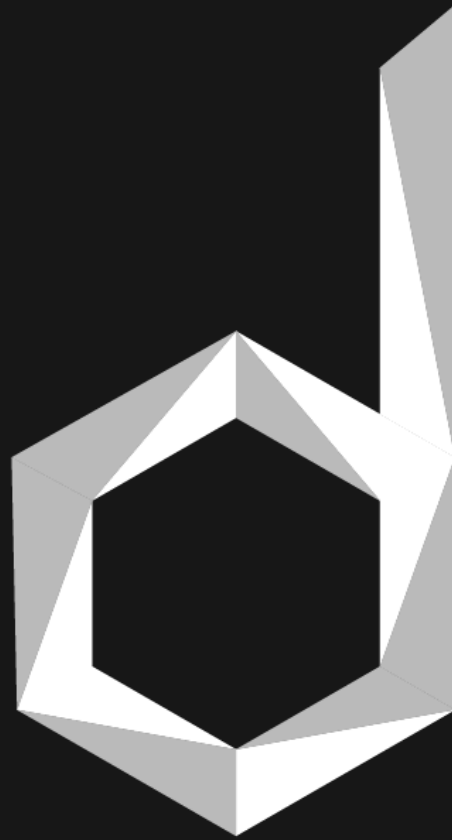


INGENIERÍA MECATRÓNICA



DI_CERO

DIEGO CERVANTES RODRÍGUEZ

MÁQUINAS ELÉCTRICAS

FEMM

Análisis Electromagnético

Contenido

Software Femm:.....	2
Creación del Gráfico del circuito electromagnético	3
Configuración del circuito electromagnético.....	12
Propiedades del material del circuito	15
Asignación de las propiedades del circuito y su entorno	20
Asignación del contorno del análisis electromagnético	30
Resultado del análisis del circuito electromagnético	33

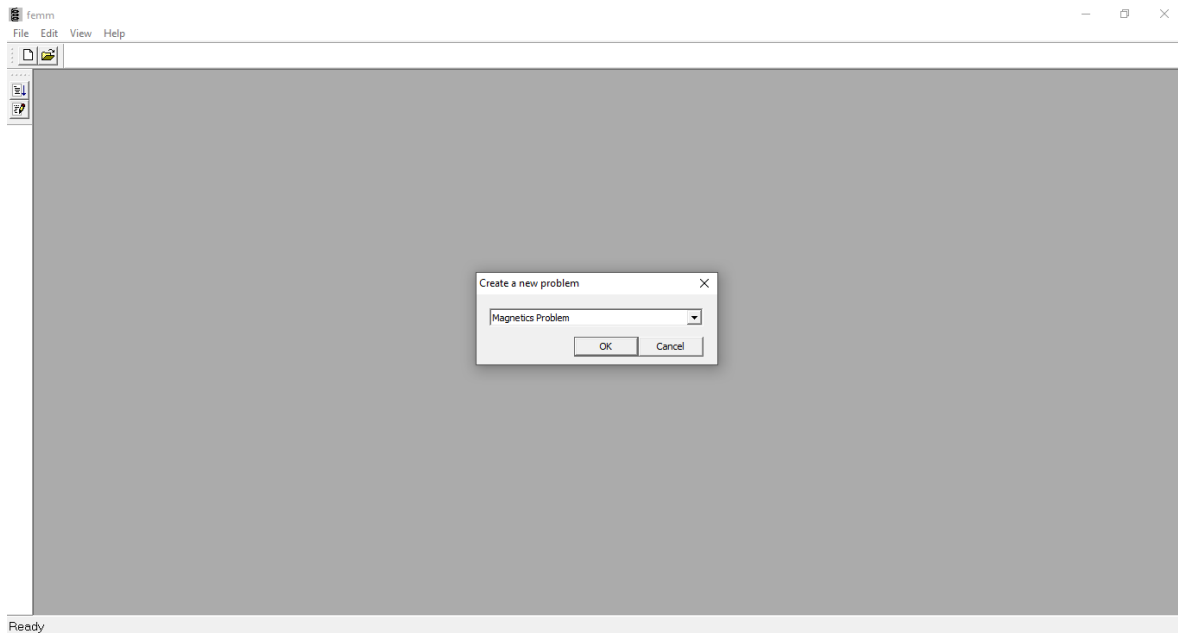


Software Femm:

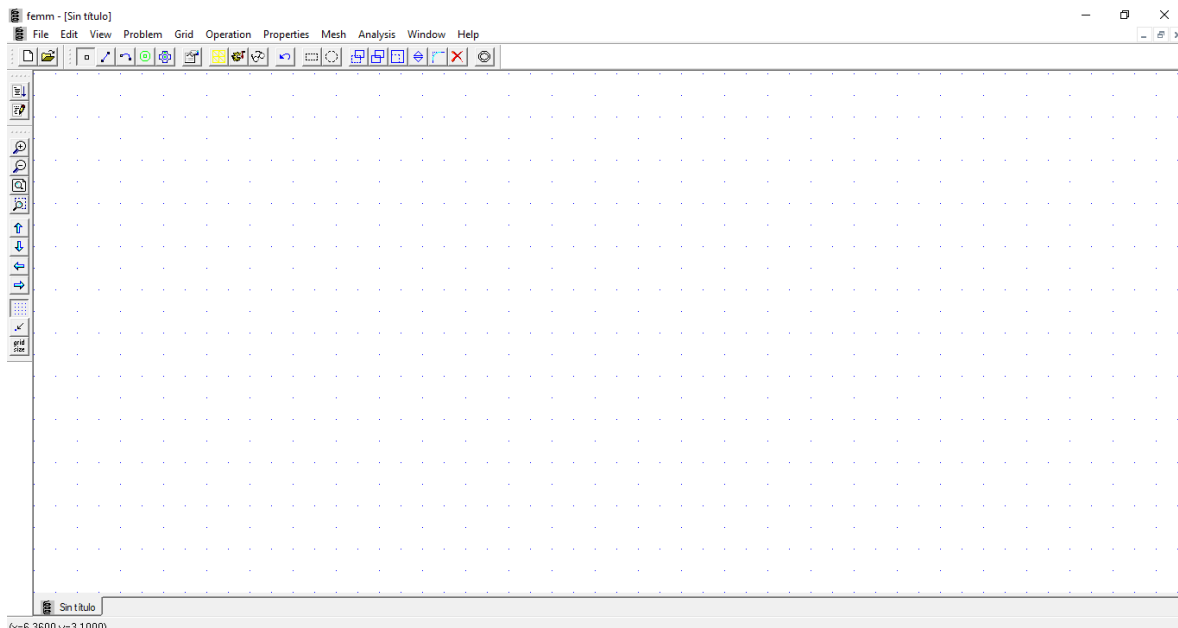
El software femm sirve para realizar análisis electromagnético en circuitos electromagnéticos, este se obtiene de la página:

<https://www.femm.info/wiki/HomePage>

A continuación, se describirá como crear y analizar un ejemplo de circuito electromagnético:

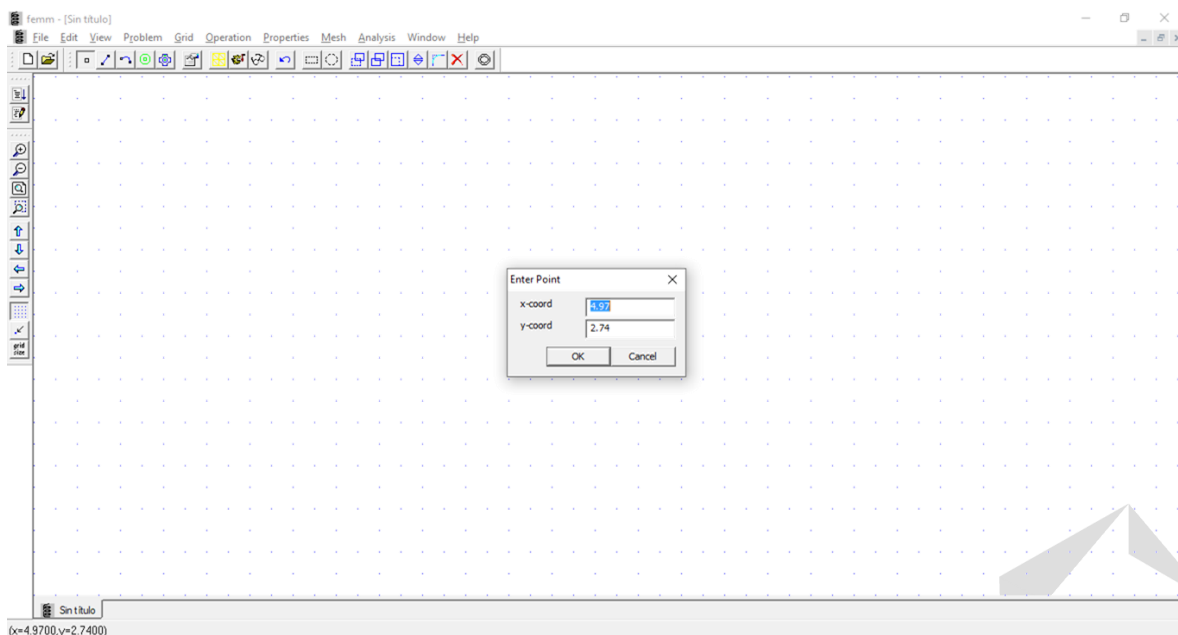


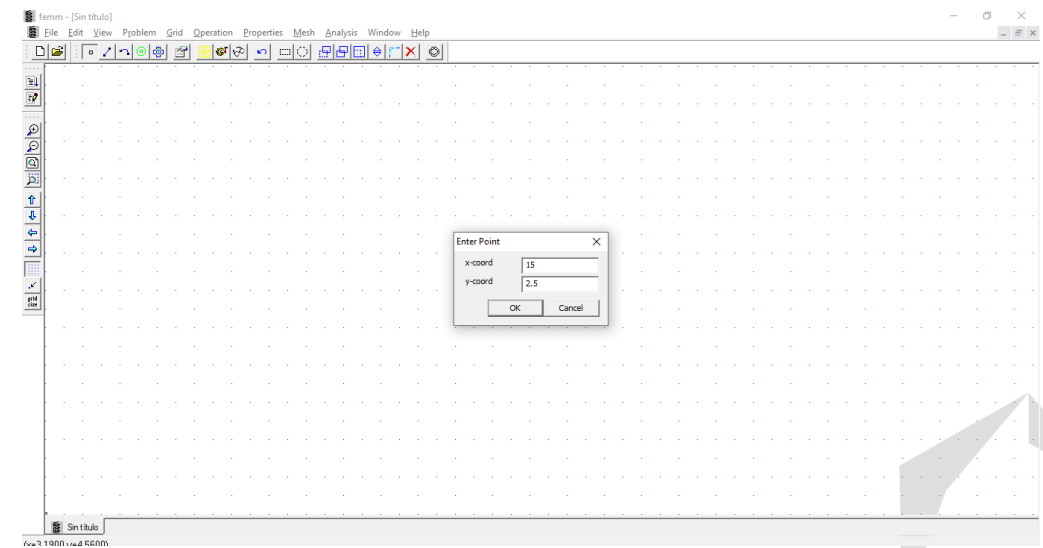
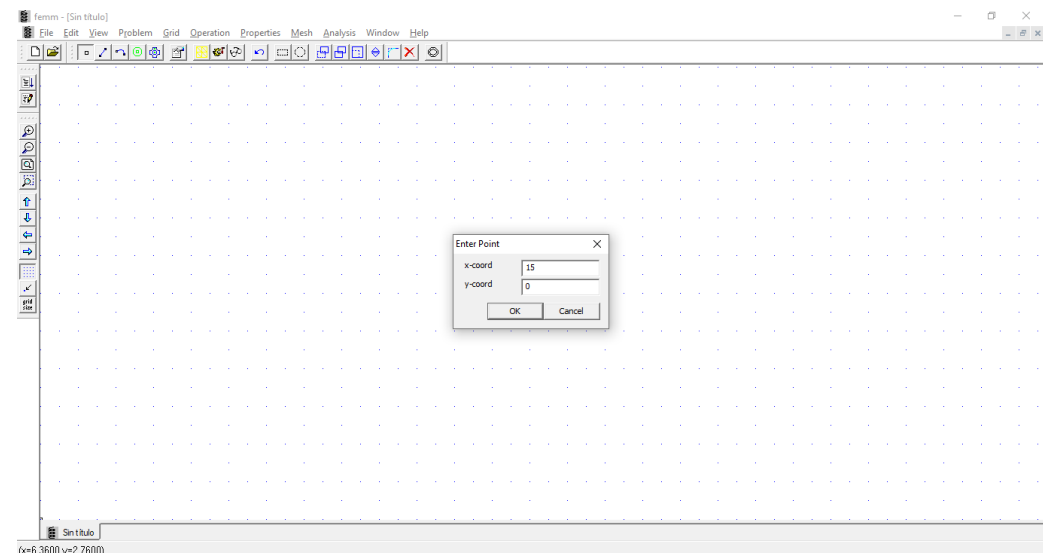
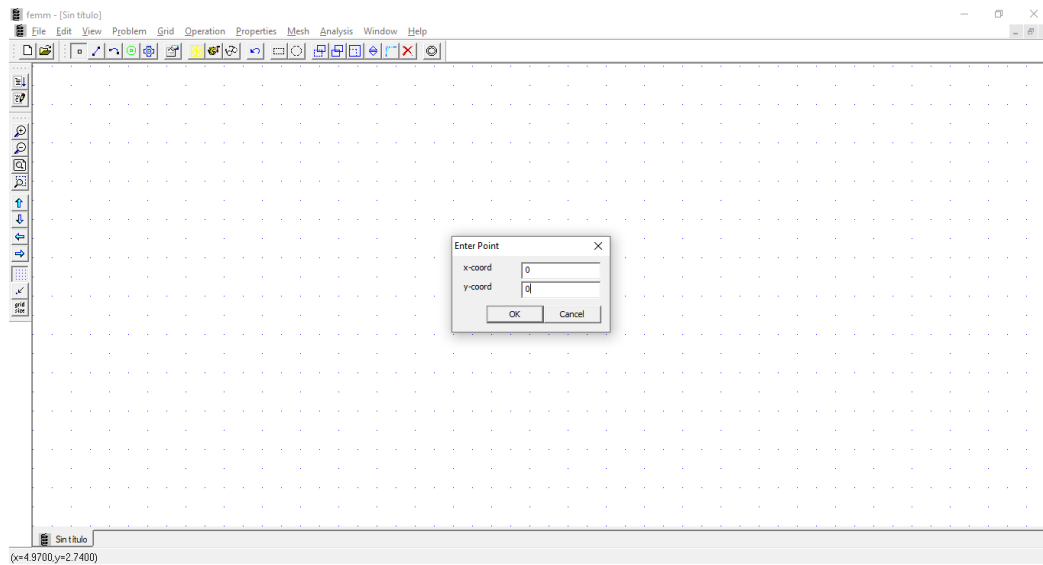
Creación del Gráfico del circuito electromagnético

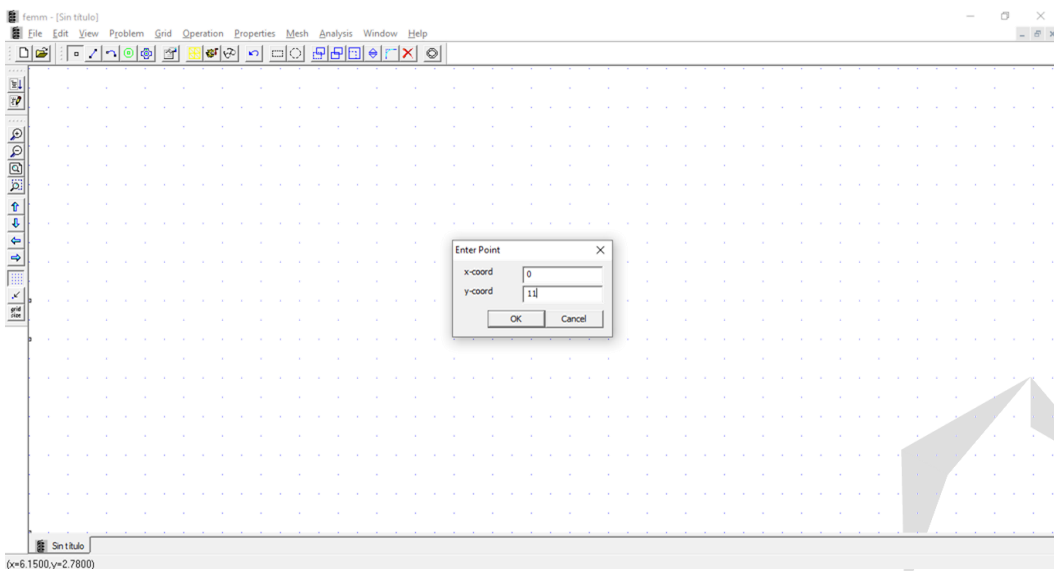
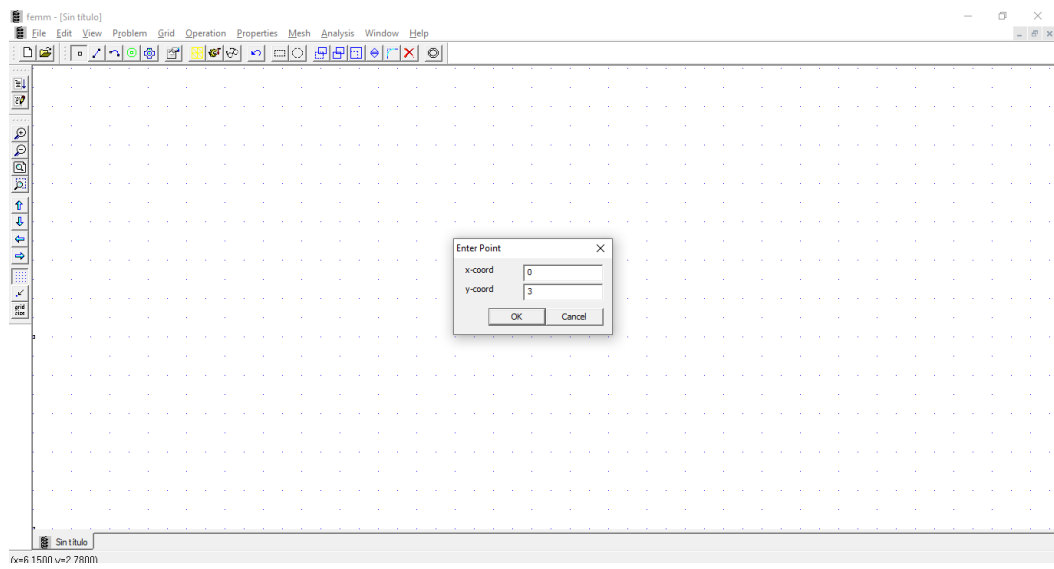
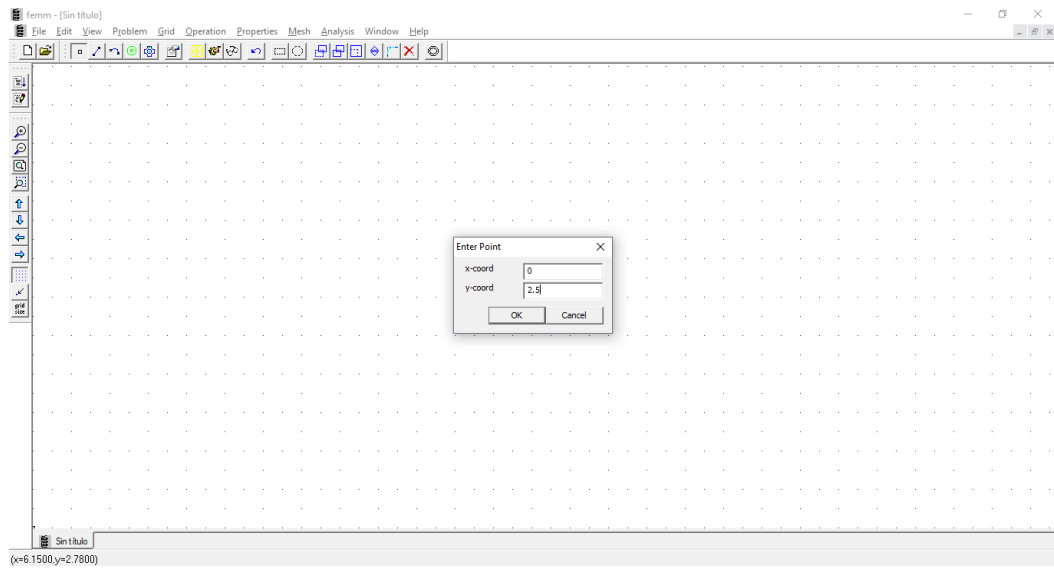


