

## **Práctica 5- Estudio y análisis de la absorción de la radiación electromagnética en tejidos biológicos I.**

### **Objetivos:**

La práctica tiene por objetivo analizar la interacción de las radiaciones con tejidos biológicos. El análisis se realiza mediante simulación utilizando el programa “XFDTD”. Se pretende estudiar y analizar la absorción y comportamiento de la radiación en función de los diferentes tejidos.

### **Contenidos:**

- 1. Introducción al programa “XFDTD”.**
- 2. Radiación electromagnética en medios biológicos: introducción.**
- 3. Concepto de SAR**
- 4. Realización de la práctica.**

### **1. Introducción al programa “XFDTD”.**

Previo a la realización propiamente dicha de la práctica deberéis familiarizaros con el programa que utilizaremos. En concreto trabajaremos con el programa comercial XFDTD de la casa REMCOM. Podéis acceder a través del menú de programas a los manuales completos (“Users Guide” [1] y “Refernce Manual” [2]) del programa.

Para iniciarnos en el funcionamiento y conceptos asociados al programa propiamente dicho, diseñaremos y realizaremos los cálculos con un ejemplo muy

sencillo, una antena bipolar. Esta misma antena será utilizada para radiar los tejidos propuestos en el desarrollo de la práctica.

Al igual que en las prácticas anteriores los ficheros que deberéis utilizar para la realización de la práctica los encontraréis en el directorio asociado a la asignatura. El análisis de esta primera parte lo realizaremos de manera conjunta.

