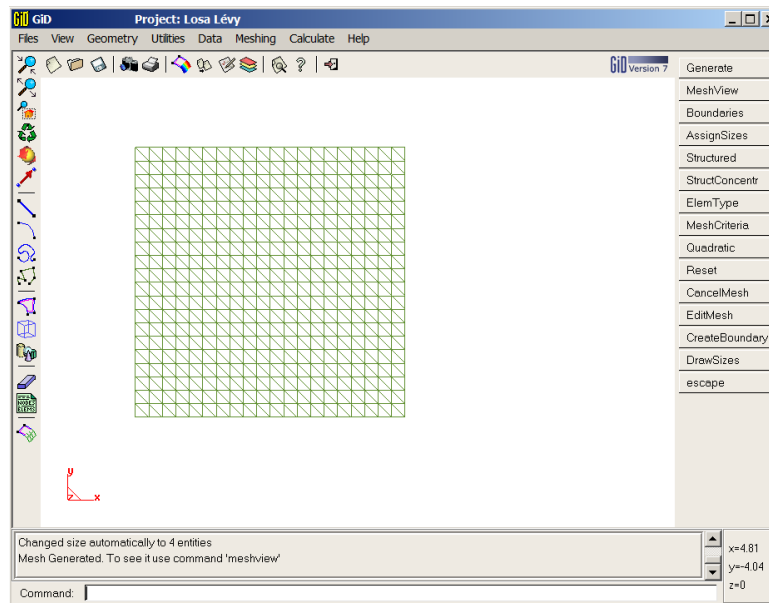


Figura 20.- Malla de elementos finitos triangulares terminada

Con esto se termina la parte del pre-proceso del análisis de la losa. El siguiente punto es calcular con elementos finitos la solución del modelo anteriormente creado, para lo cual seguimos las instrucciones de la figura 21.

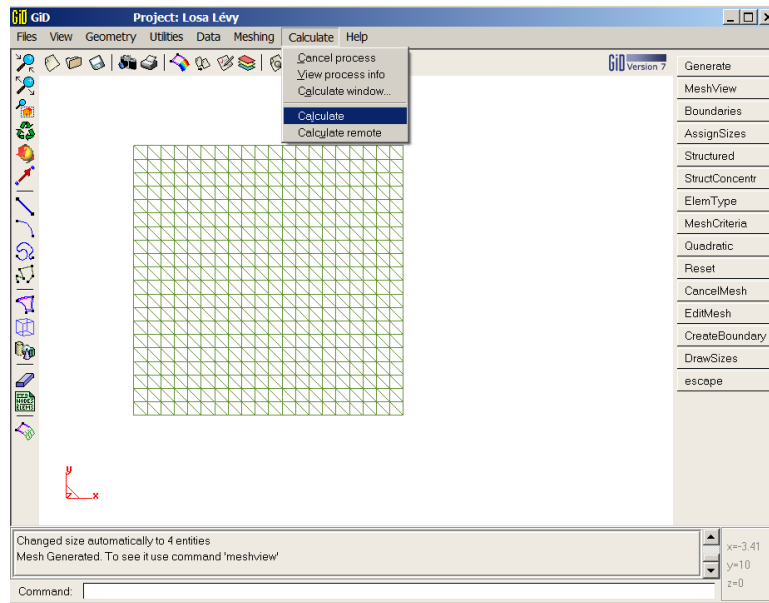


Figura 21.- Procedimiento para calcular nuestra losa con el programa ALKT

Unos segundos después se habrá terminado el cálculo y estaremos en condición de ver los resultados, para lo cual seleccionaremos la opción de postproceso mediante el ícono de la banderita de colores como se aprecia en la figura 22.

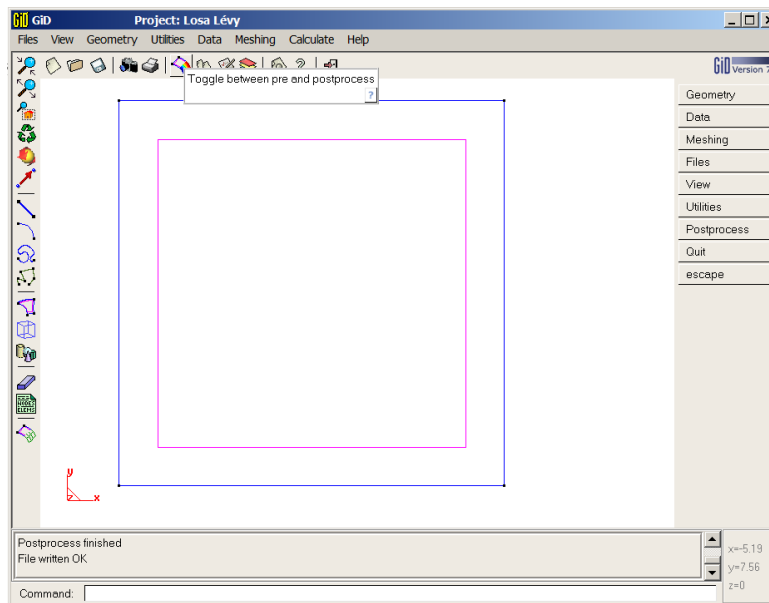


Figura 22.- Selección de la opción de postproceso para ver los resultados

Una vez estando en la posición de resultados, seleccionamos ver los desplazamientos de nuestra losa, tal y como se muestra en la figura 23.