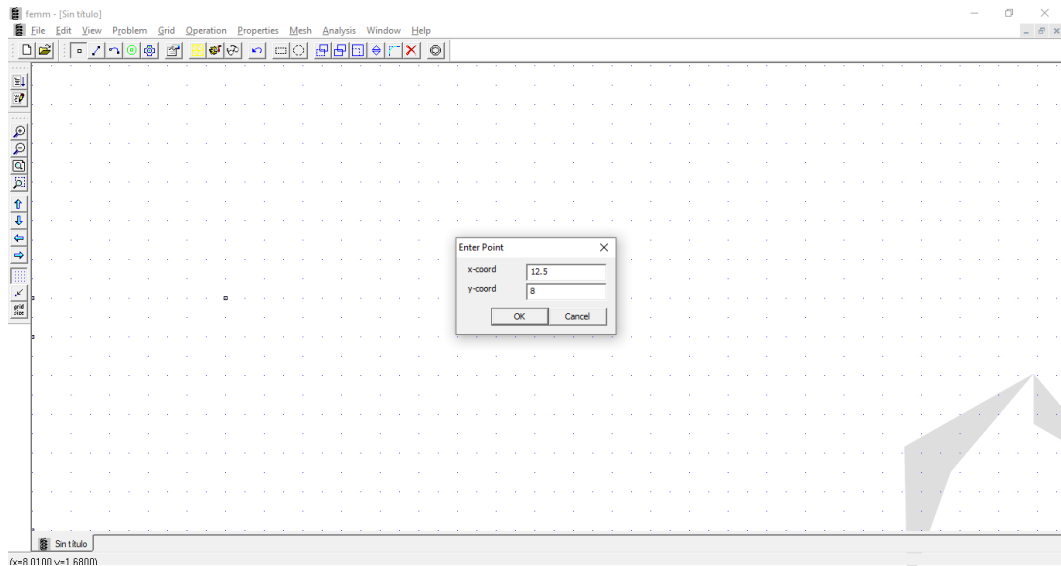
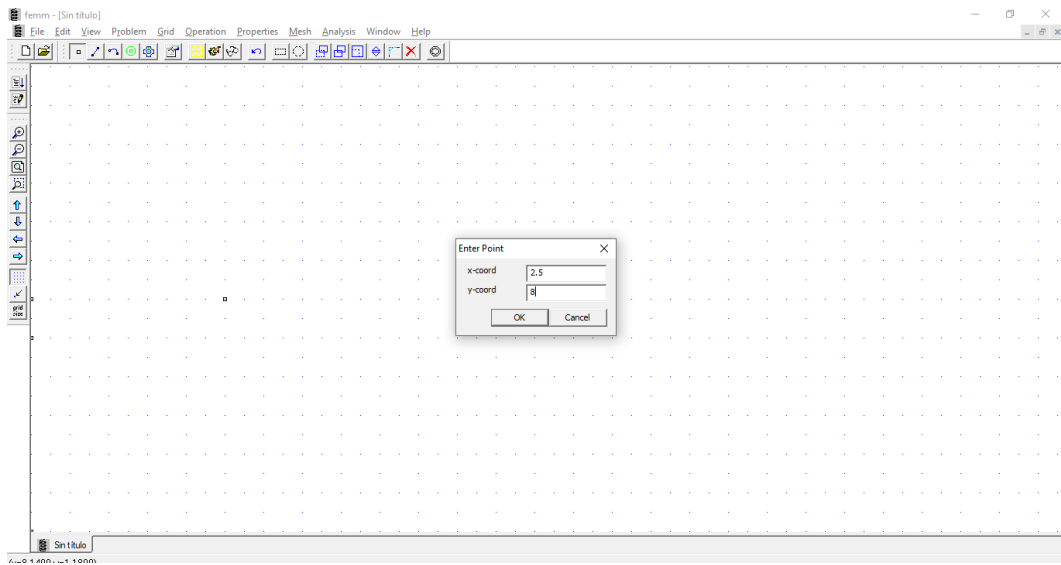
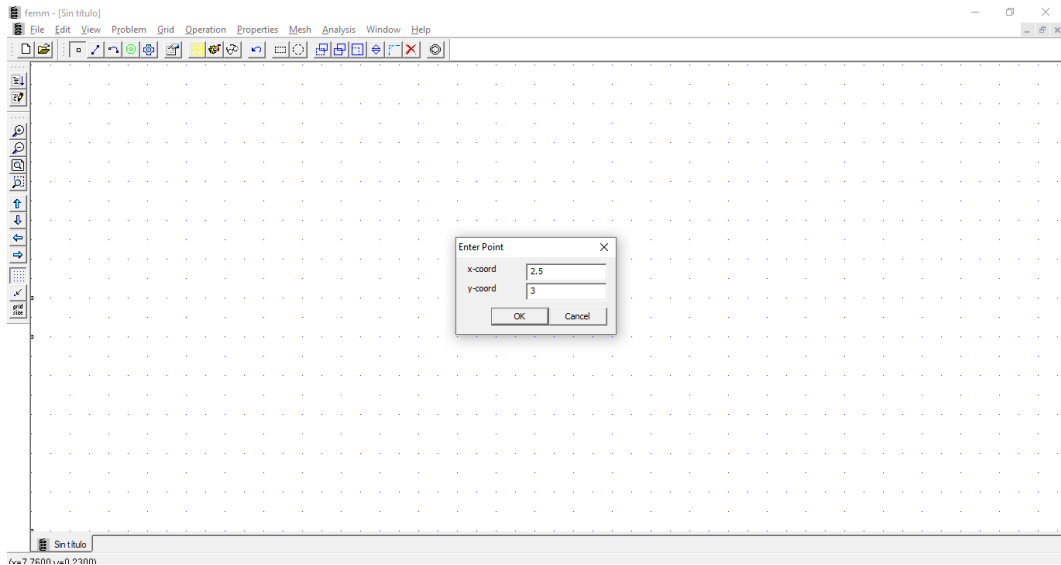
Con el tabulador sale esta ventana y con ella podemos meter las coordenadas de los puntos que conforman el dibujo del circuito electromagnético a analizar.

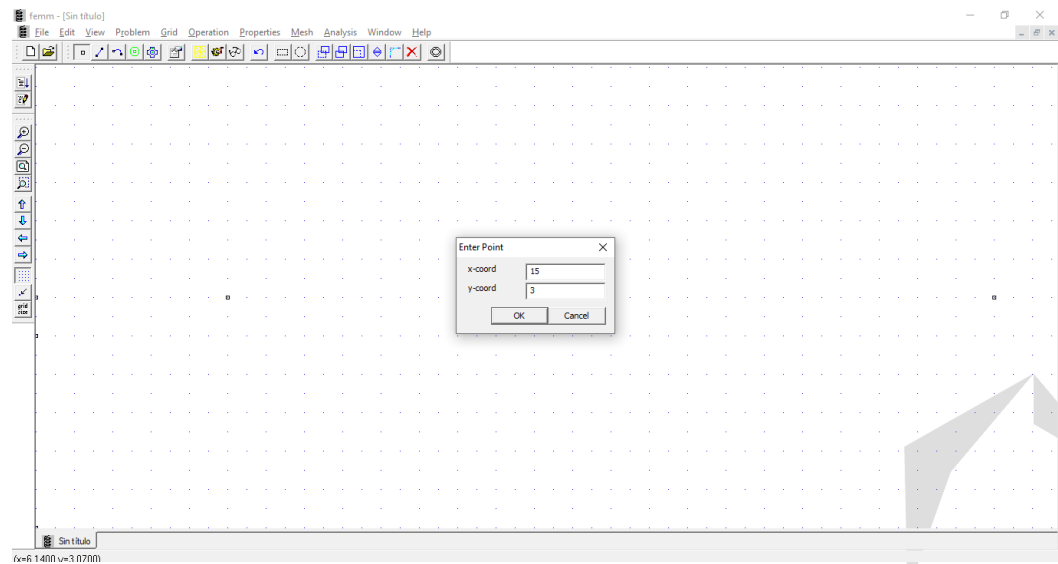
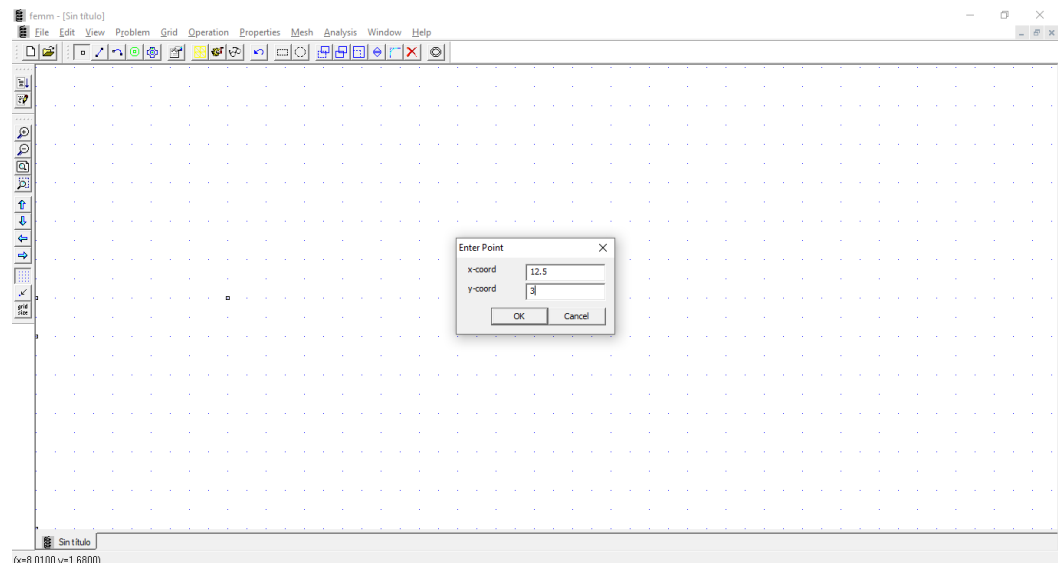
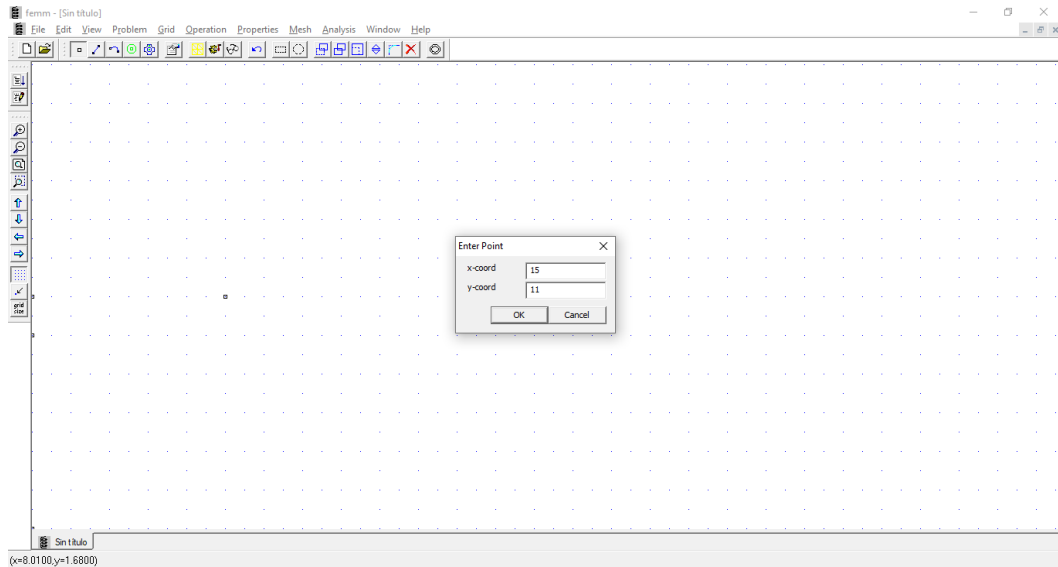
Es importante mencionar que el gráfico del circuito literal es un tipo de dibujo en 2D visto desde algún ángulo que describa el circuito electromagnético real de una forma simplificada. Se recomienda que antes del usar el programa femm se realice un bosquejo del circuito en papel para tener una idea más clara de cómo se verá el dibujo final del circuito.

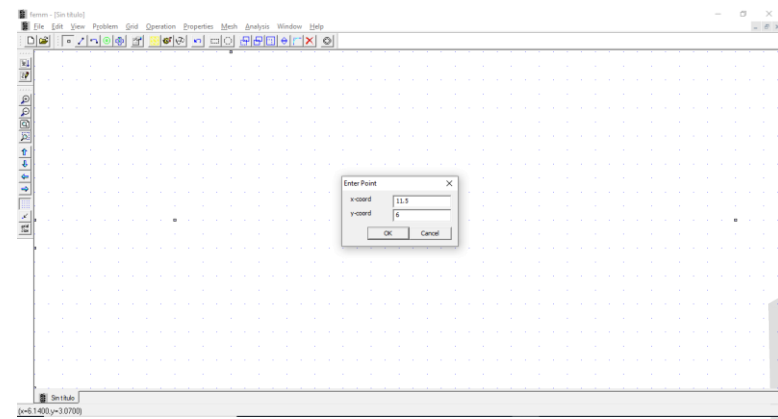
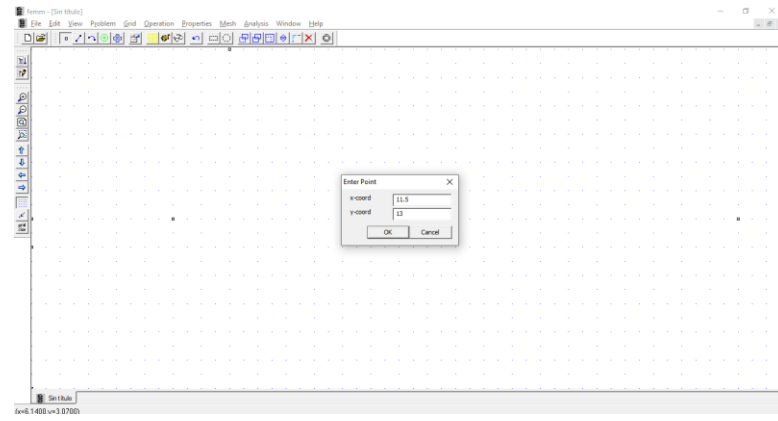
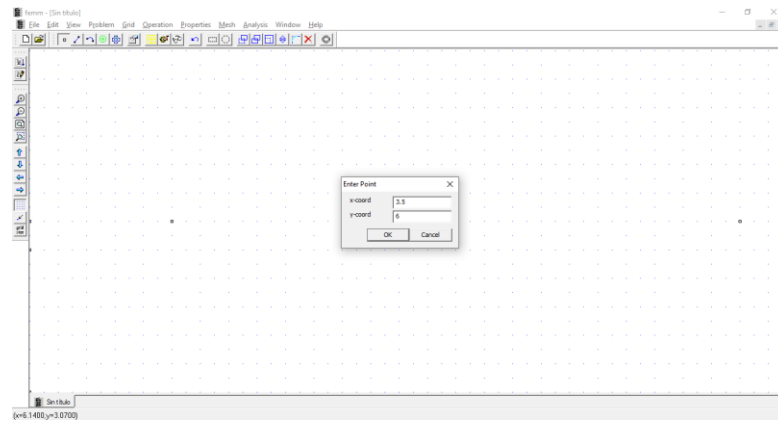
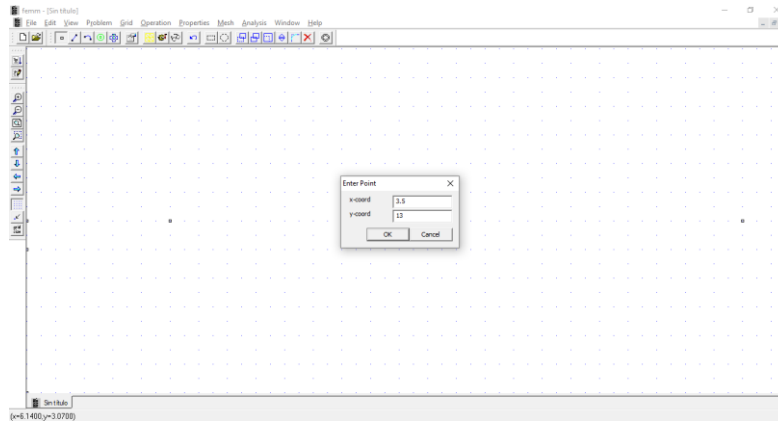




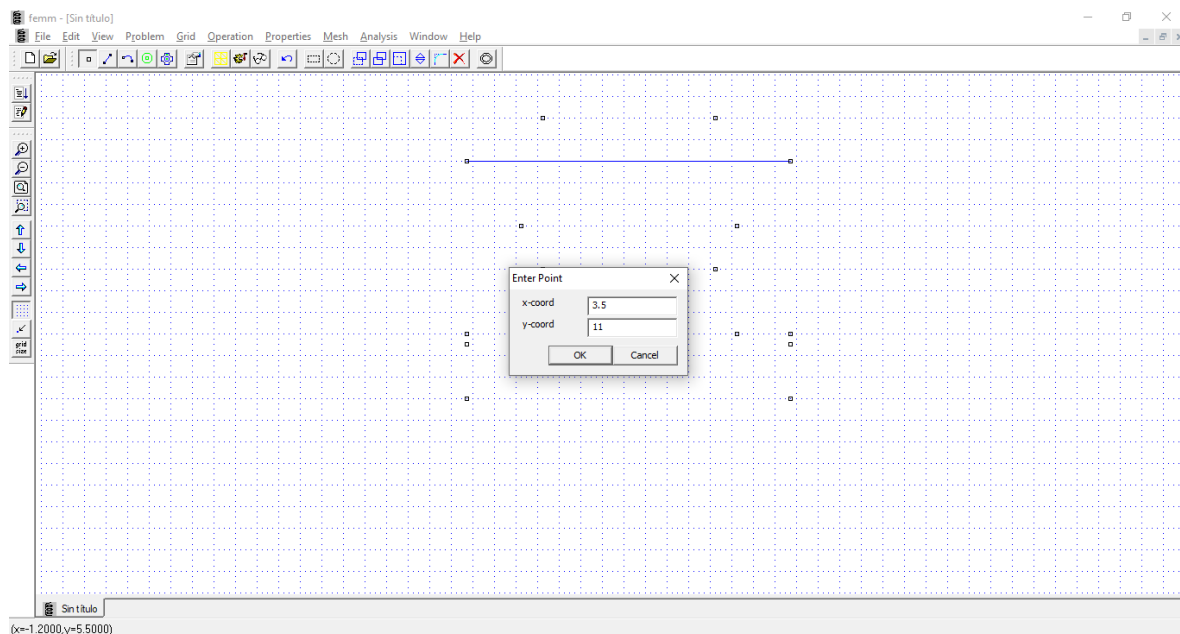
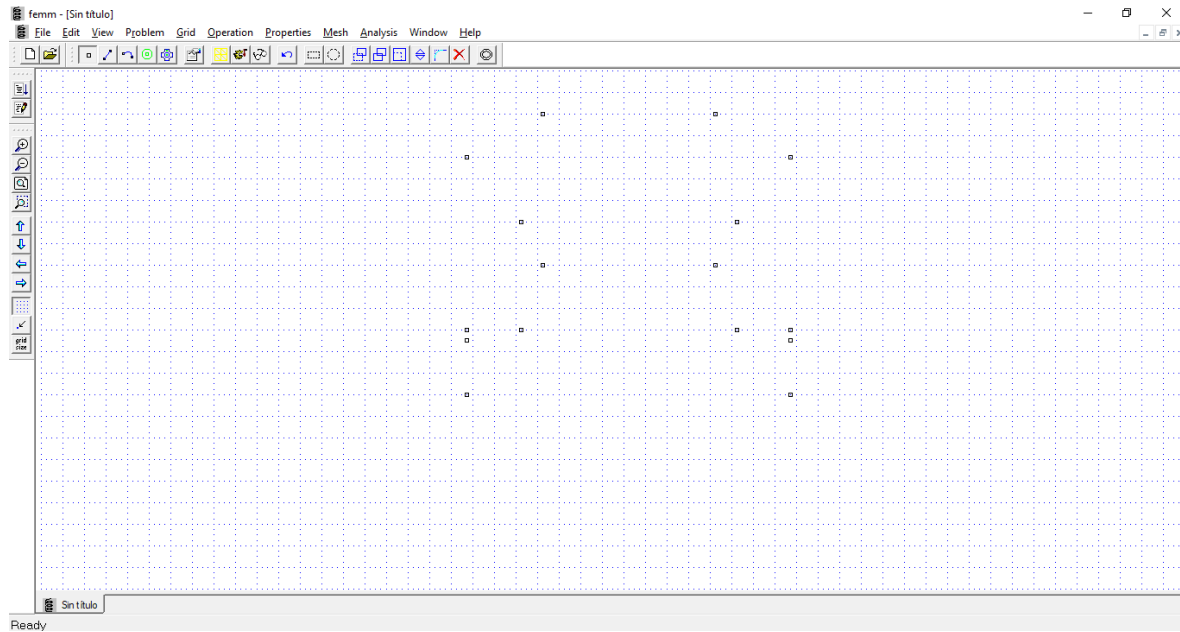


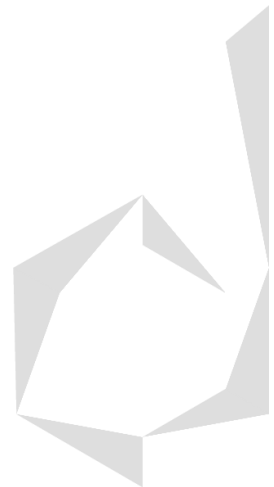
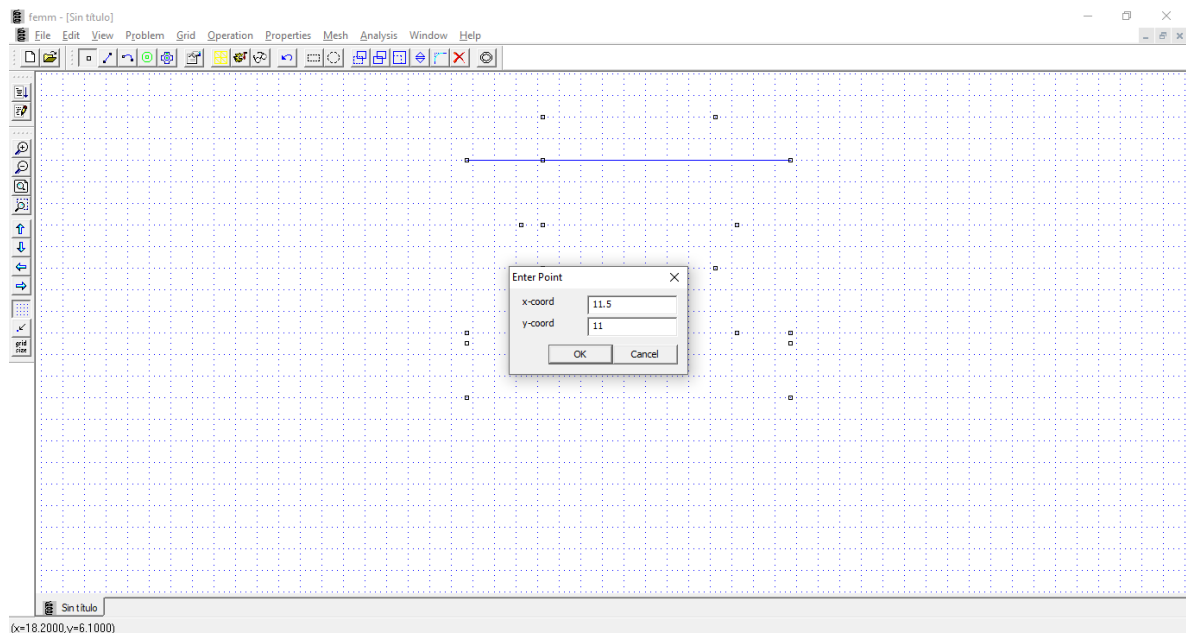
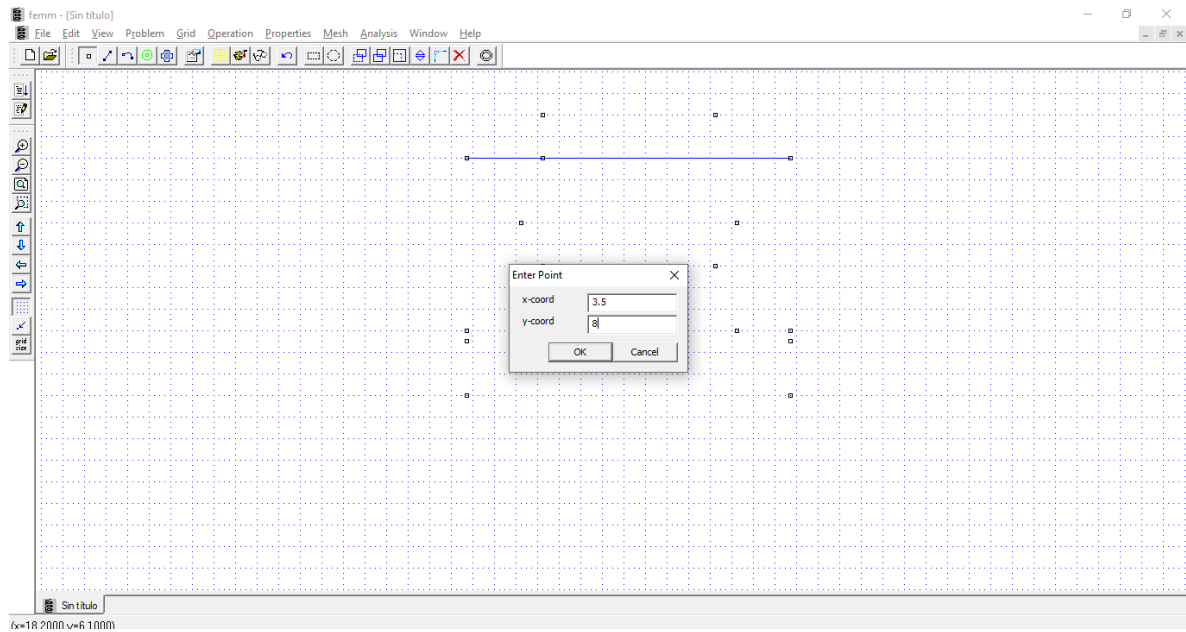