### 1.1 Inicio Programa

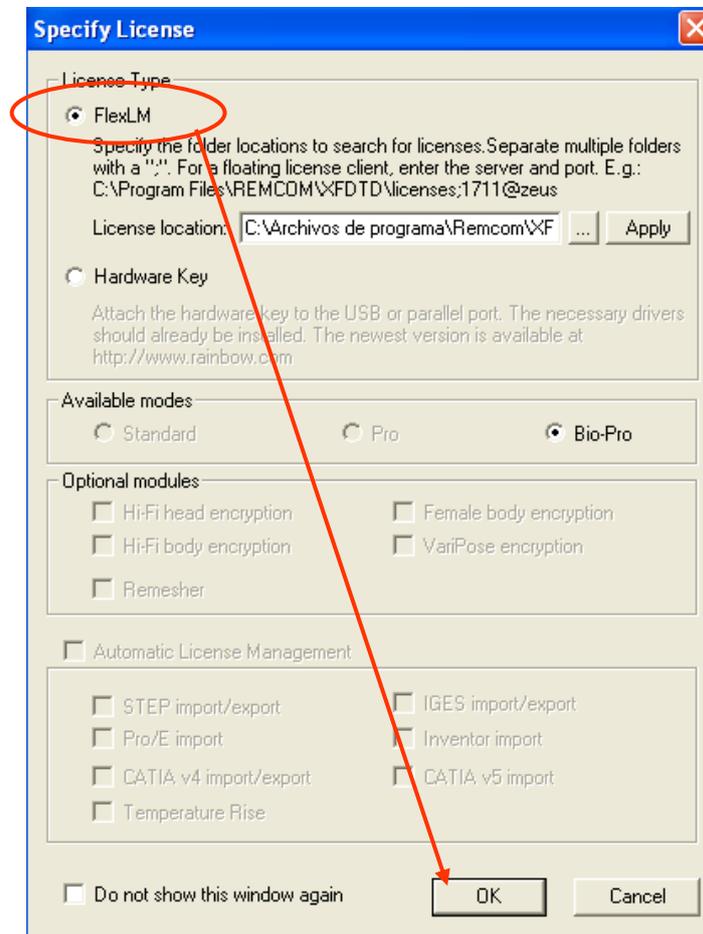
- **Acceso al programa y manuales:**

Programas---Rencom---XFDTD 6.4--- XFDTD

Programas---Rencom--- XFDTD 6.4---Reference Manual/Users Guide

- **Acceso licencias:**

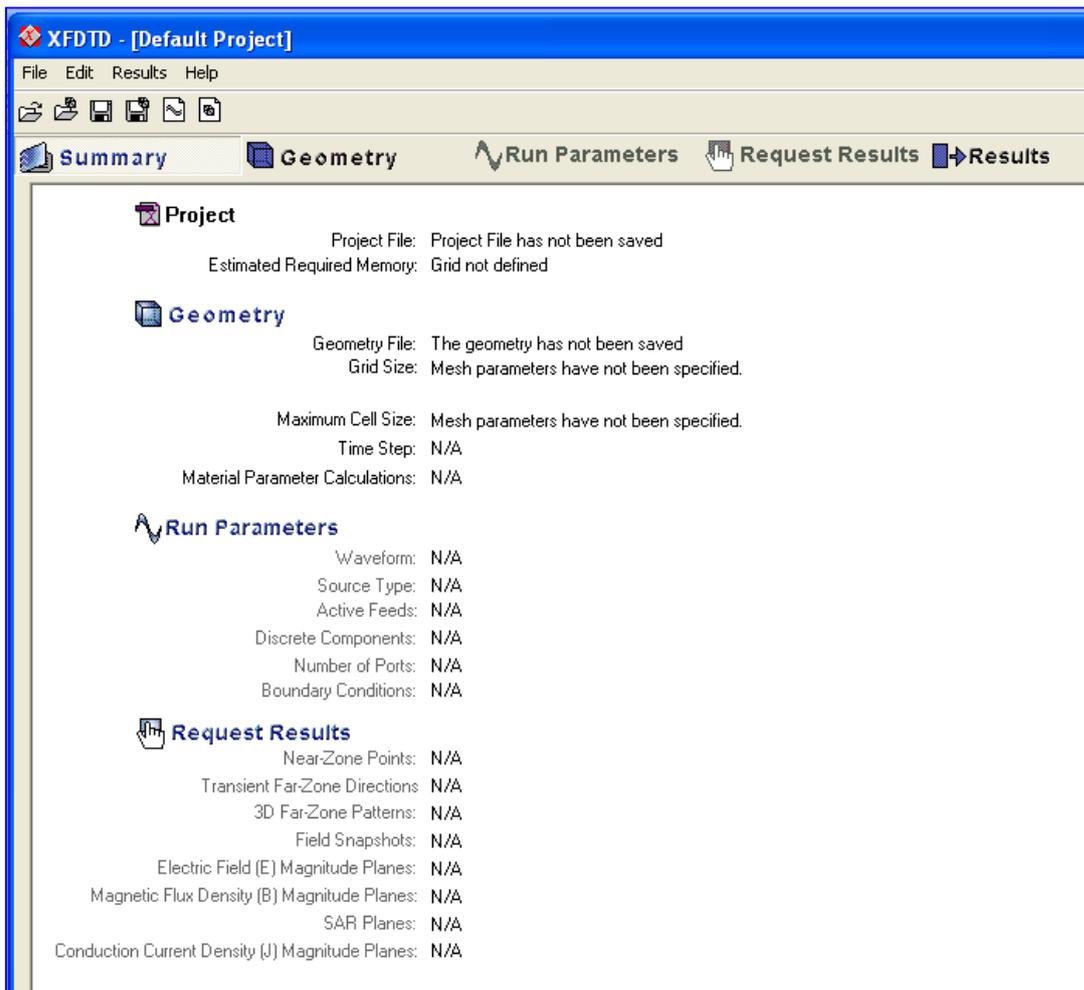
Comprobar FlexLM y OK



## 1.2. Estructura del programa

- **Ventanas:**

La ventana principal (Main) presenta un resumen de las diferentes propiedades/parámetros definidos para el proyecto. En la pantalla aparecen diferentes pestañas donde iremos introduciendo los diferentes parámetros mediante un ejemplo práctico que realizaremos a lo largo de la sesión.



El programa está organizado de manera que para preparar una simulación debemos seguir los siguientes pasos:

- a. Construcción de la geometría.
- b. Definición del mallado.
- c. Definición de los parámetros de cálculo.
- d. Definición de los resultados que queremos.
- e. Cálculo

Cualquier proyecto se estructura siguiendo estos pasos que quedan descritos en la pantalla general del programa

### **a. Construcción de la geometría.**

---

La ventana de creación y visualización de la geometría presenta una visión 3D con diferentes posibles orientaciones de los objetos que se implementan. El sistema de coordenadas está definido y es recomendable tenerlo presente para controlar dimensiones y posicionamiento de diferentes objetos, así como la colocación de puntos de excitación (“ports”), etc.