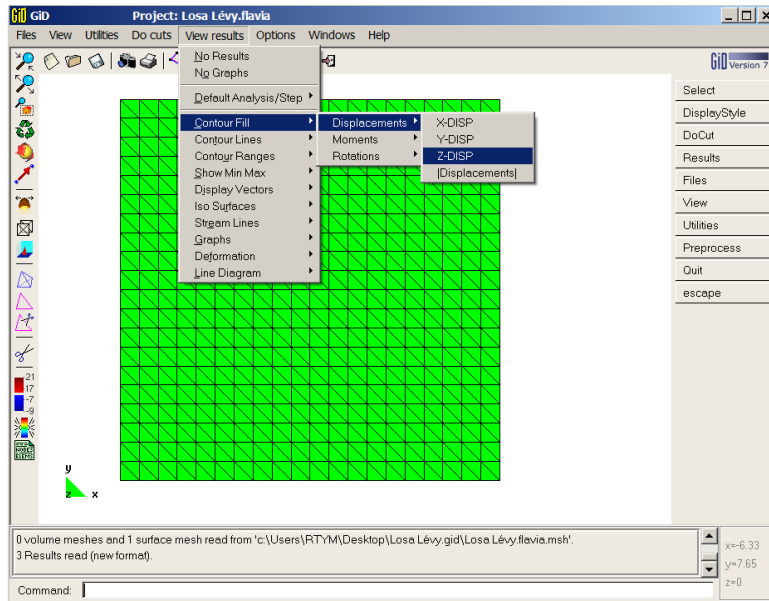


Figura 23.- Opción para ver los resultados de desplazamientos

Los resultados de los desplazamientos aparecerán a continuación, como se aprecia en la figura 24. La solución exacta de M. Lévy es -6.3402×10^{-5} .

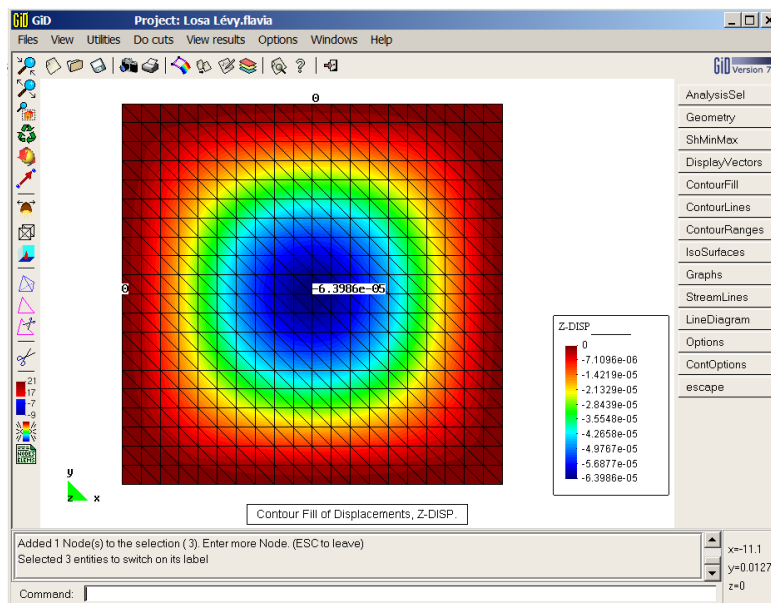


Figura 24.- Desplazamientos en dirección de la carga

Para ver los momentos M_x se procede como se muestra en la figura 25.