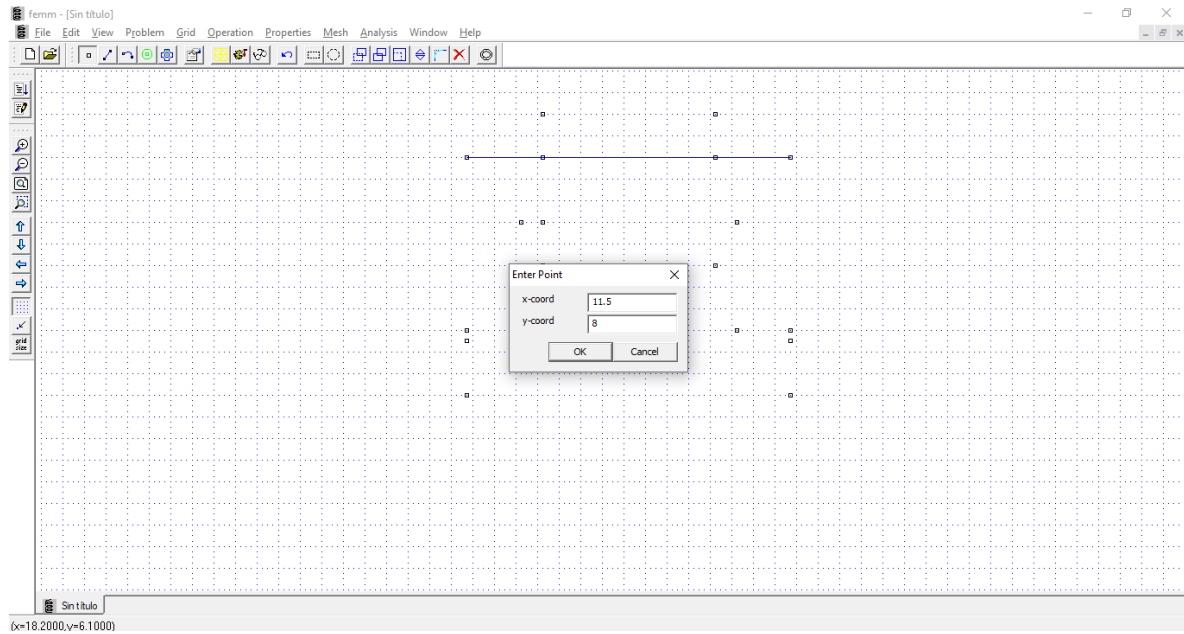




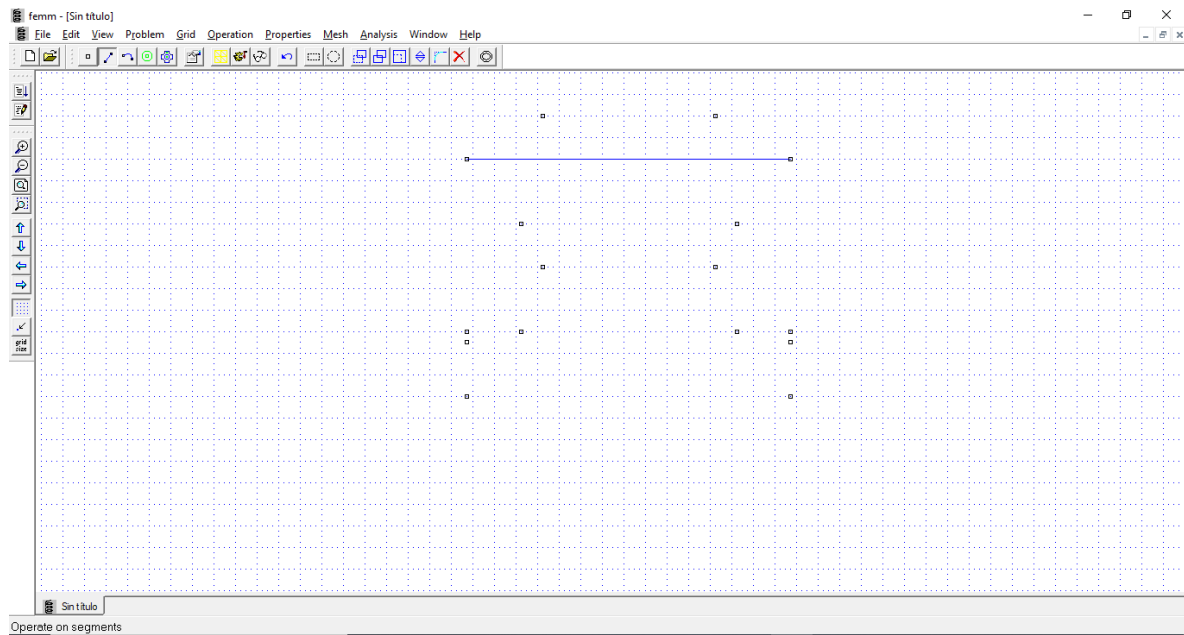
Una vez dibujados todos los puntos del circuito electromagnético con el botón de zoom alejo la vista para observarlos todos y poderlos unir con líneas para así cerrar el dibujo del circuito, por eso es que se había comentado anteriormente que antes del usar el programa femm es pertinente hacer un bosquejo del circuito en papel.





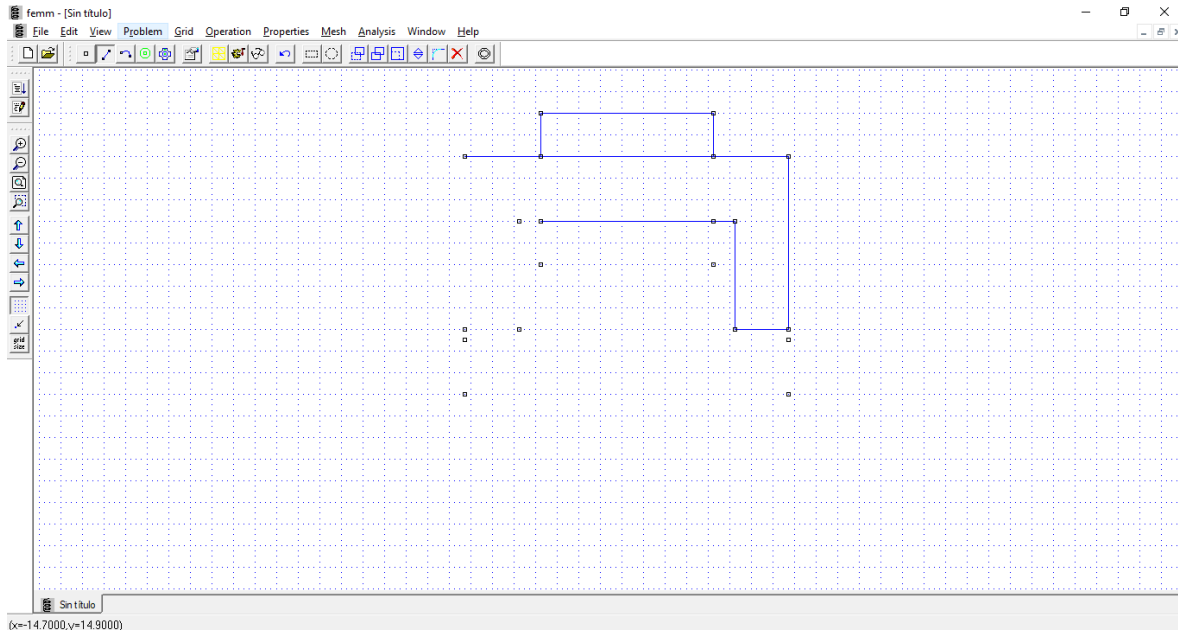


Seleccionando la línea puedo unir los puntos maquetados anteriormente, para se debe indicar el nodo de inicio y el nodo final de la línea.

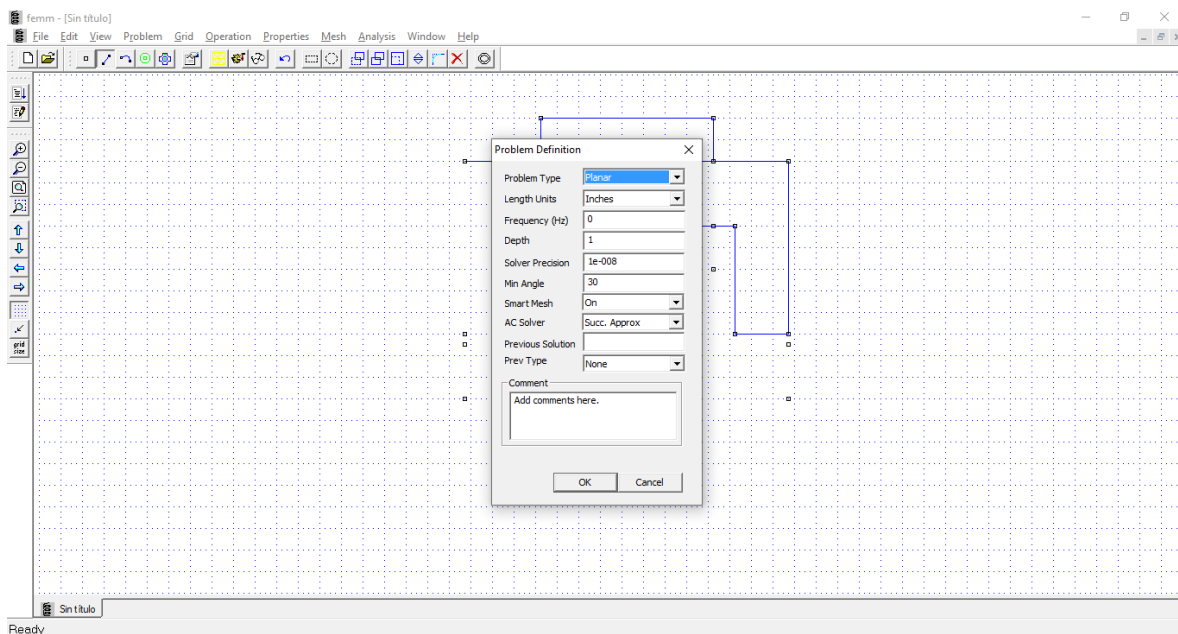


Configuración del circuito electromagnético

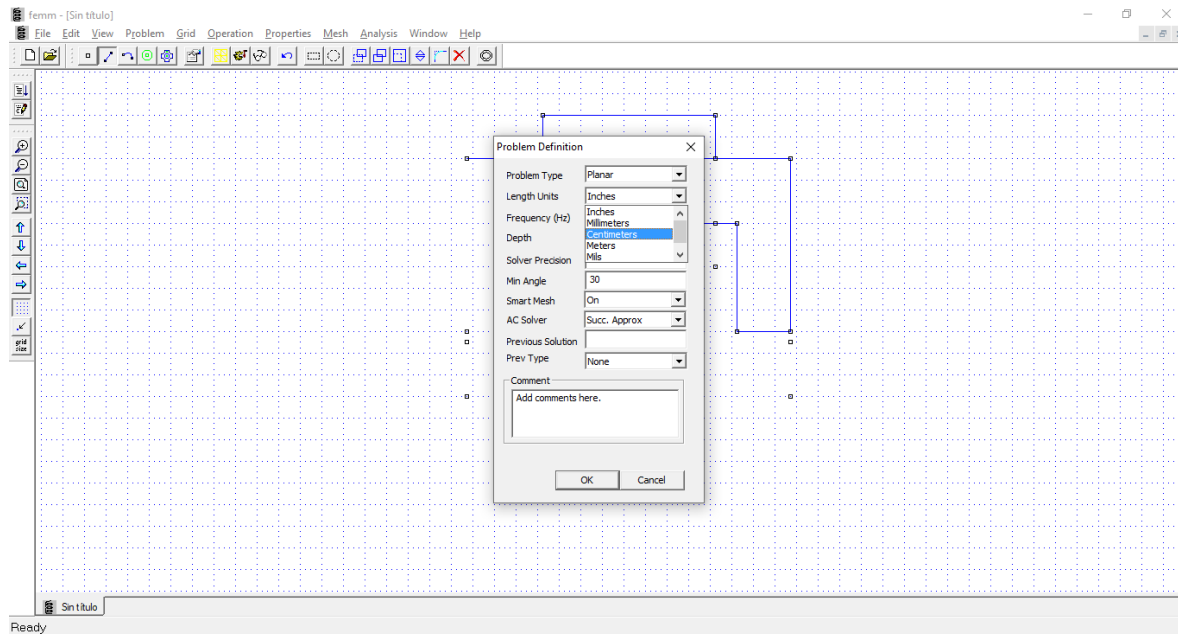
Ahora para poder indicar qué tipo de circuito electromagnético se va a analizar debemos introducirnos en la opción que dice Problema.



Luego definirlo como Planar.

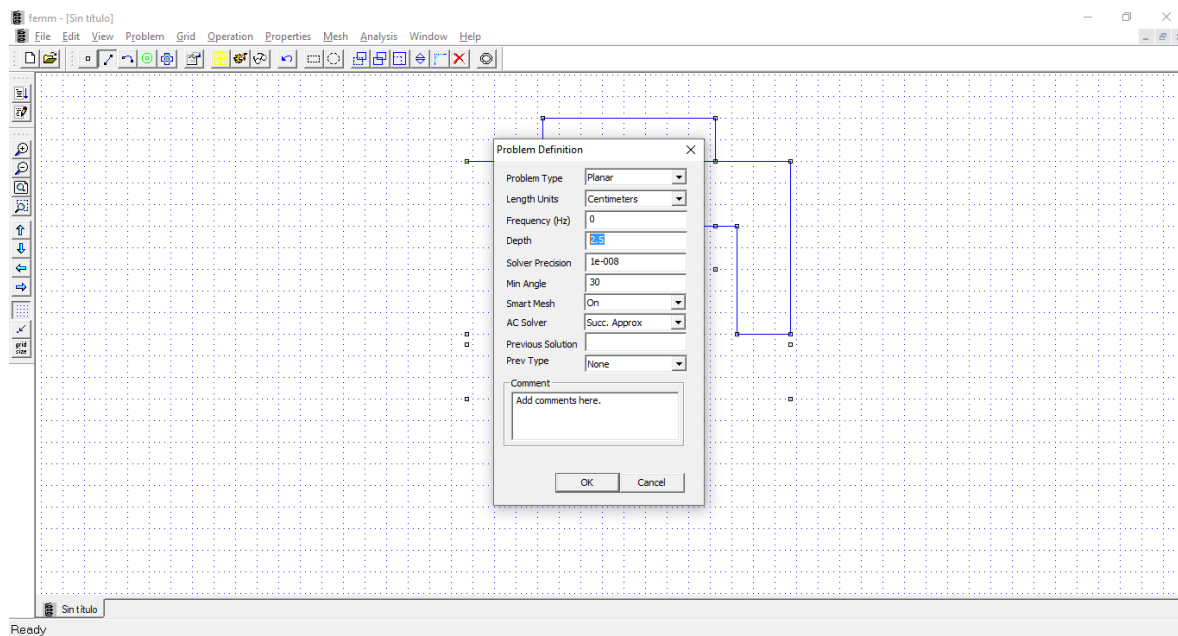


Después indicar las unidades que tiene el dibujo de mi circuito electromagnético.



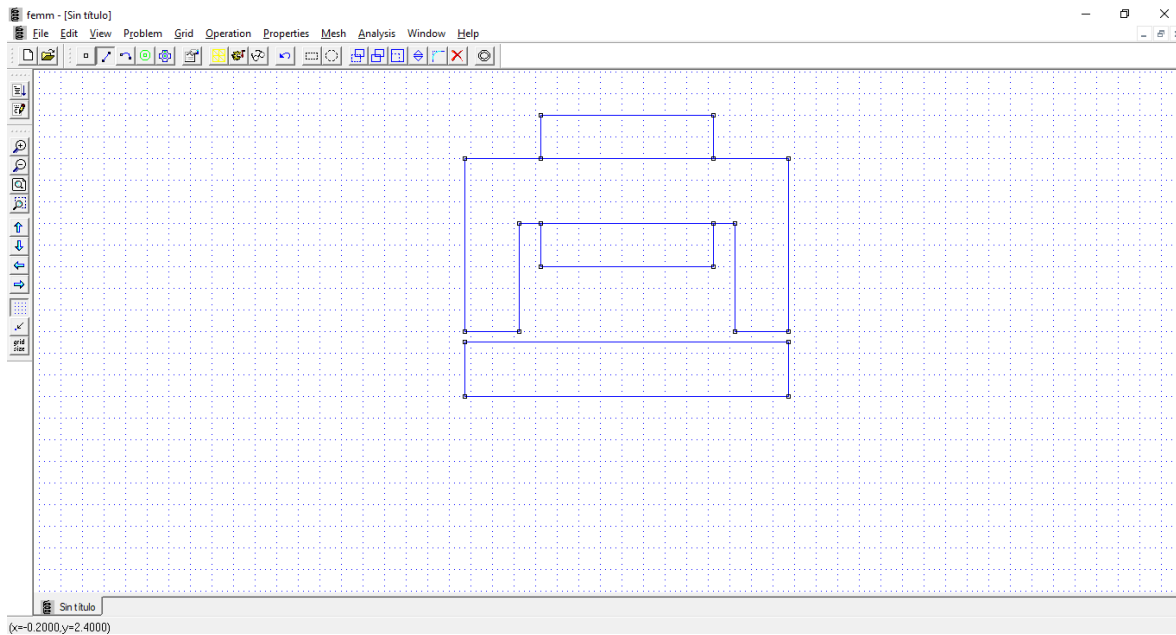
Ponemos también la frecuencia de la señal si a través del circuito electromagnético está fluyendo una corriente CA.

Depth es para decir la profundidad dimensional de nuestro dibujo 2D.

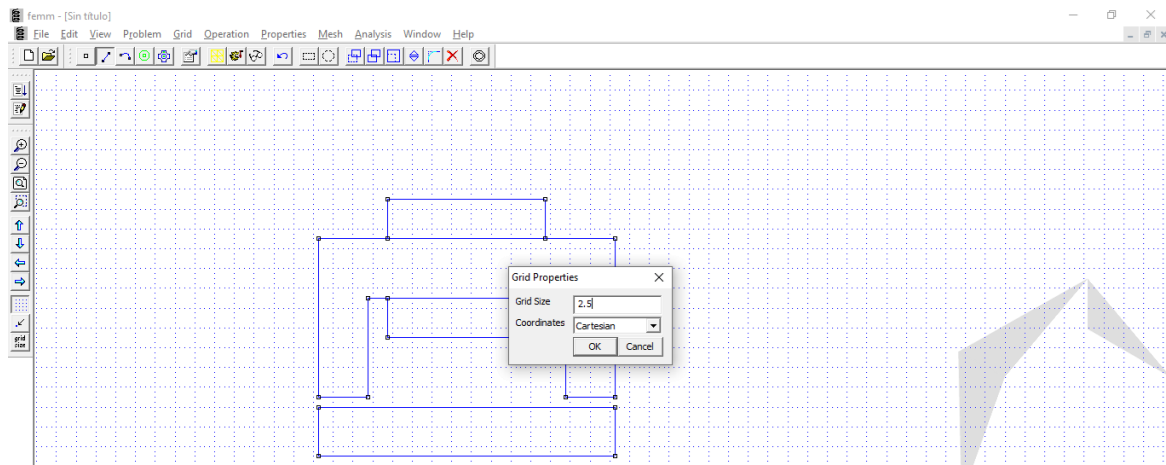
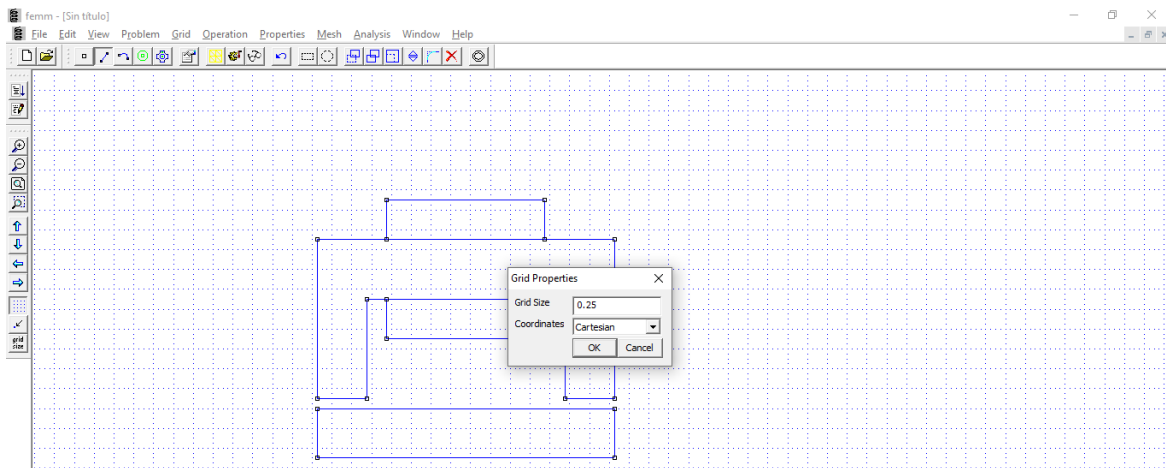


Lo demás de la configuración no se cambia, se deja como está por default.