### **b. Definición del mallado**

---

Una vez definida la geometría pasaremos a discretizar el espacio mediante celdas, es decir, pasaremos a crear los parámetros del mallado (mesh). Este punto es crítico ya que nos condiciona las frecuencias de trabajo y el tiempo de cálculo. Tendremos que elegir un mallado adecuado para poder realizar nuestras simulaciones sin que esto suponga un tiempo de cálculo muy prolongado, teniendo en cuenta los objetivos que se marcarán.

Hay diferentes factores que debemos considerar cuando diseñamos el mallado (mesh) y cada una de las celdas asociadas (cells):

(1) *Longitud de onda ( Wavelength):*

La celda no puede ser mayor que 1/10 la longitud de onda más pequeña utilizada para realizar la excitación del modelo. En general:

$$L_{\max} = \frac{c}{10 * f}$$

Where  $L_{\max}$  is the maximum cell dimension

$c$  is the speed of light,  $3 \times 10^8$  m/s in free space

$f$  is the frequency of excitation (Hz)

Si se utilizan materiales que no sean buenos conductores la velocidad de propagación se reducirá y por lo tanto la longitud de la celda también deberá reducirse en consonancia.

(2) *Resolución:*

La celda no puede ser más grande que las dimensiones del objeto o parte del objeto más pequeño. Si no fuera este el caso, no tendríamos resolución para modelizarlo y analizarlo.

(3) *Memoria:*

Celdas más pequeñas proporcionan resultados más precisos, pero debemos vigilar la memoria y el tiempo de cálculo que implican.