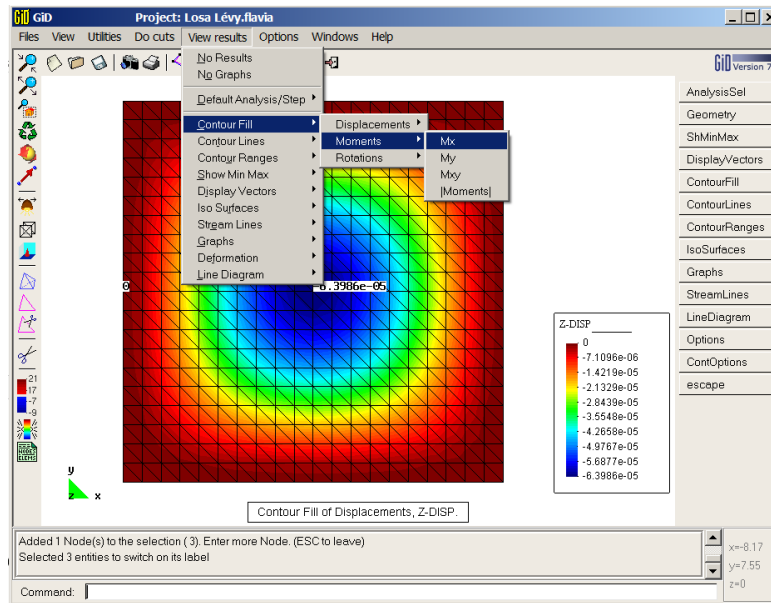


Figura 25.- Opción para ver los resultados de momentos M_x

Los resultados de los momentos aparecerán a continuación, como se aprecia en la figura 26.

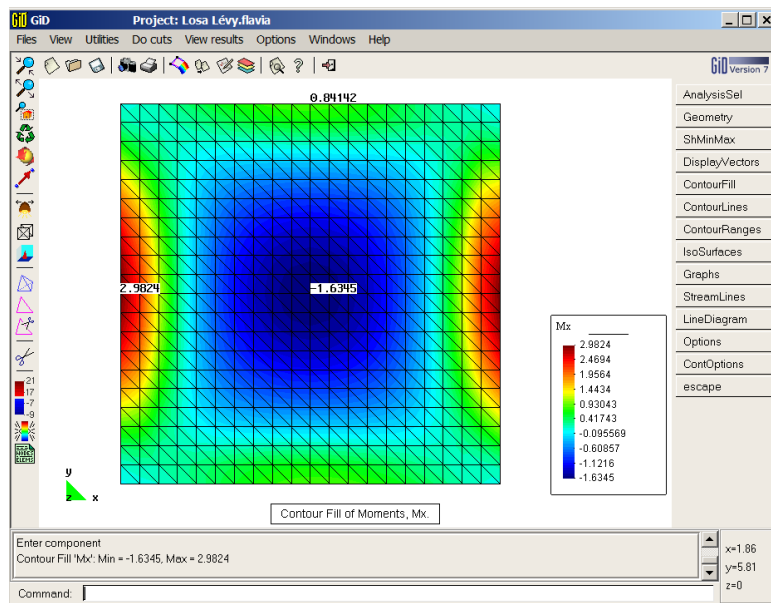


Figura 26.- Momentos alrededor del eje x-x

De la manera similar se procede para ver el resultado de los momentos M_y , cuya solución aparece en la figura 27.

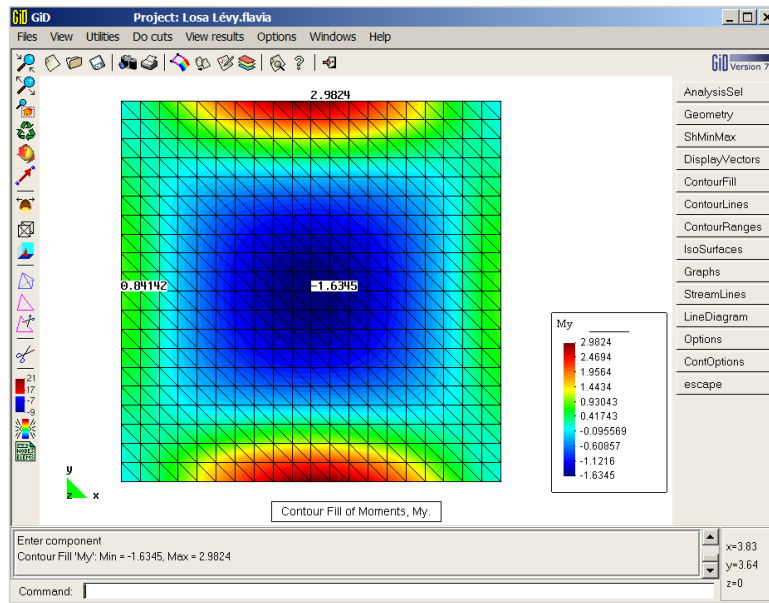


Figura 27.- Momentos alrededor del eje y-y

Hay que resaltar que entre más fina la malla, más cercana será la solución al valor exacto. Sin embargo con la malla utilizada en el ejemplo anterior, se puede observar que los resultados son bastante aproximados a la solución analítica.

También hay que destacar que el programa sirve para cualquier geometría de losa, incluyendo lados curvos y además con diferentes condiciones de apoyo en uno o varios bordes.

Guanajuato, Gto., Octubre de 2015.