Y ya tenemos la figura del circuito electromagnético construida:

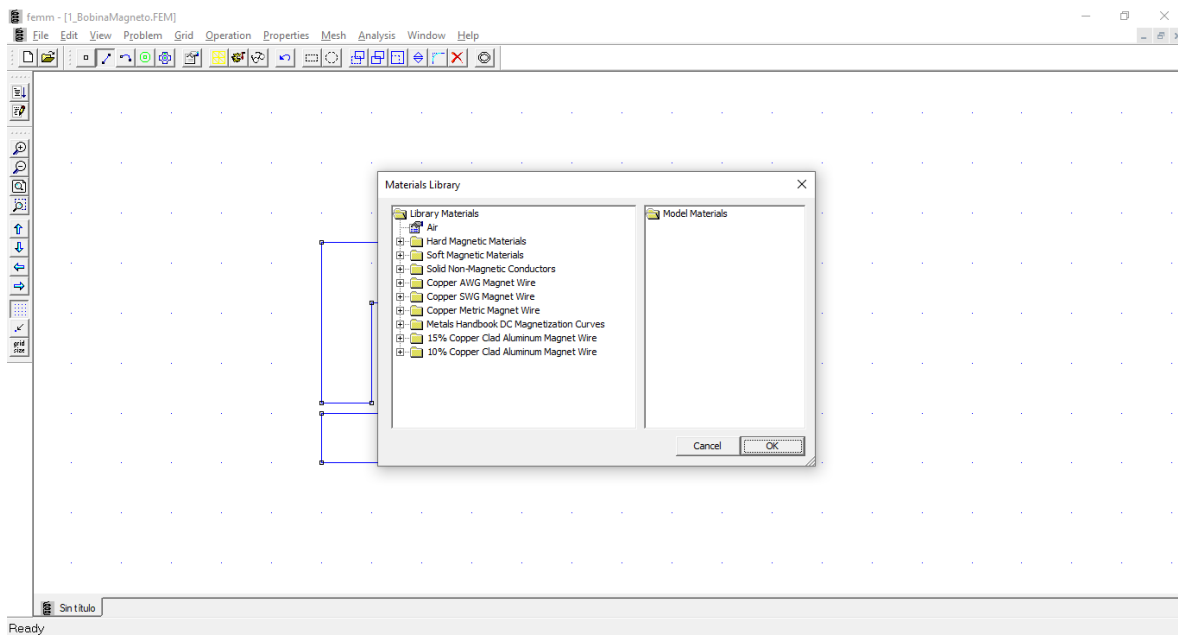
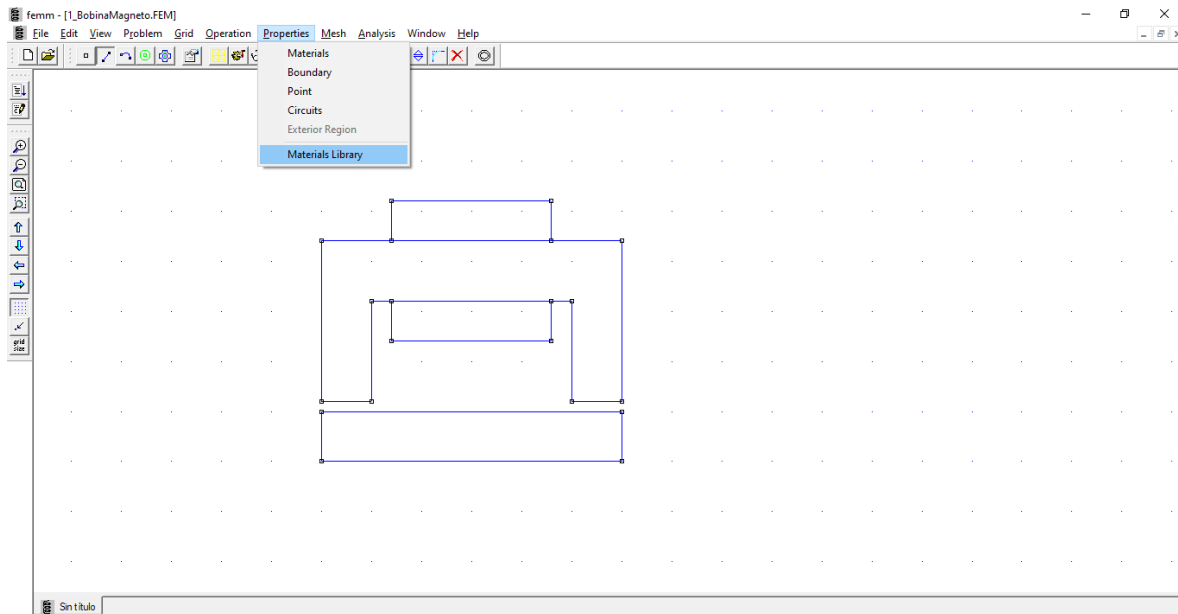


En Grid → Grid Properties → Grid Size podemos dar las propiedades del mallado.

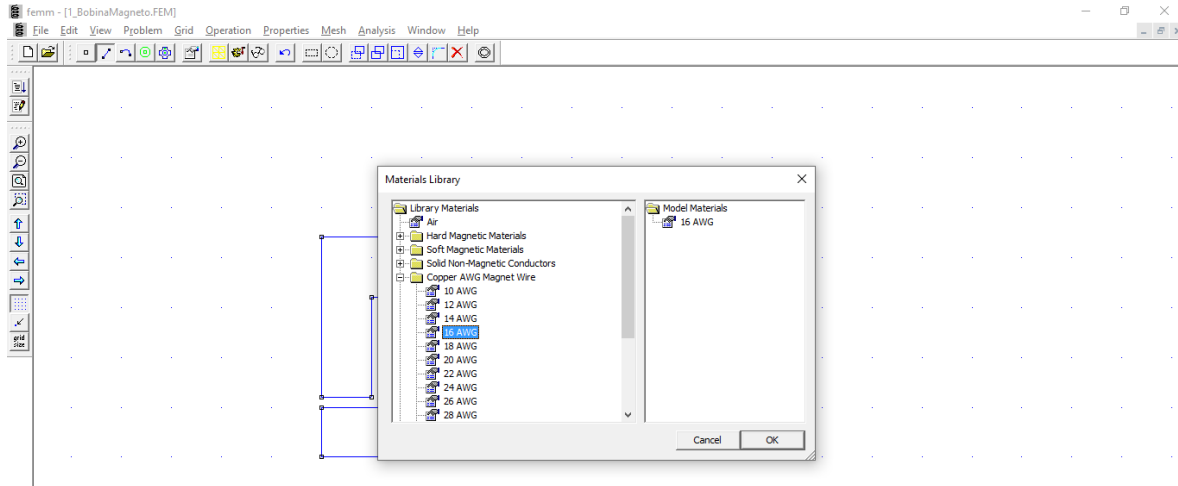


Propiedades del material del circuito

Para indicar las propiedades del material de las distintas partes del circuito me debo introducir a la opción de Properties → Materials Library.

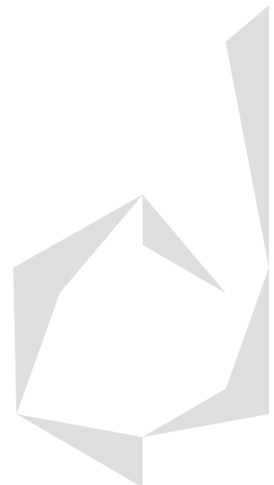
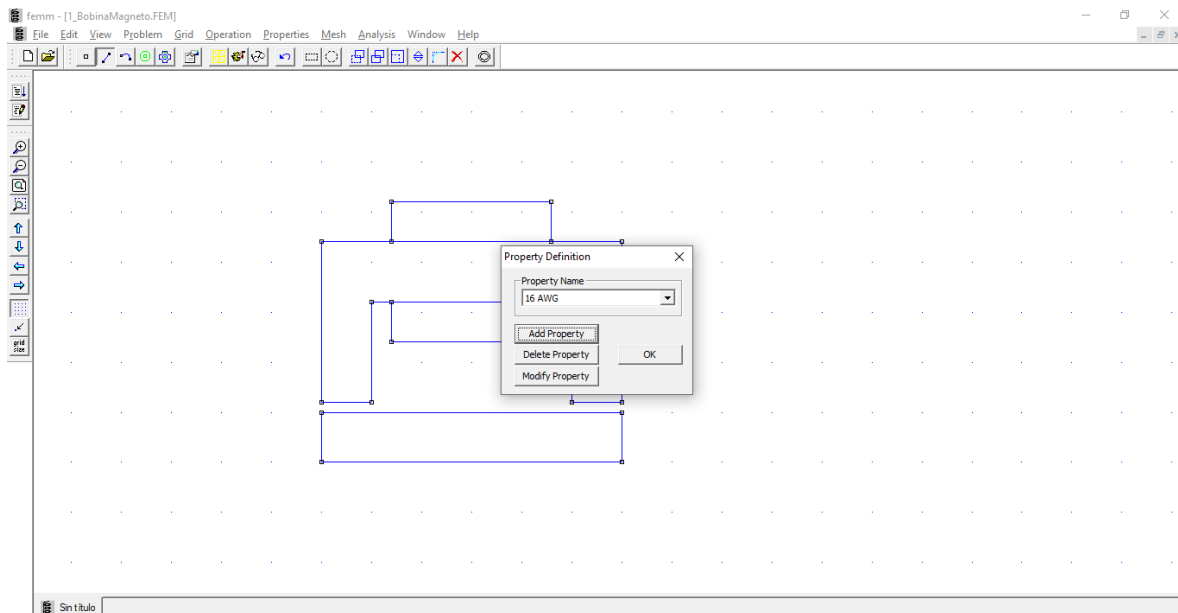


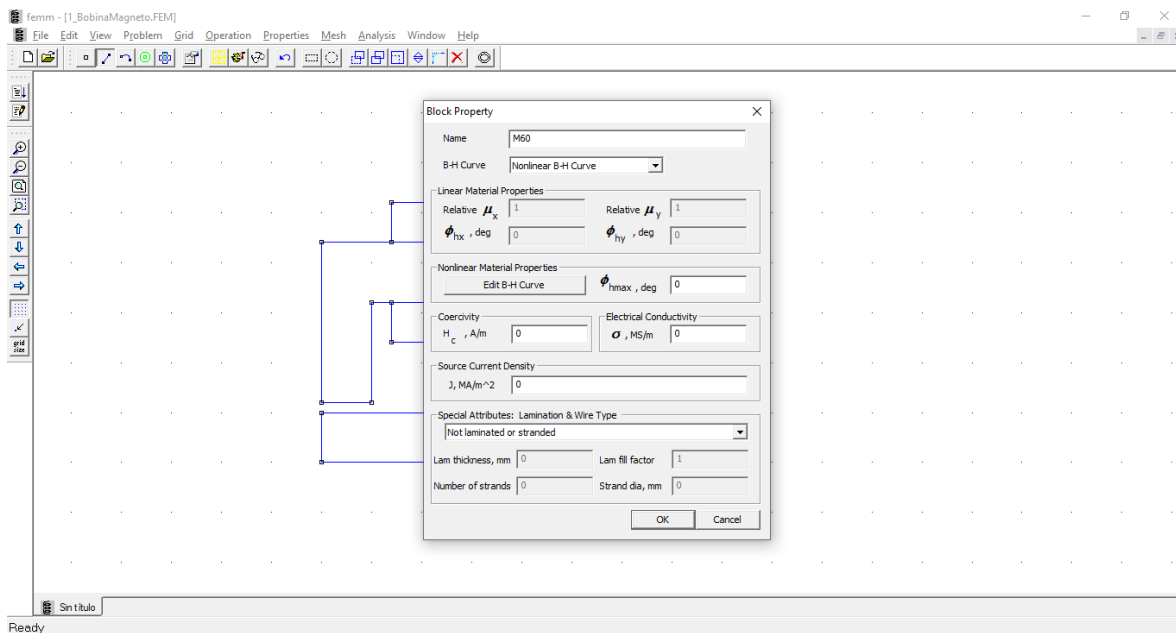
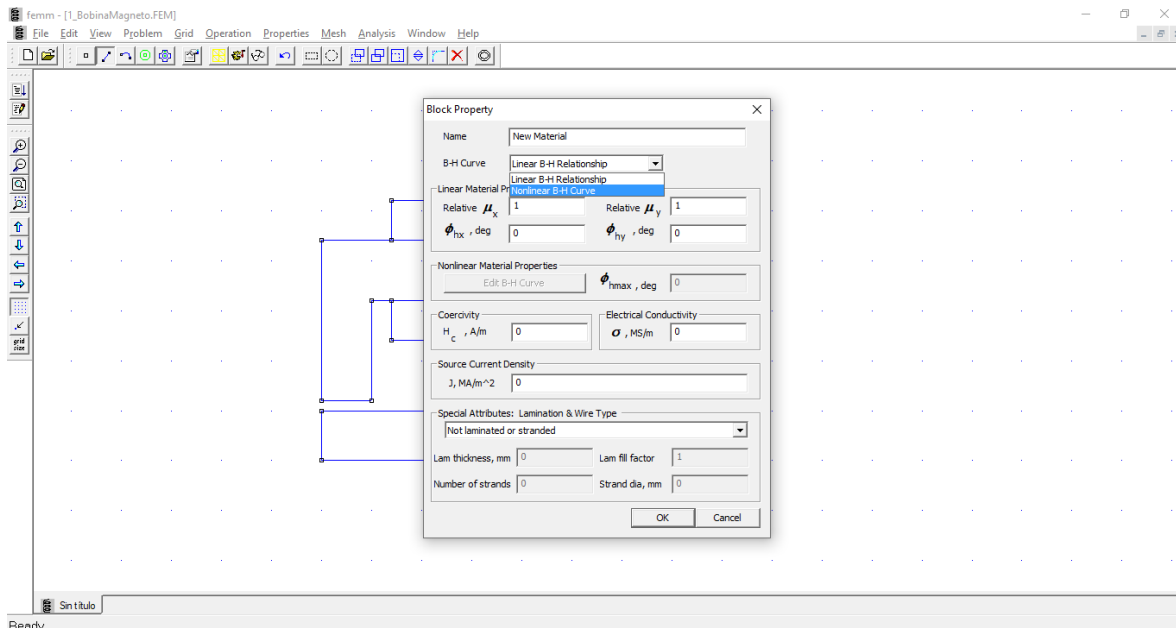
Y nos metemos a copper AWG Magnet Wire para decir el tipo de alambre, mientras mayor sea el número AWG (American Wire Gauge = Calibre Americano de Alambre) y mientras más grande sea el número mayor es el grosor del cable. Este lo agarramos y lo arrastramos.



En Soft Magnetic Materials podemos escoger algún tipo de material ferromagnético que se encuentre en la librería de materiales.

Pero si lo que queremos es elegir es un material personalizado nos vamos a la opción de Properties → Add Property, en este caso el material que vamos a crear es uno llamado M-60 B-H que es No lineal.





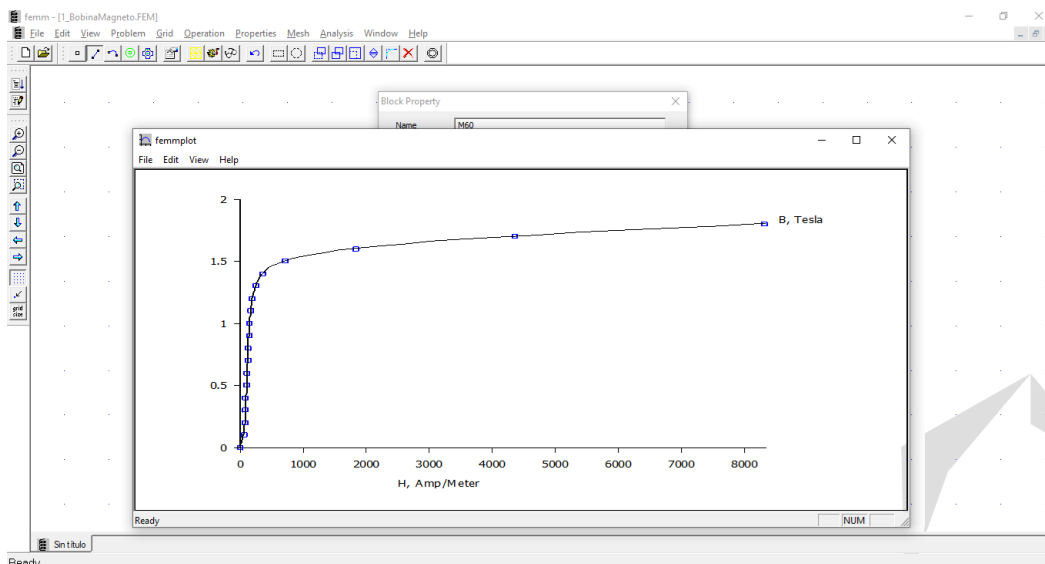
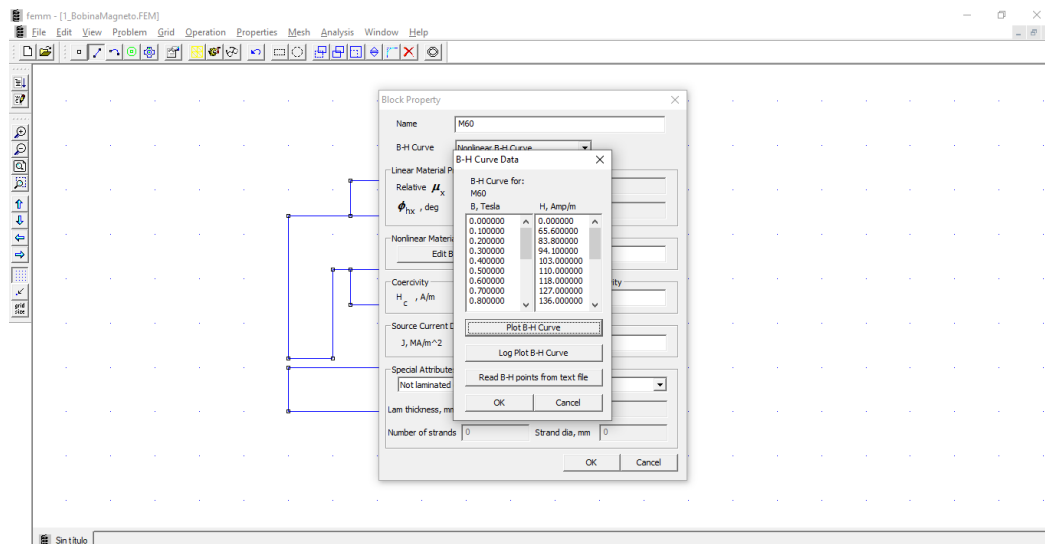
El material ferromagnético se puede describir por una curva con valores dictados por nosotros donde se describa la relación del campo magnético B con la corriente por tiempo H, osea la curva B-H.

En este caso se describirá una relación B-H por medio de los siguientes datos para describir nuestro material ferromagnético personalizado.

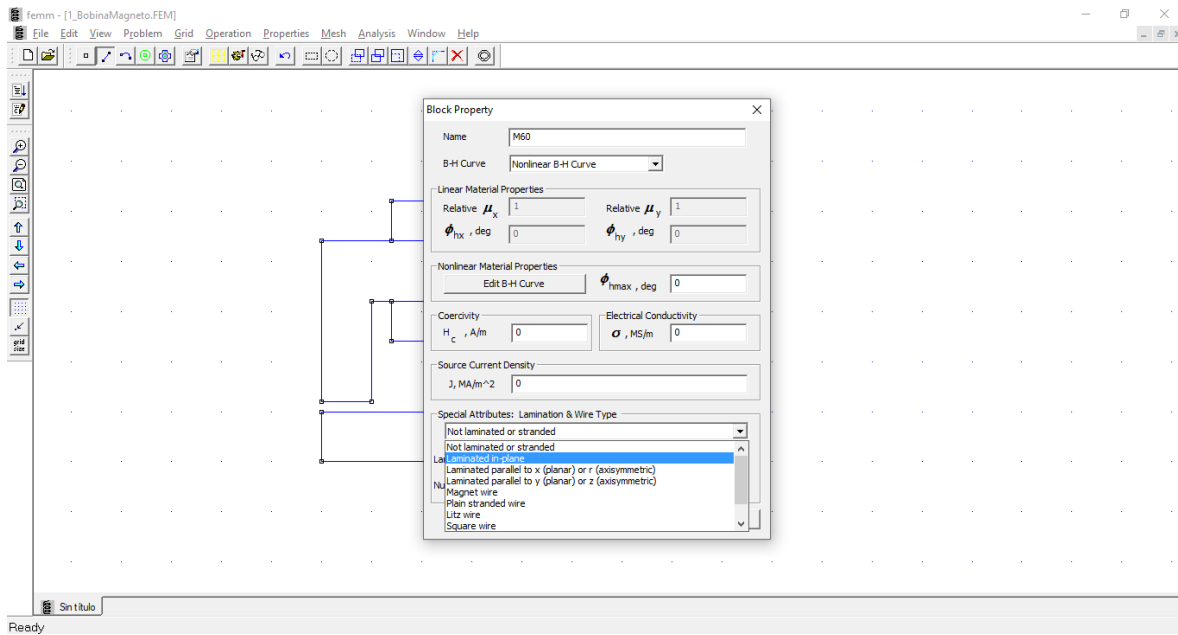
B [Teslas]	H [Ampere(tiempo)/metro]
0	0
0.1	65.6
0.2	83.8
0.3	94.1
0.4	103

0.5	110
0.6	118
0.7	127
0.8	136
0.9	147
1	159
1.1	177
1.2	205
1.3	255
1.4	370
1.5	718
1.6	1840
1.7	4370
1.8	8330

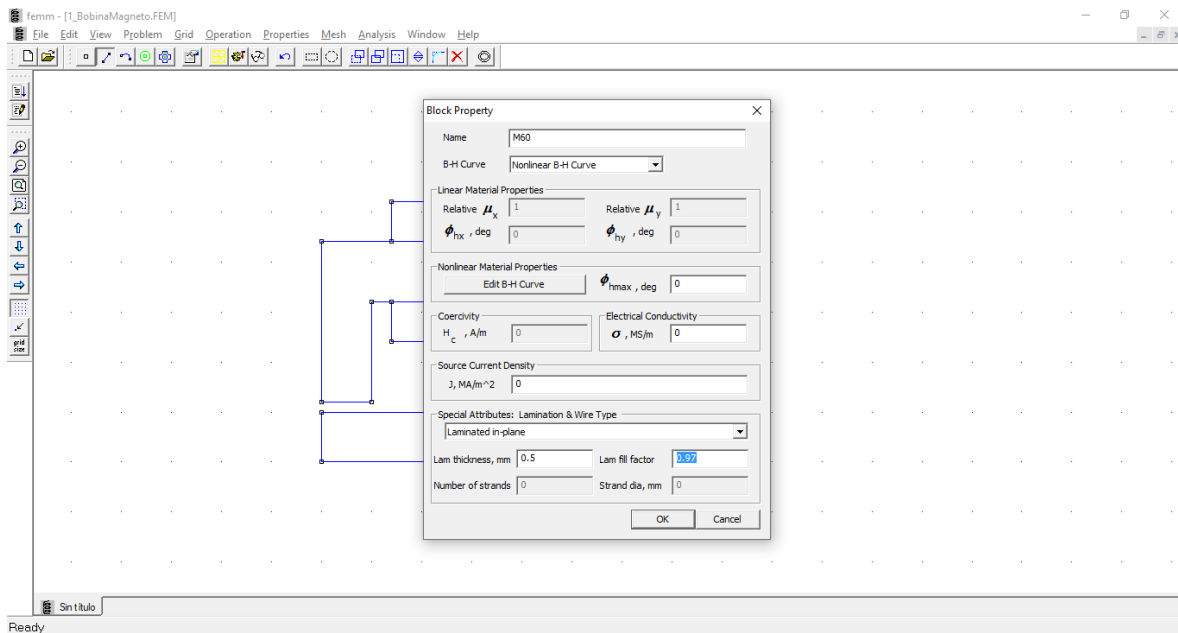
Para crear la curva le pongo ok y la puedo graficar si le doy clic a Plot B-H Curve que se saca de manera experimental.



Ahora le doy clic a la opción de Laminado en plano.



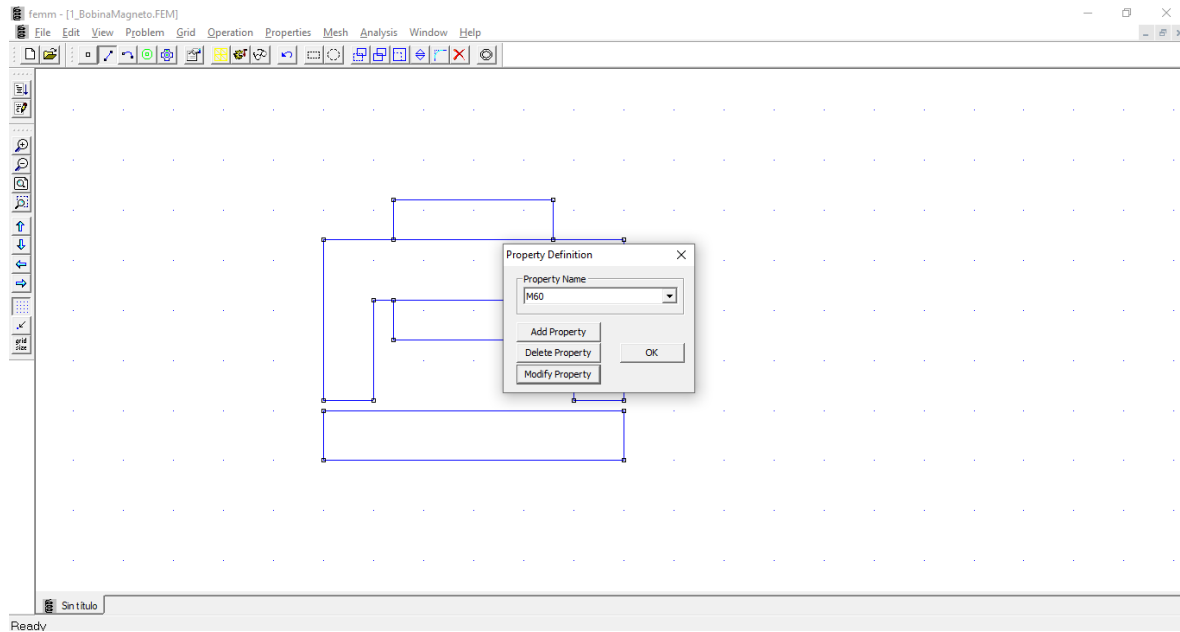
Y le damos un ancho de 0.5 mm a cada lámina que conforma el material



Y al factor de apilamiento le doy 0.97 que dice qué tan bien comprimadas están las láminas entre sí.

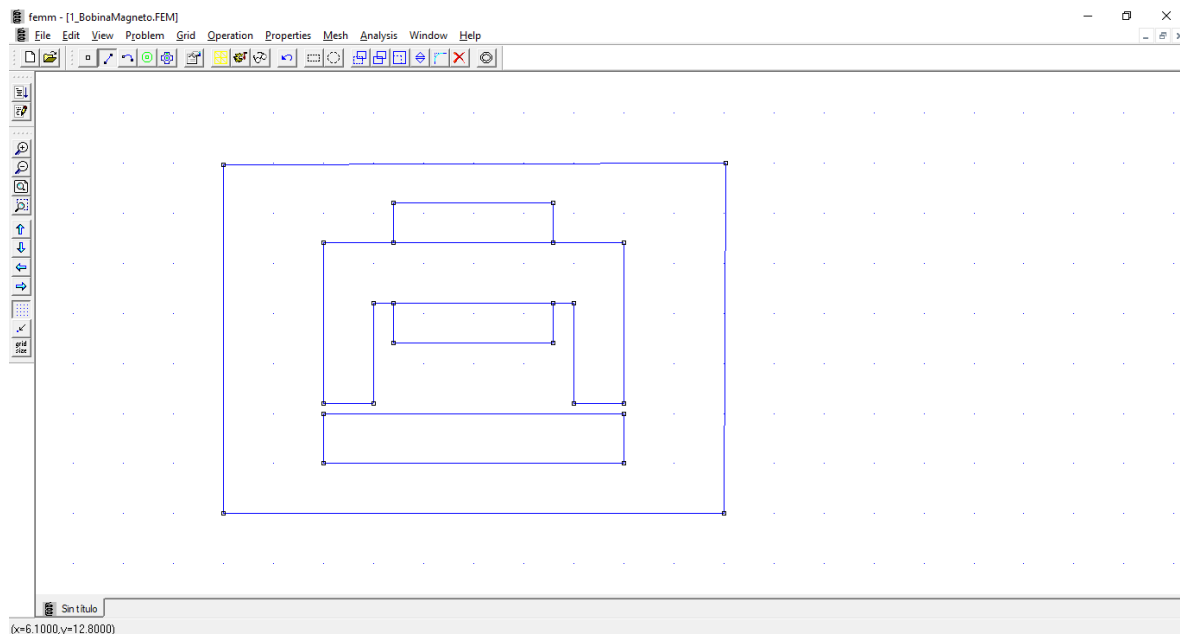
Finalmente le damos clic a Ok para que se guarden los cambios.



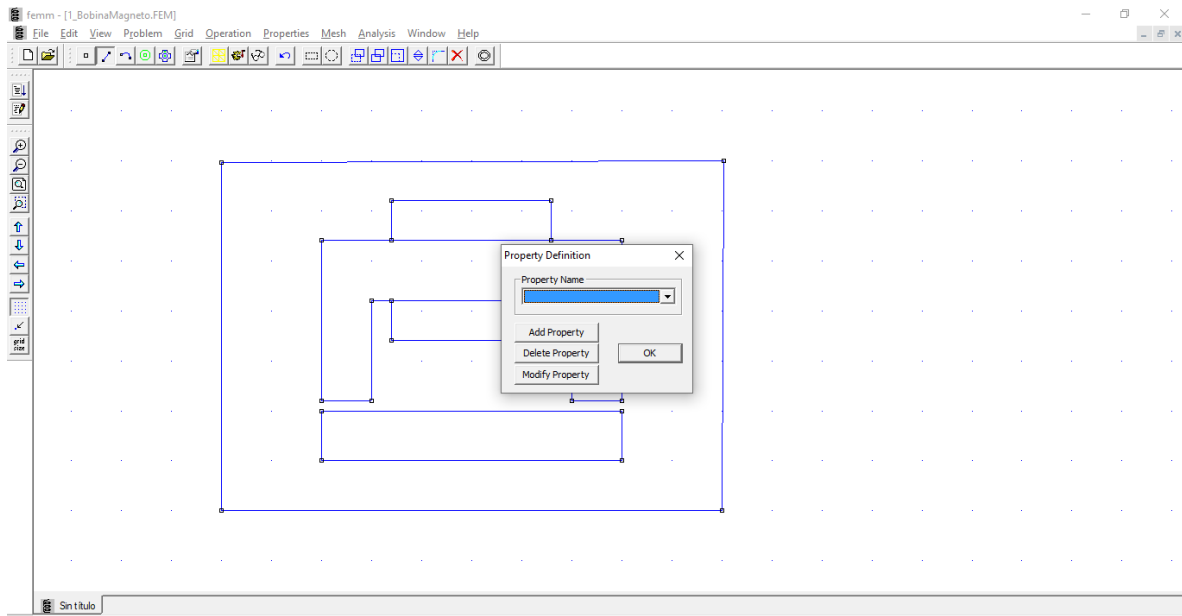
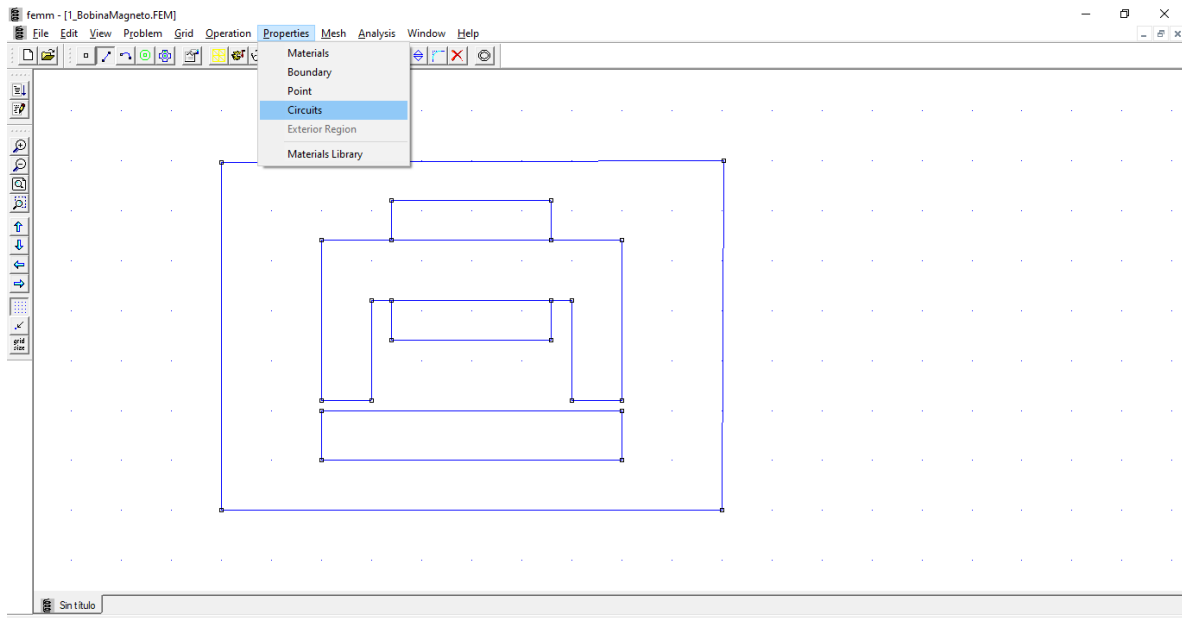


Asignación de las propiedades del circuito y su entorno

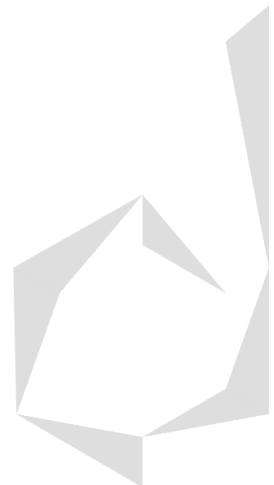
Una vez descritos los materiales que conforman al circuito electromagnético, se debe describir el tipo de entorno que se encuentra alrededor de la figura, para ello normalmente se dibuja un cuadrado alrededor del circuito.

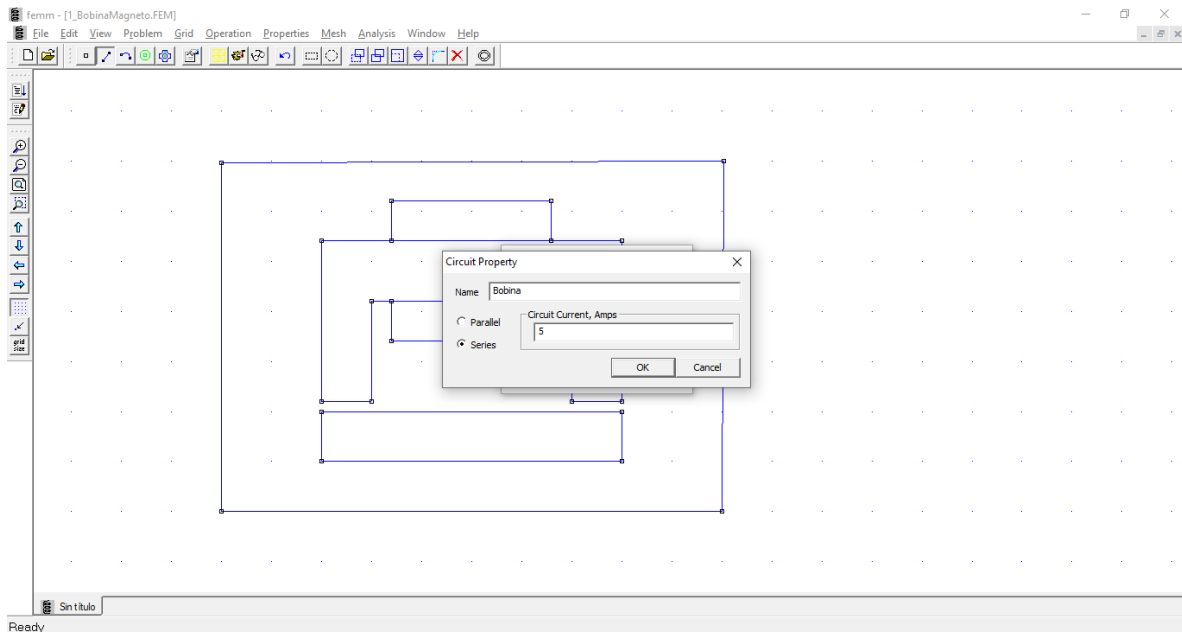
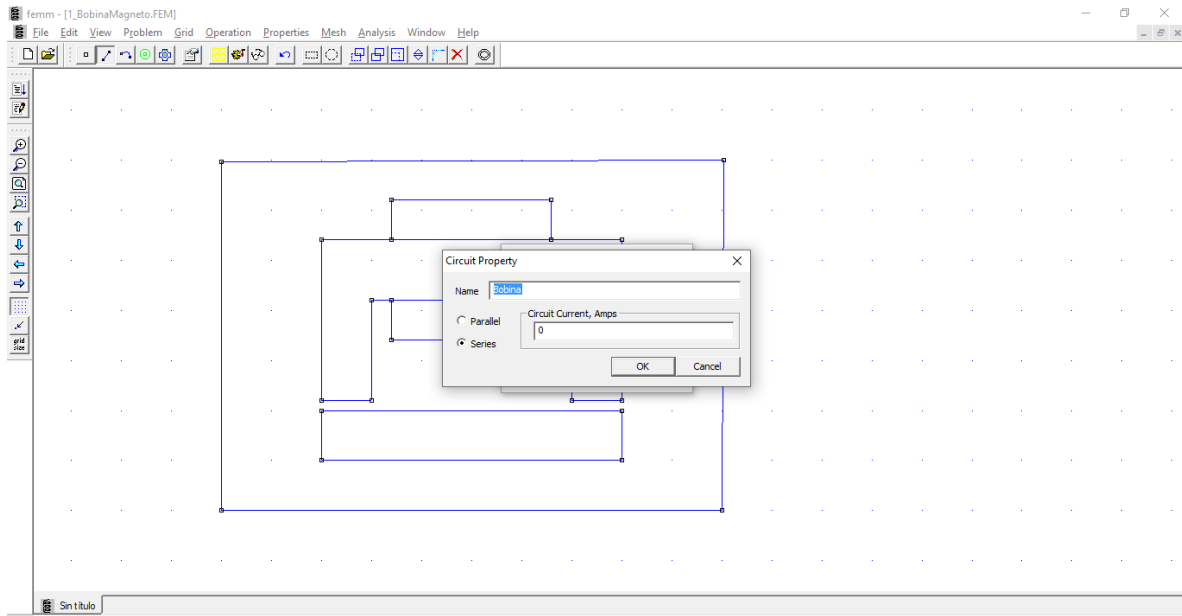


Para describir el entorno del circuito nos introducimos a la opción de Properties → Circuits → Add Property.

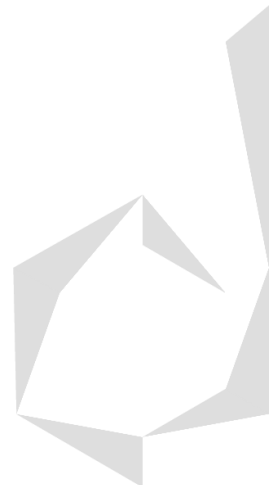


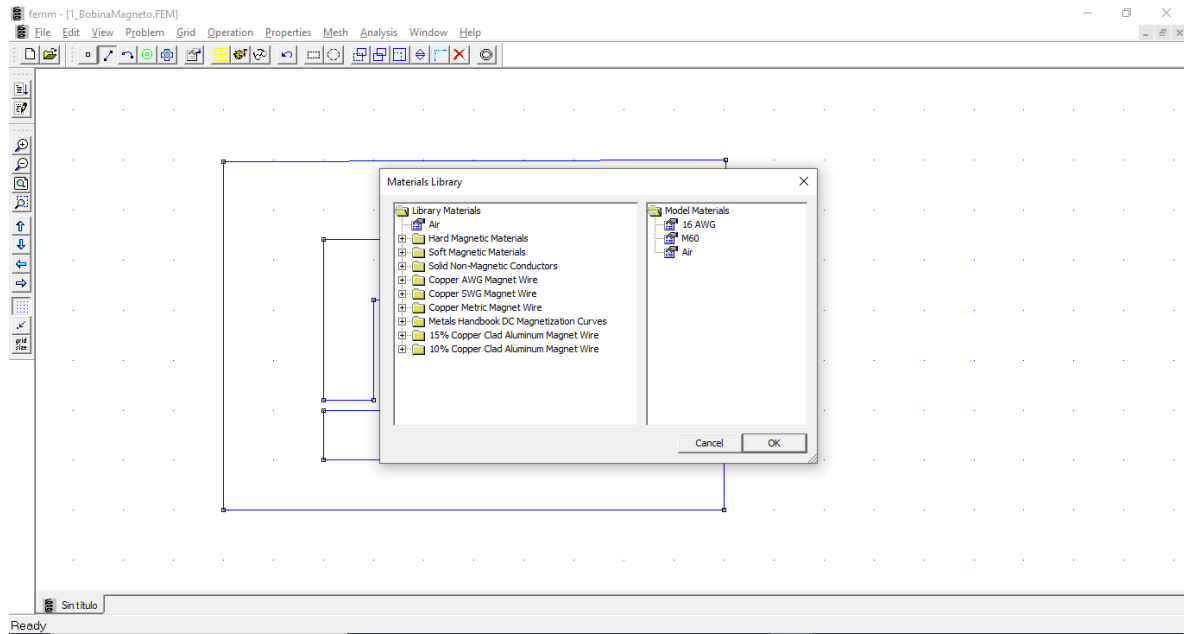
Ahora le damos nombre al circuito, indicando si este está en paralelo o en serie y cuánta corriente transita a través de él.



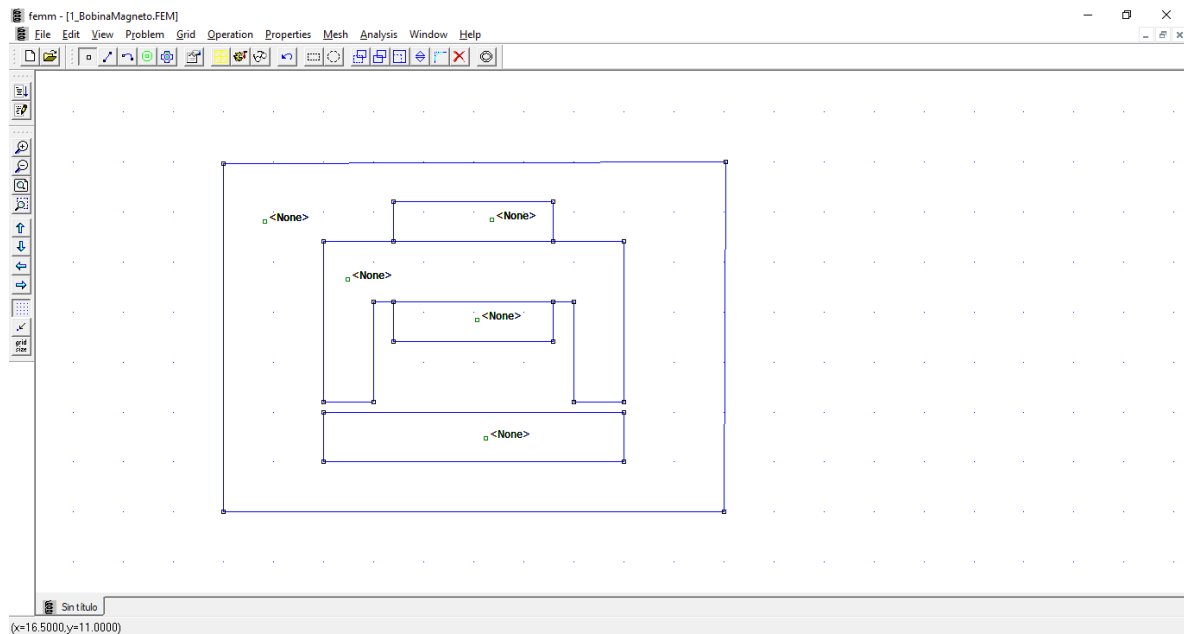


Para indicar el material del entorno podemos agregar el aire a nuestros materiales desde la Materials Library.

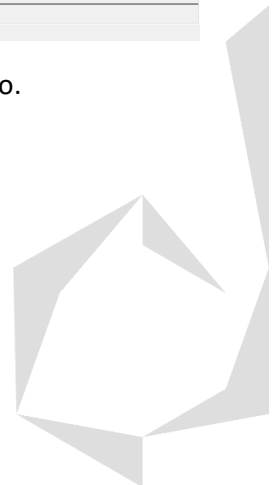


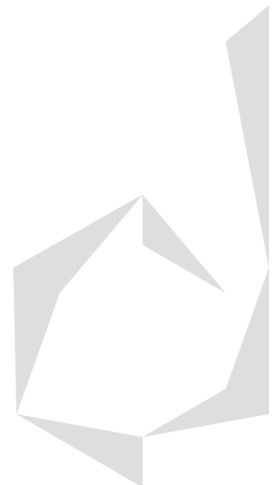
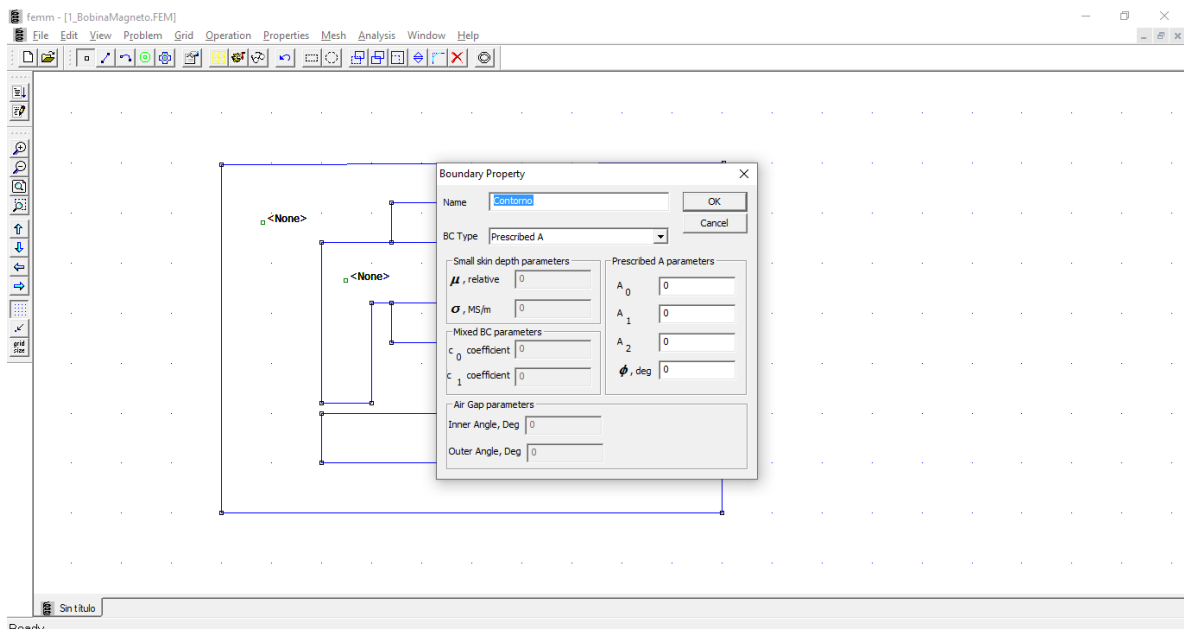
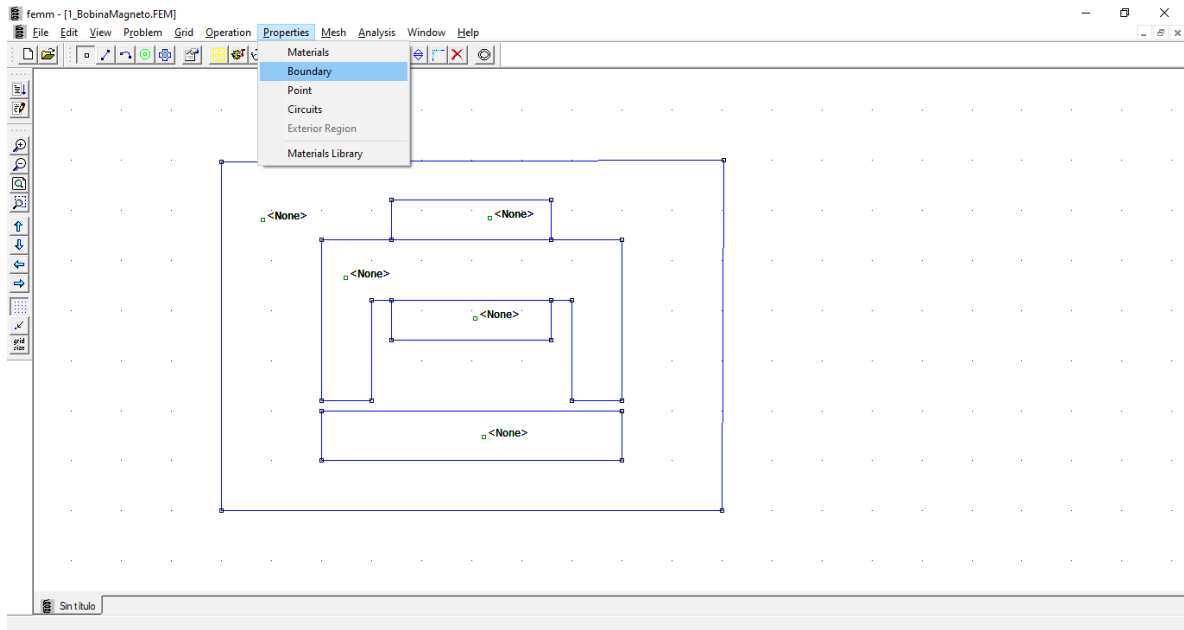


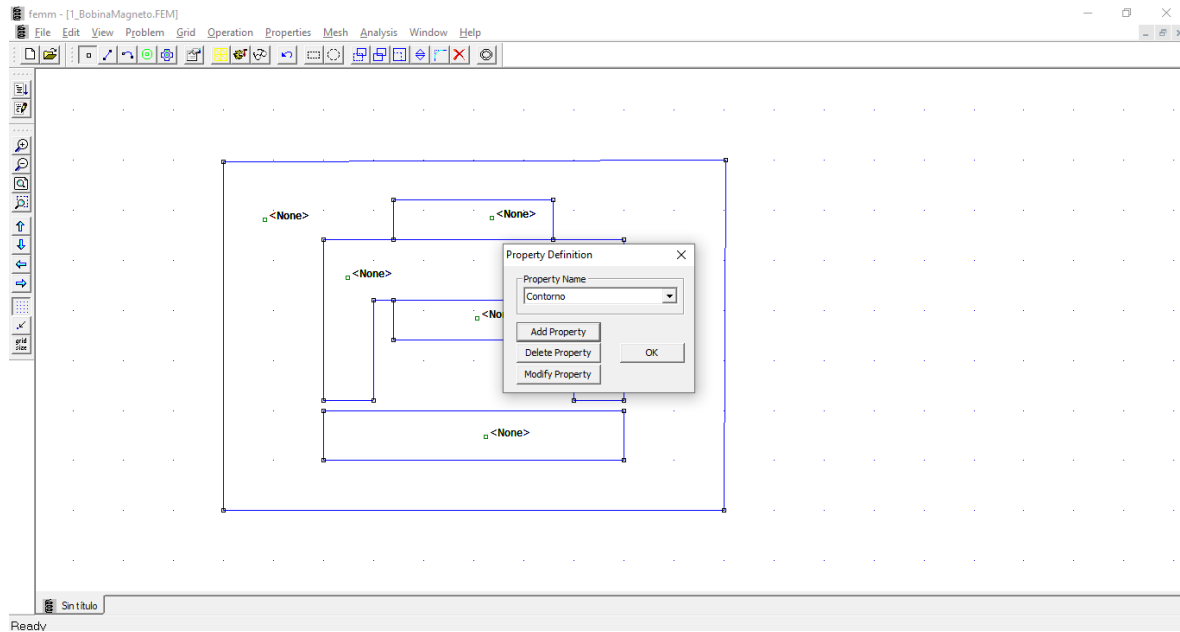
Con el botón verde seleccionamos donde poner los materiales que tenemos en nuestro dibujo del circuito.



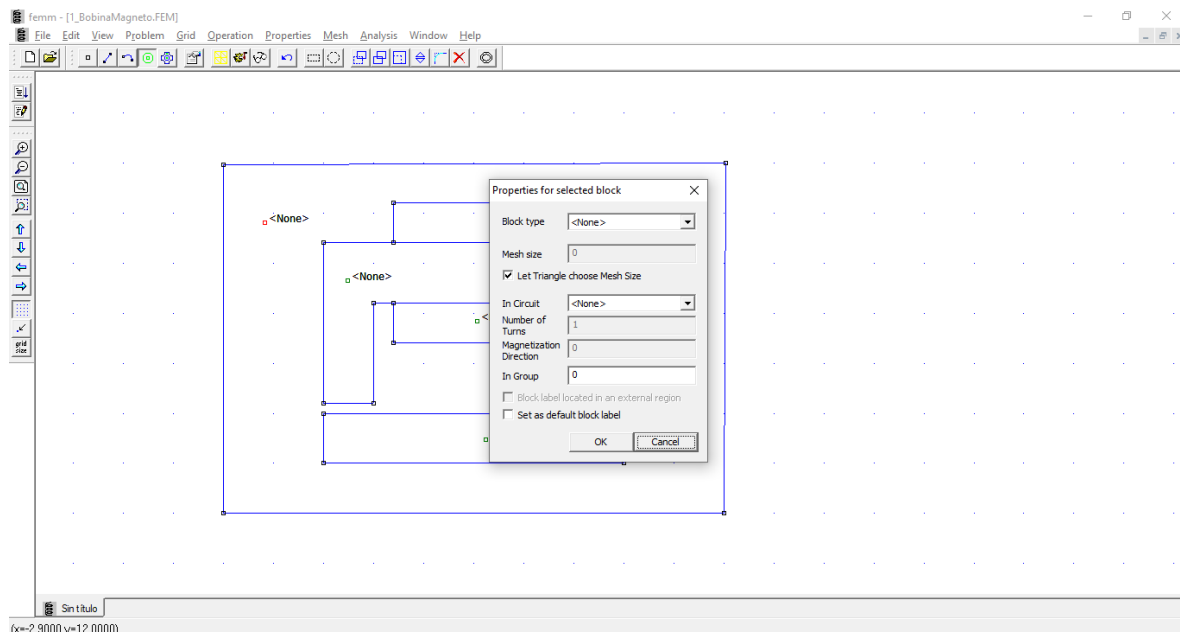
Nos vamos a Properties → Boundary para indicar cuál es el límite de nuestro dibujo.







Luego en cada punto de material en nuestro circuito debemos dar clic derecho + SPACE BAR y saldrá la siguiente ventana.

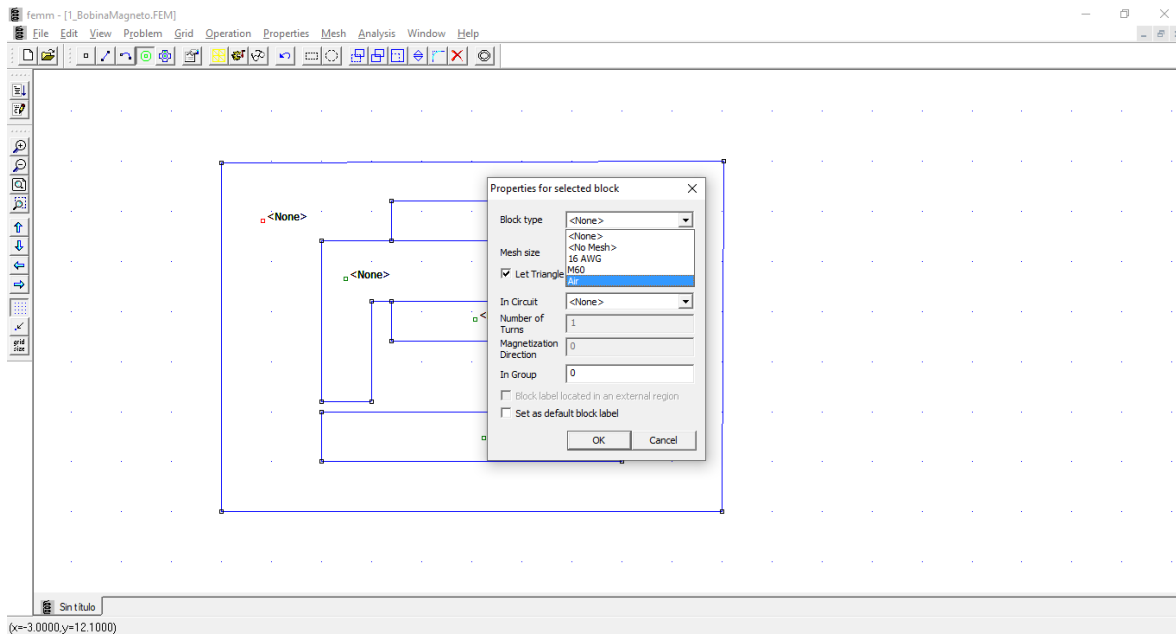


En la parte que dice Block type metemos el tipo de material que queremos asignar a cada parte del circuito:

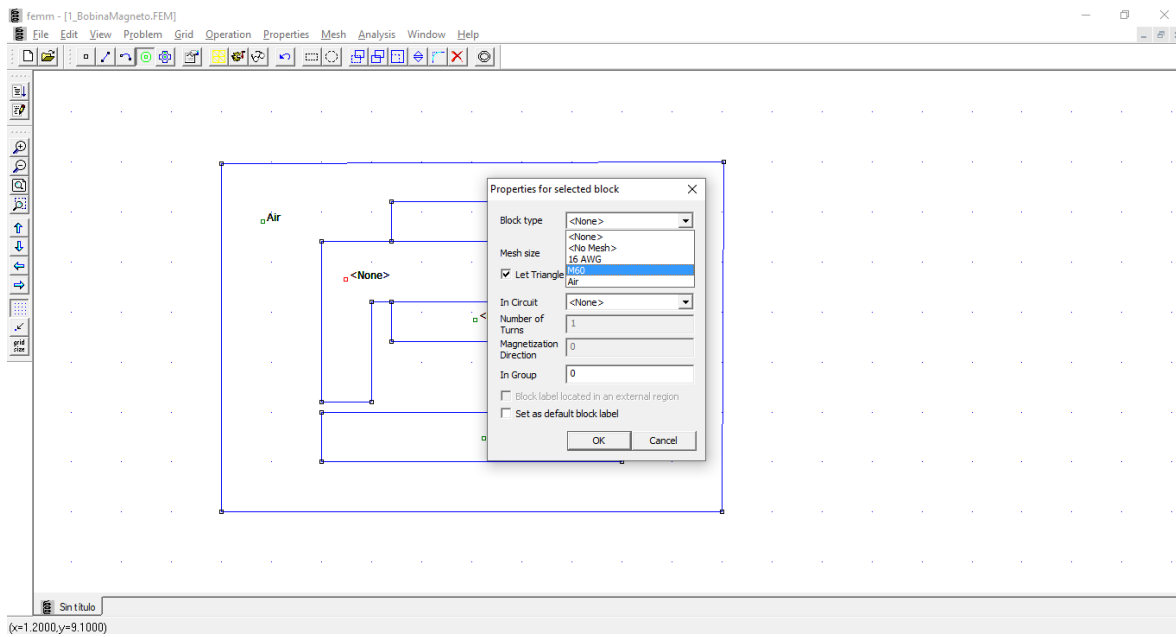
- El aire es Air
- El magneto es el M60
- La bobina es el 16 AWG



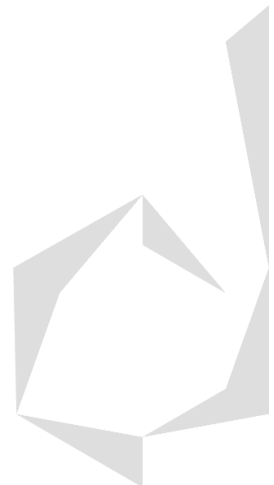
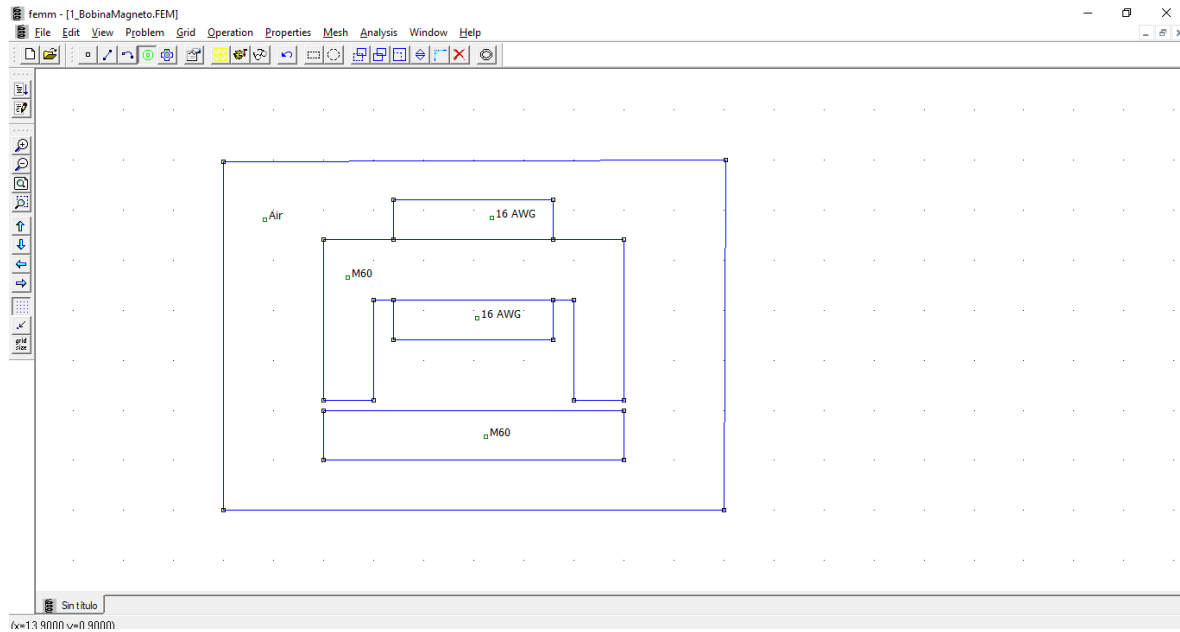
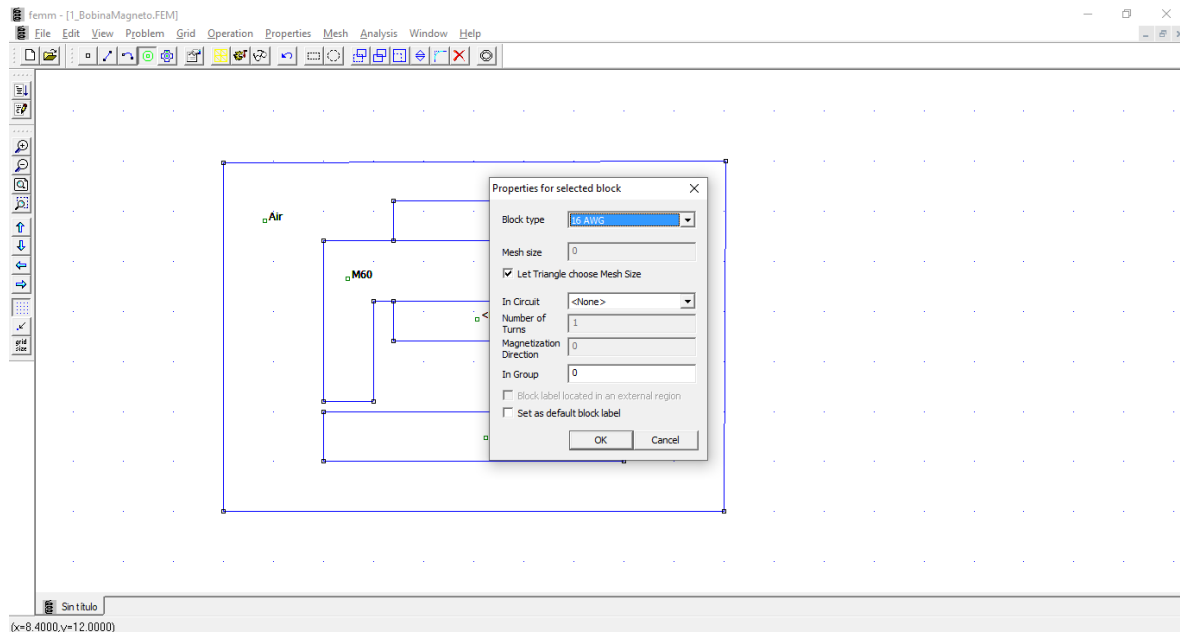
Aire:



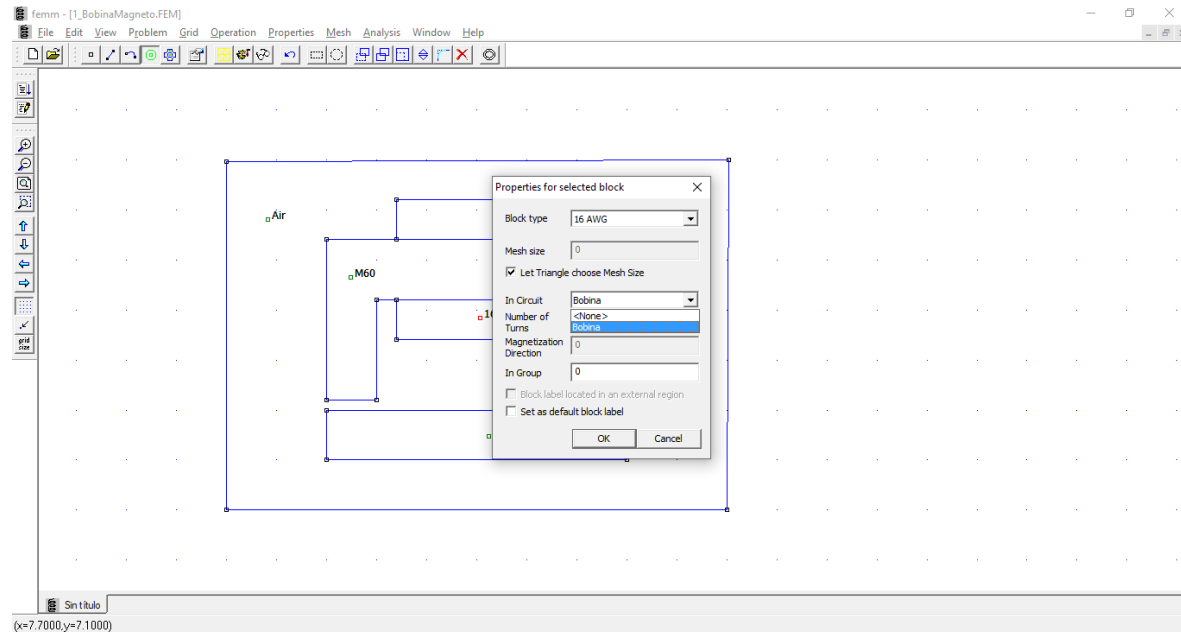
Magneto M60:



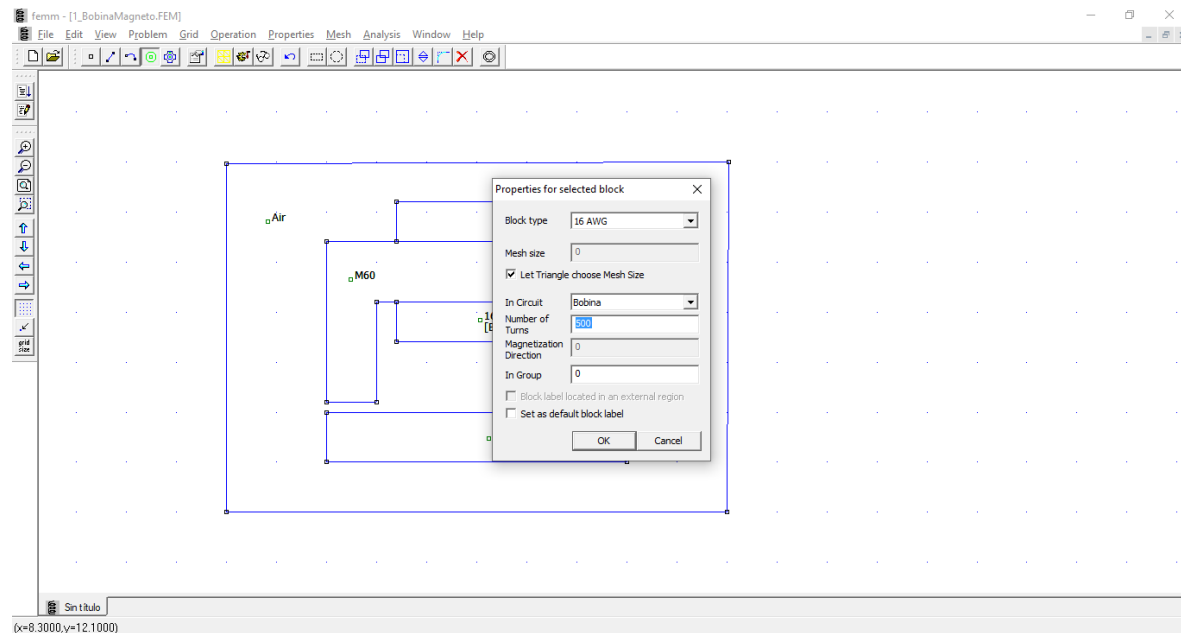
Bobina 16 AWG:



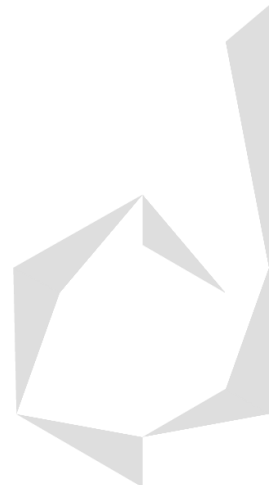
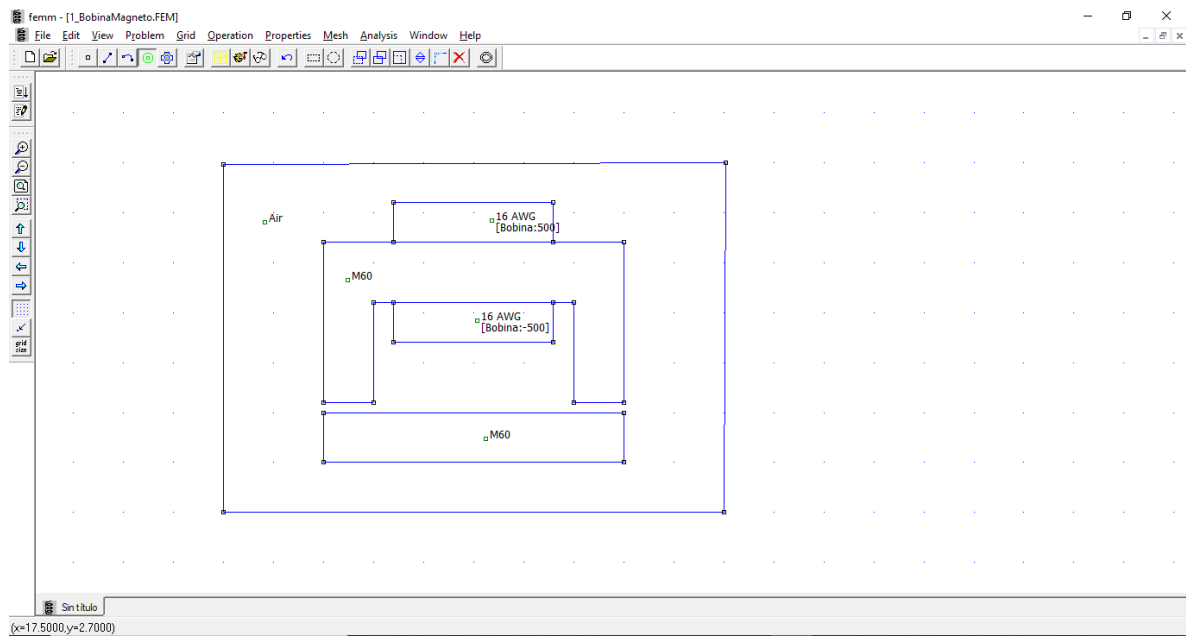
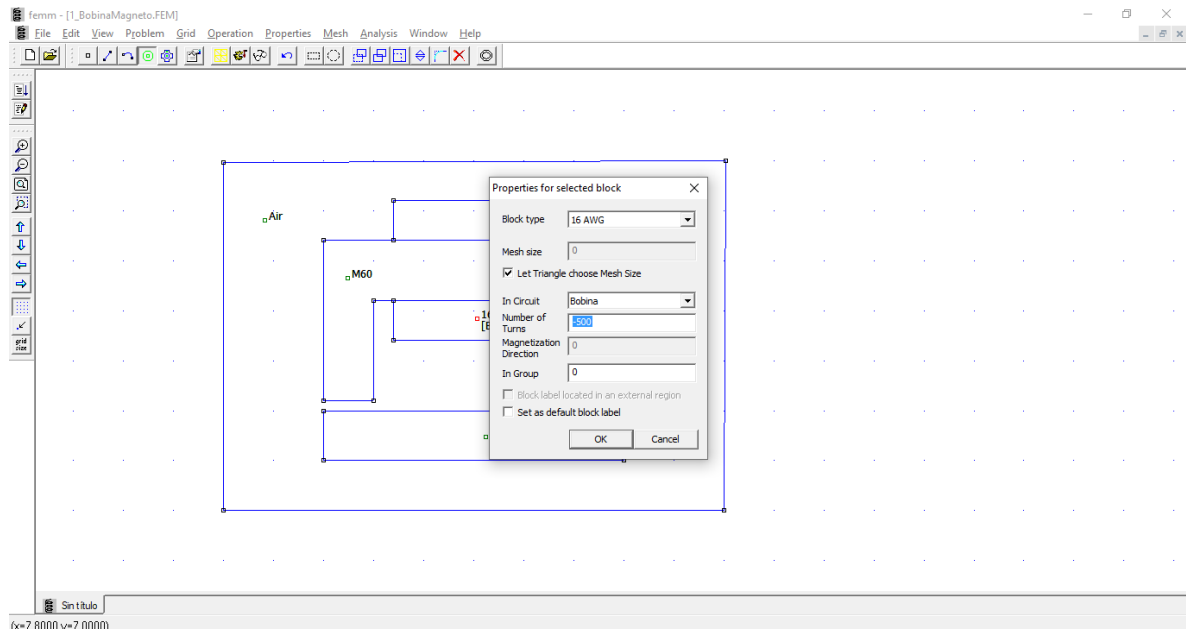
En la parte donde dice In Circuit que indica de cual material es la bobina del circuito electromagnético seleccionamos el material llamado Bobina que es el de la Bobina 16 AWG.



En Number of Turns le ponemos el número de vueltas de la bobina, que le vamos a poner 500.

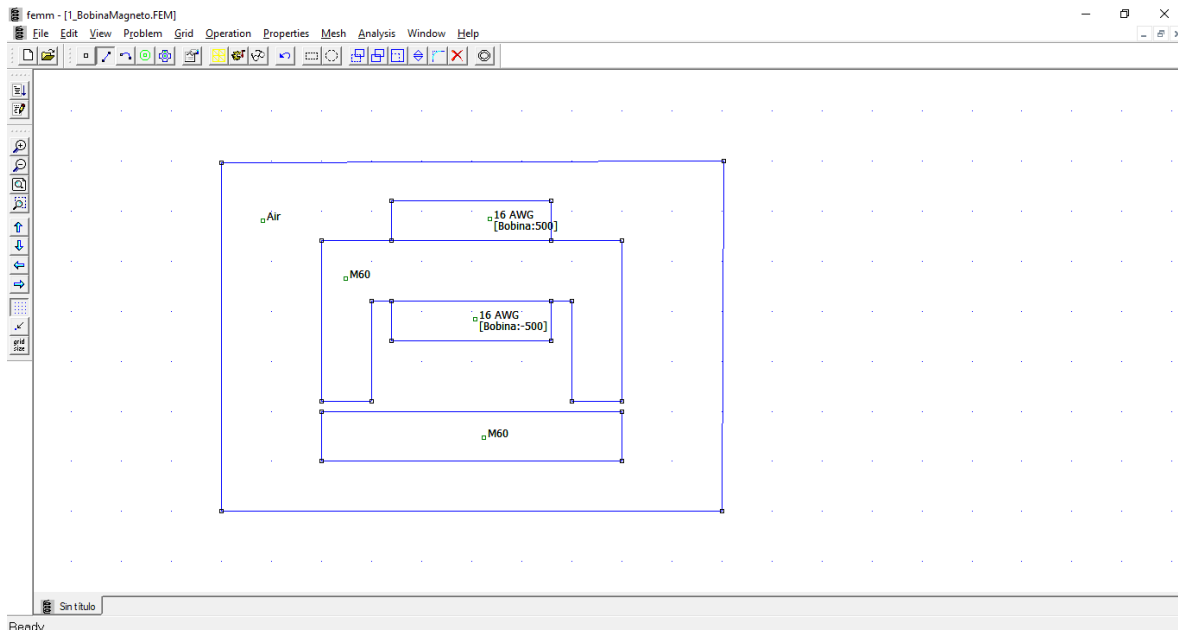


Y en la parte de abajo pusimos -500, ya que el signo indica la dirección del embobinado tomando en cuenta la ley de la mano derecha.

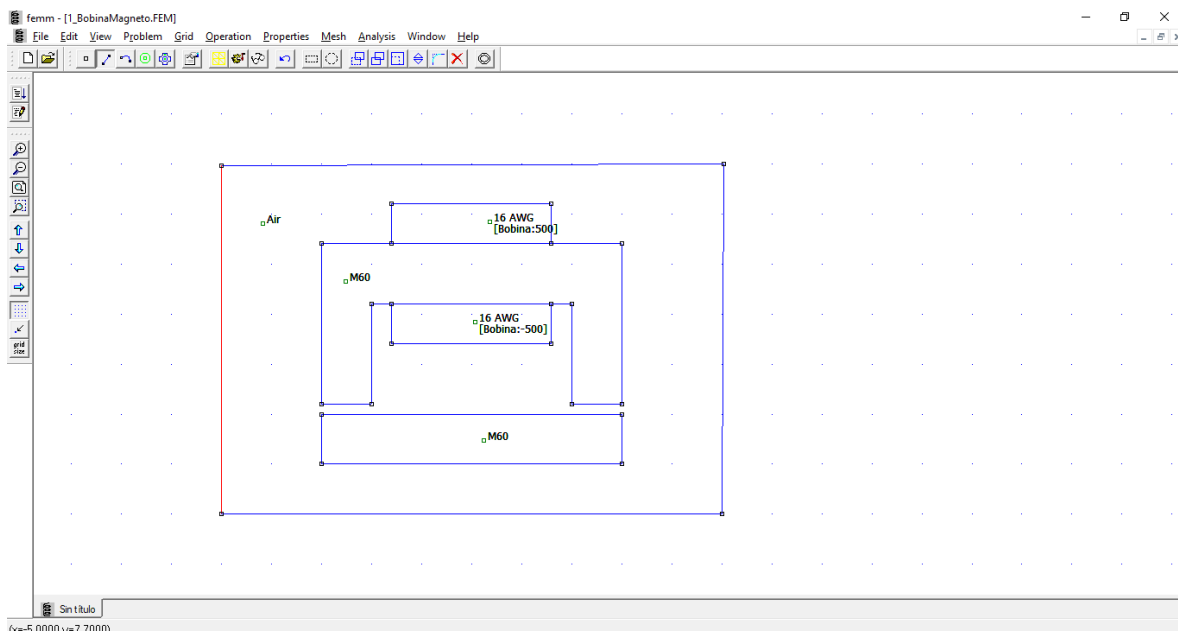


Asignación del contorno del análisis electromagnético

Ahora nos ponemos en la línea.

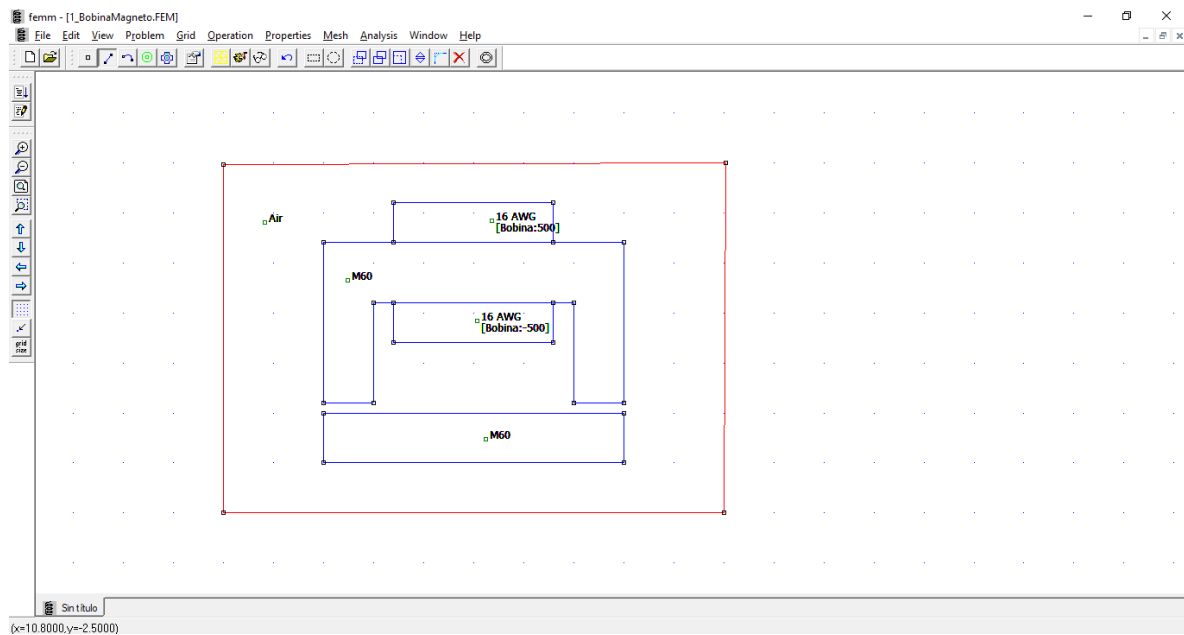
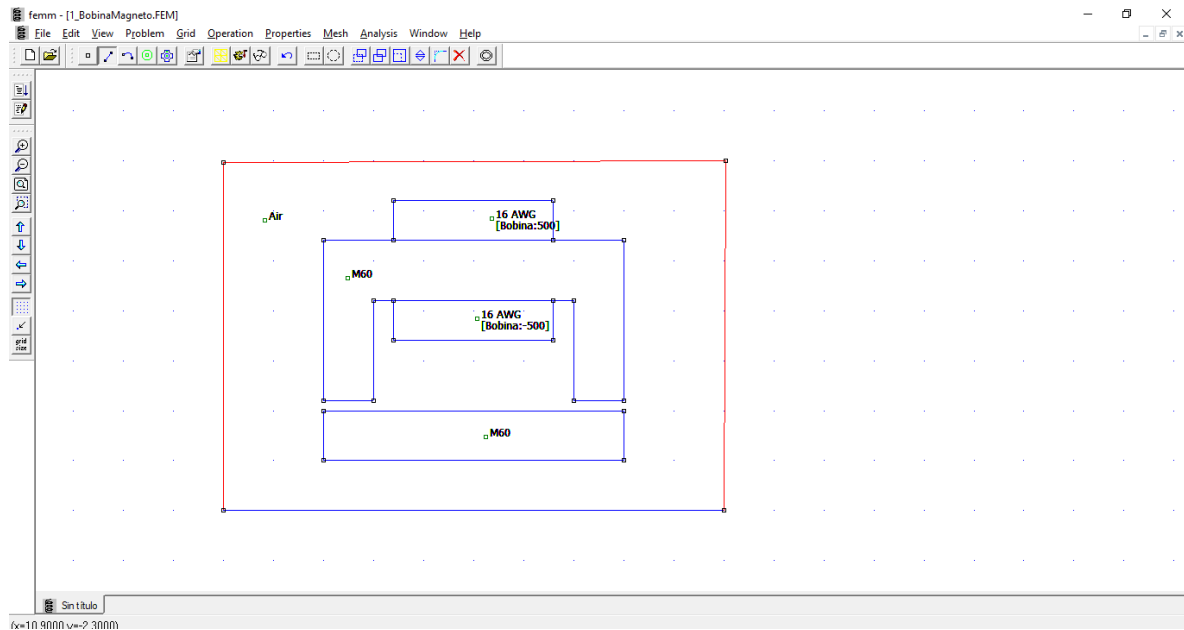


Y en el borde le damos clic derecho.

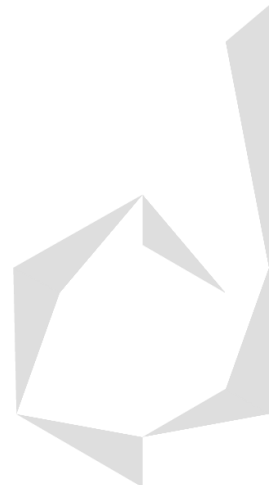


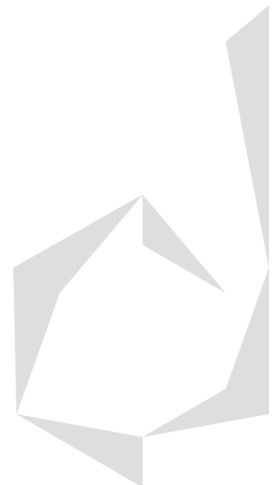
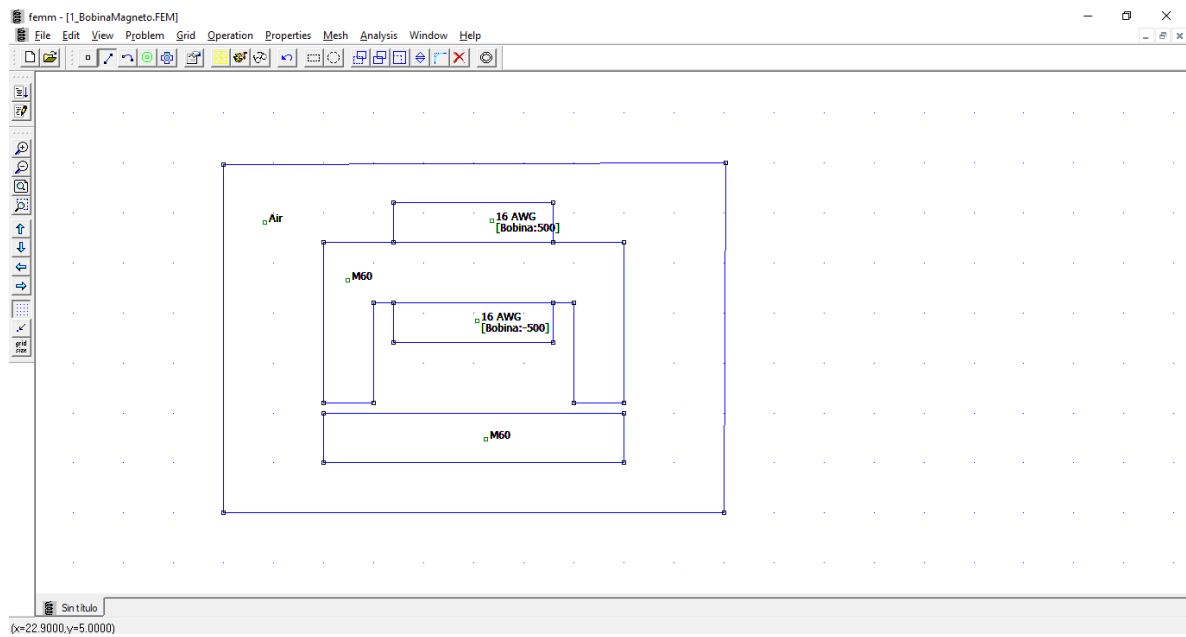
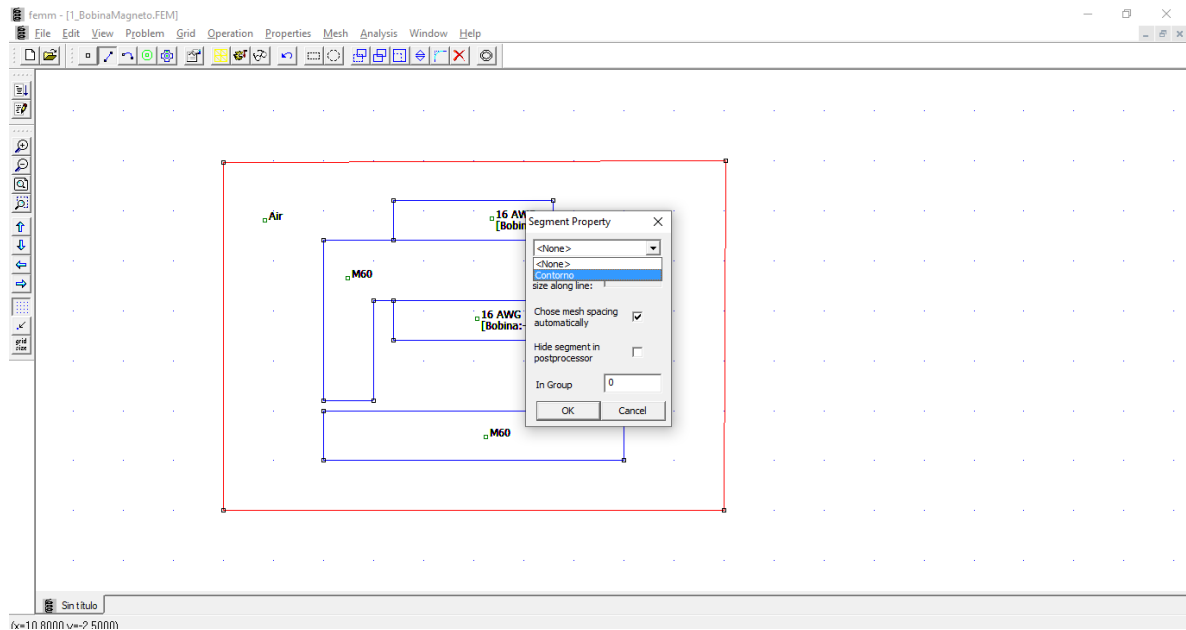
Y le doy clic derecho a cada una.





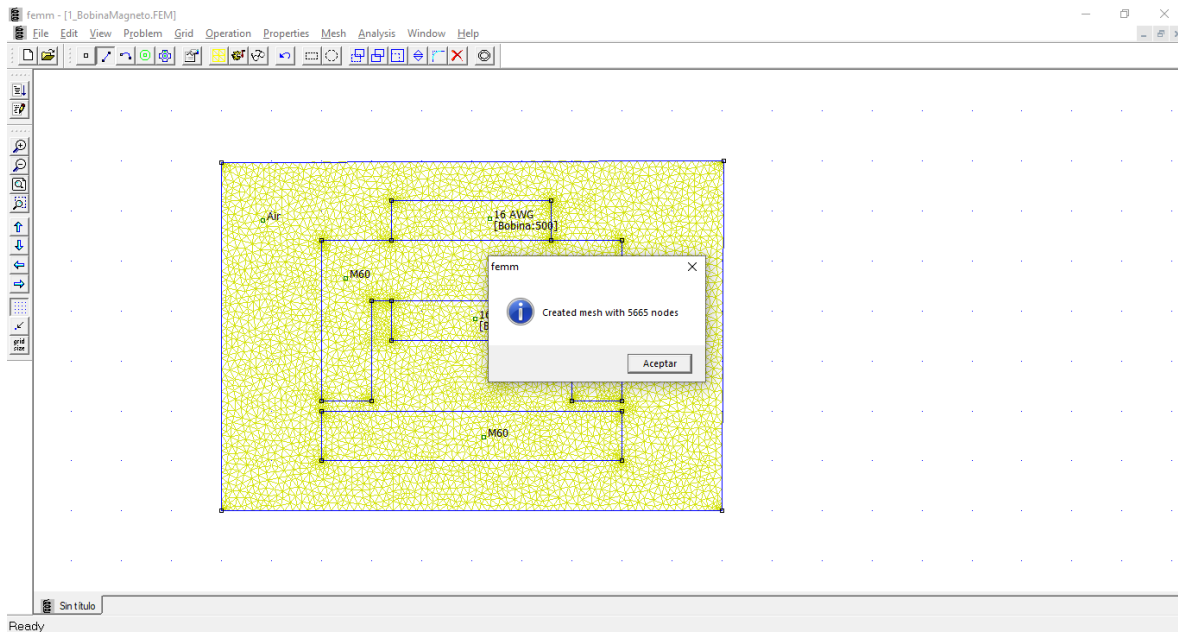
Luego de doy clic a SPACEBAR y selecciono la opción de Contorno.



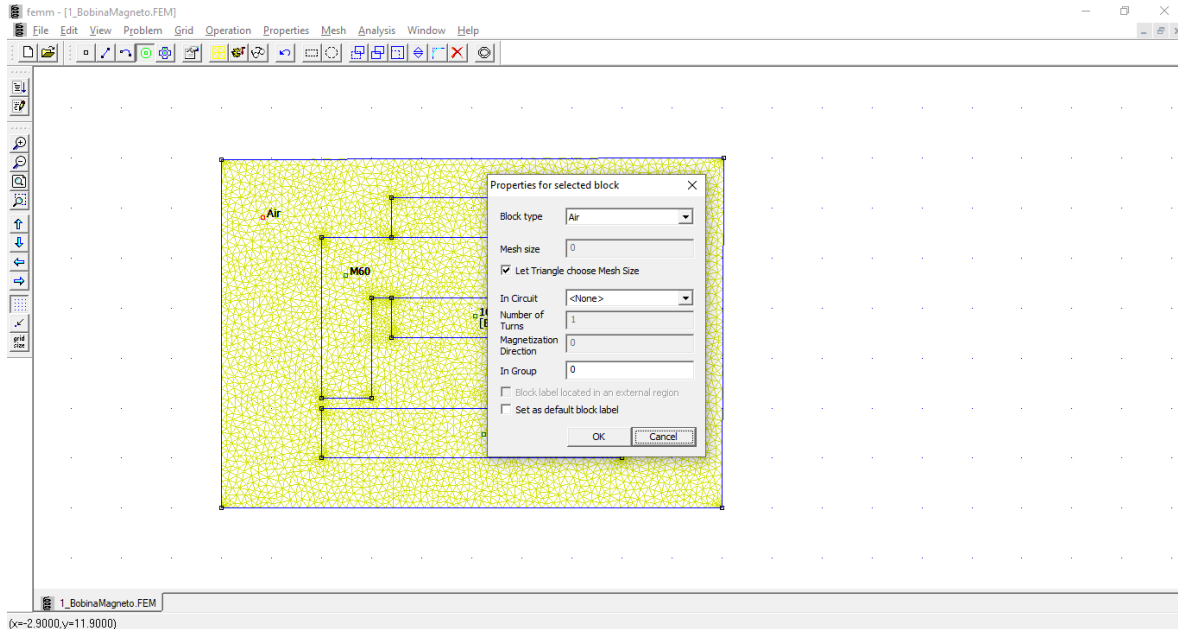


Resultado del análisis del circuito electromagnético

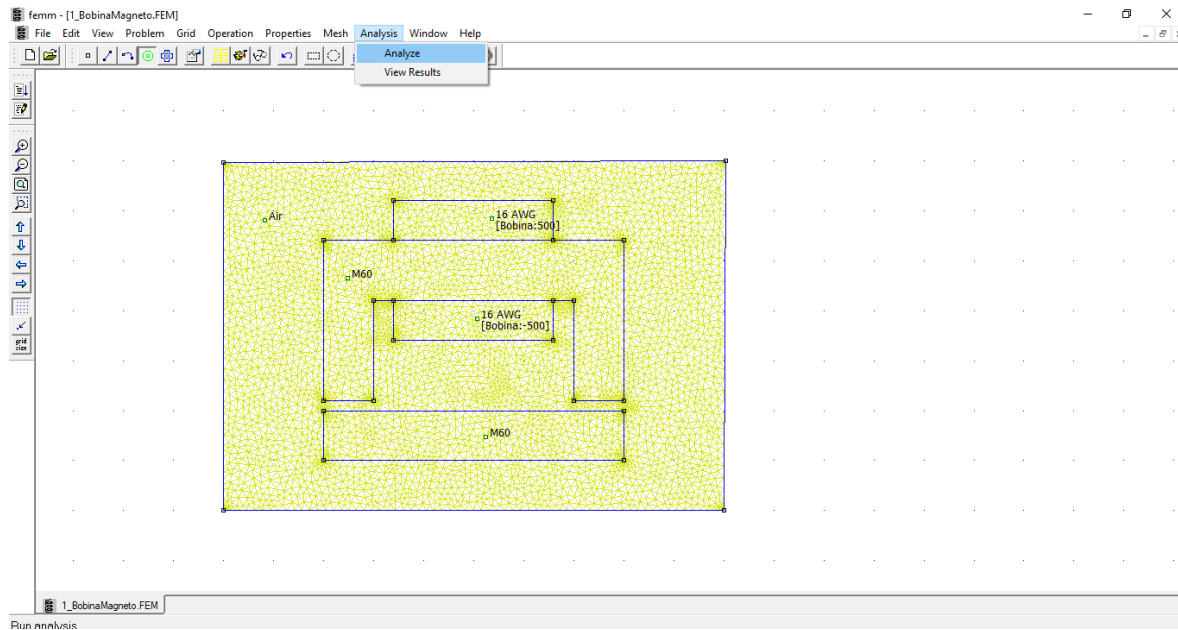
Damos clic en el ícono amarillo y nos da una malla donde se mostrará el resultado del análisis electromagnético.



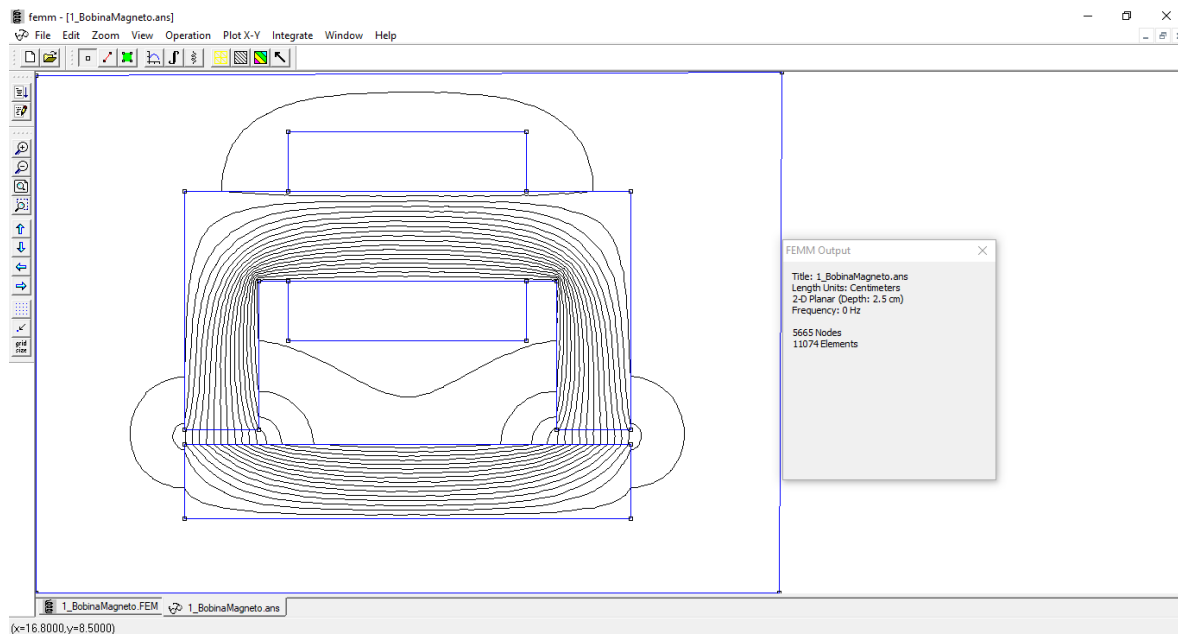
Para obtener un mallado más fino debo quitar este elemento de todos los materiales.



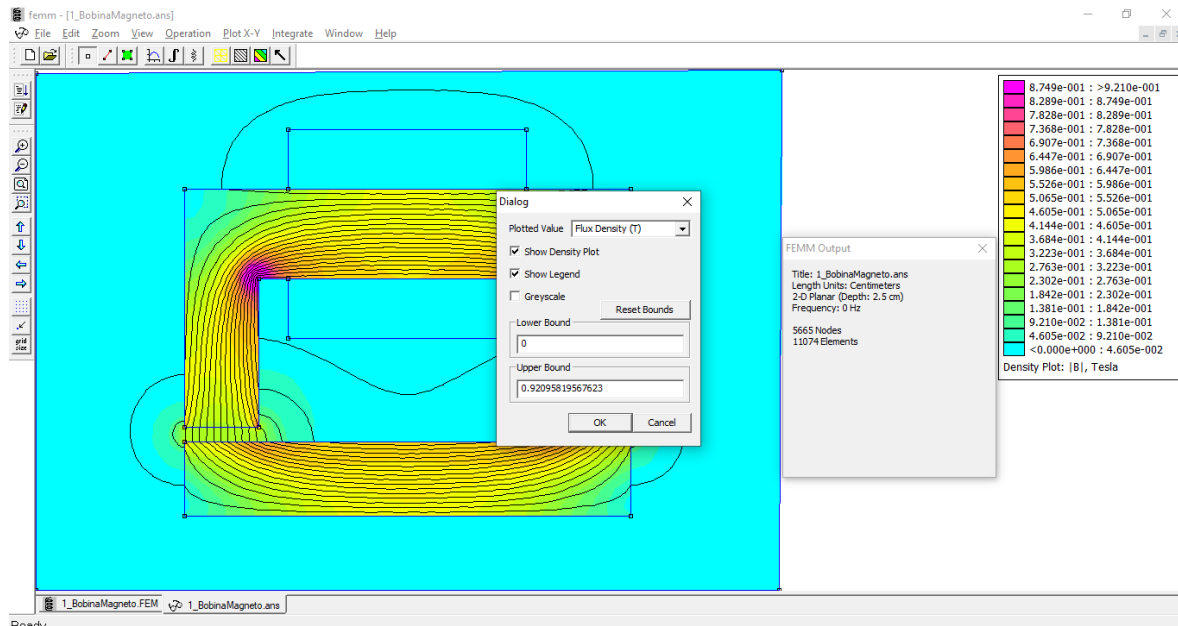
Y luego le damos clic a Analyze.



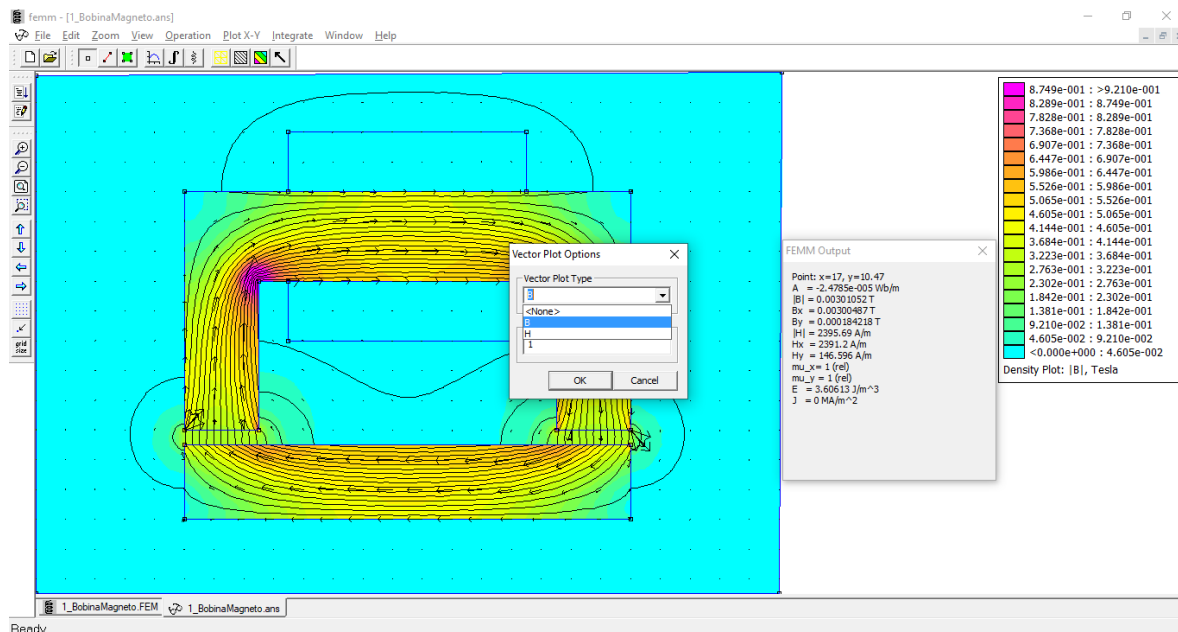
Y luego View Results.

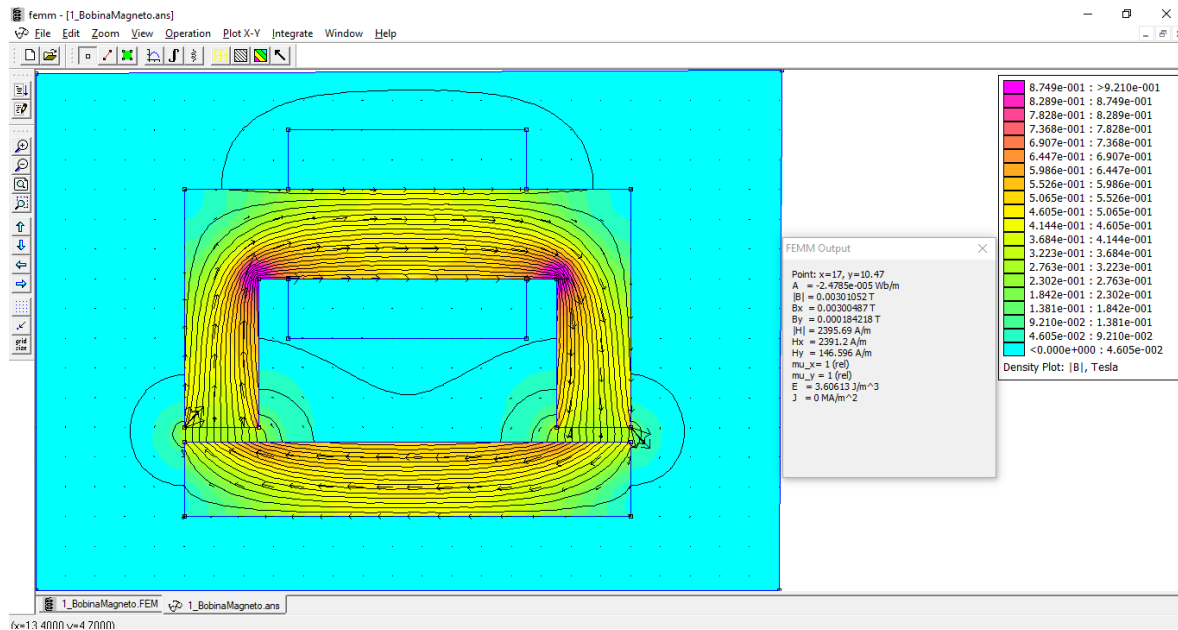


Para verlo con color le doy clic al ícono de colores y selecciono Show Density Plot.

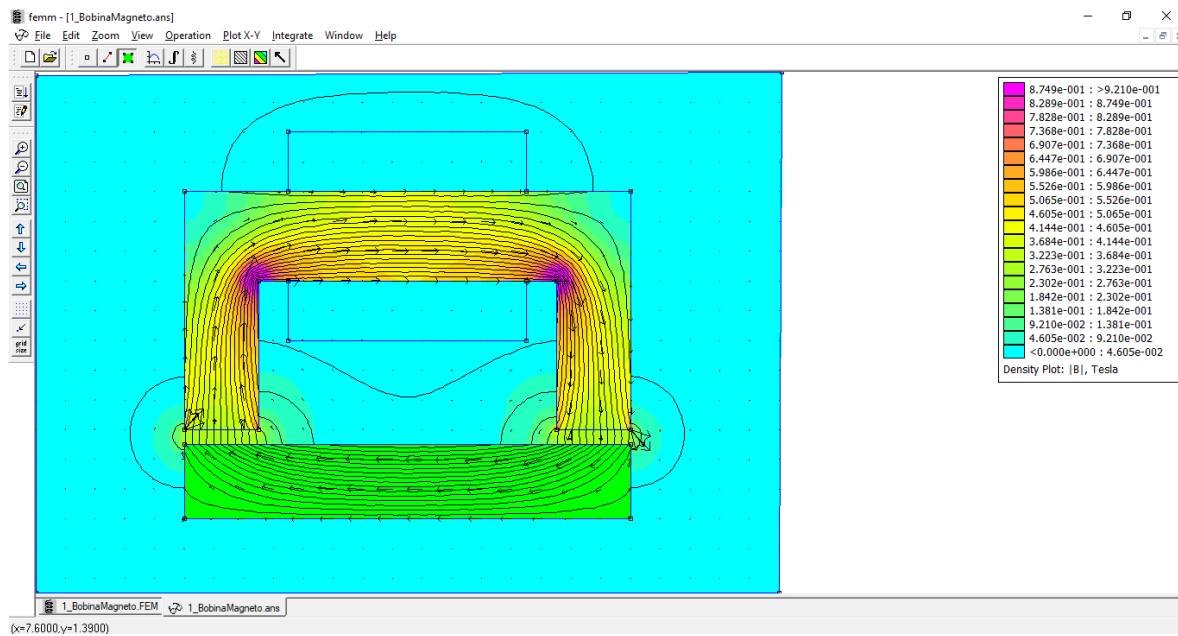


Para ver la dirección del campo le doy clic a la flechita y luego selecciono la B.

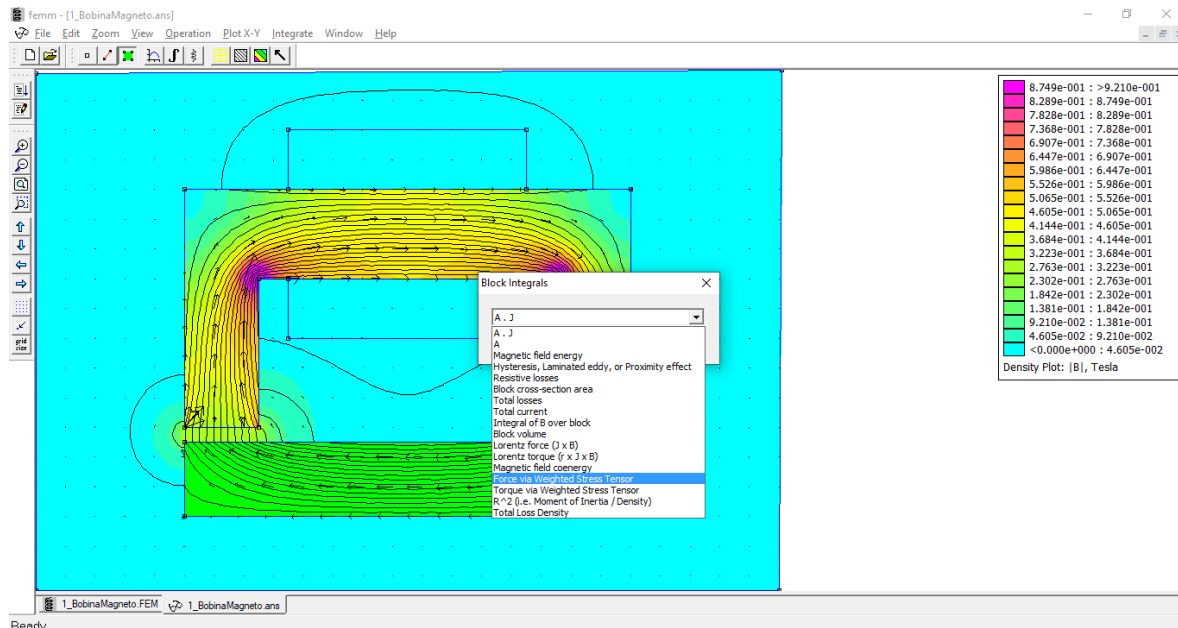




Con el ícono verde nos ponemos en algún elemento.



Seleccionamos la integral y elegimos esta opción.



Y aparece la fuerza de atracción del transformador.