**c. Definición de los parámetros de cálculo.**

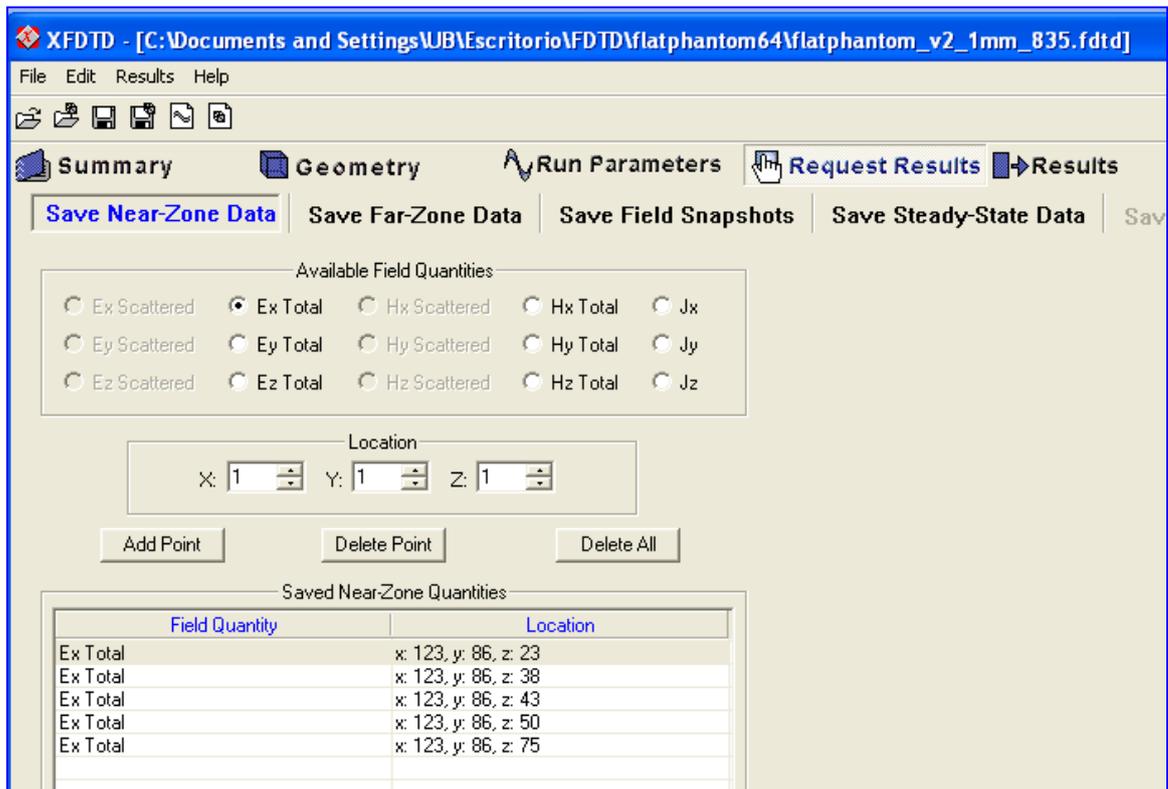
---

Una vez la geometría y el mallado están definidos, hay que introducir el tipo y características de la excitación que se quiere realizar: tipo de fuente, características de la onda, colocación del punto de excitación o “port”, condiciones de contorno del espacio de simulación. Estos parámetros se introducen dentro de las ventanas asociadas al módulo de “Run Parameters”.

#### d. Definición de los resultados que queremos.

---

El último paso previo a la realización del cálculo es la especificación de los resultados que queremos generar. Existen diferentes opciones que exploraremos al realizar la práctica.



#### e. Cálculos

---

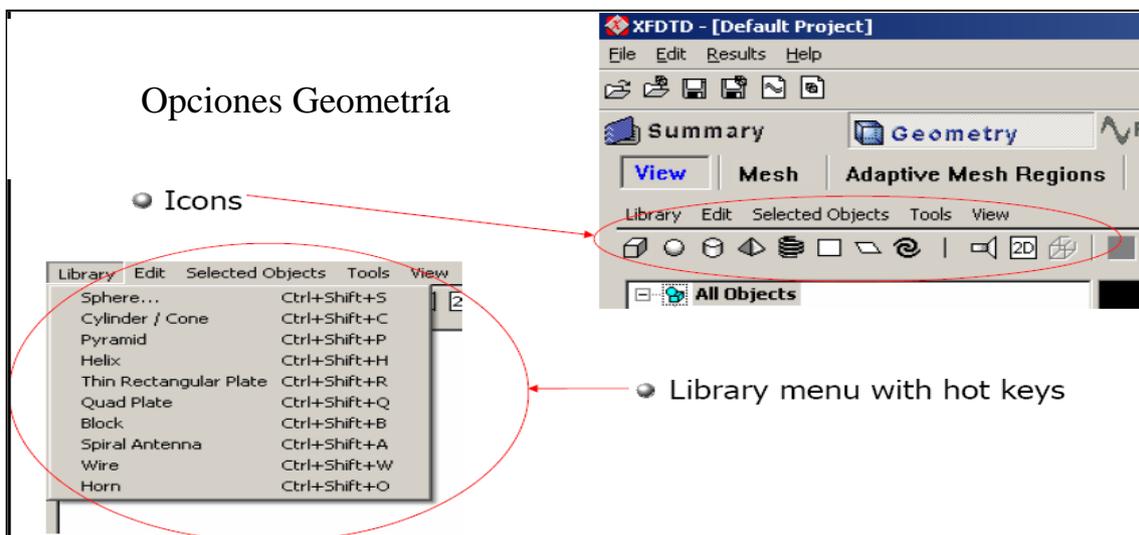
Después de realizar los pasos anteriores debe salvarse el fichero de geometría y el proyecto. Alcanzado este punto debemos ir a Results---Run Calculation---Calculate. Una vez finalizados los cálculos los ficheros los encontraremos accediendo a la pestaña de resultados (Results) y también a través de las opciones asociadas a la ventana de geometría (Geometry>View tab).

### 1.3. Ejemplo: Antena bipolar

Para aprender el funcionamiento del programa y familiarizarnos con él, desarrollaremos un ejemplo concreto asociado a una antena que en la práctica utilizaremos para radiar los tejidos a estudiar en la realización de la práctica propuesta. En concreto diseñaremos y configuraremos una antena de tipo bipolar.

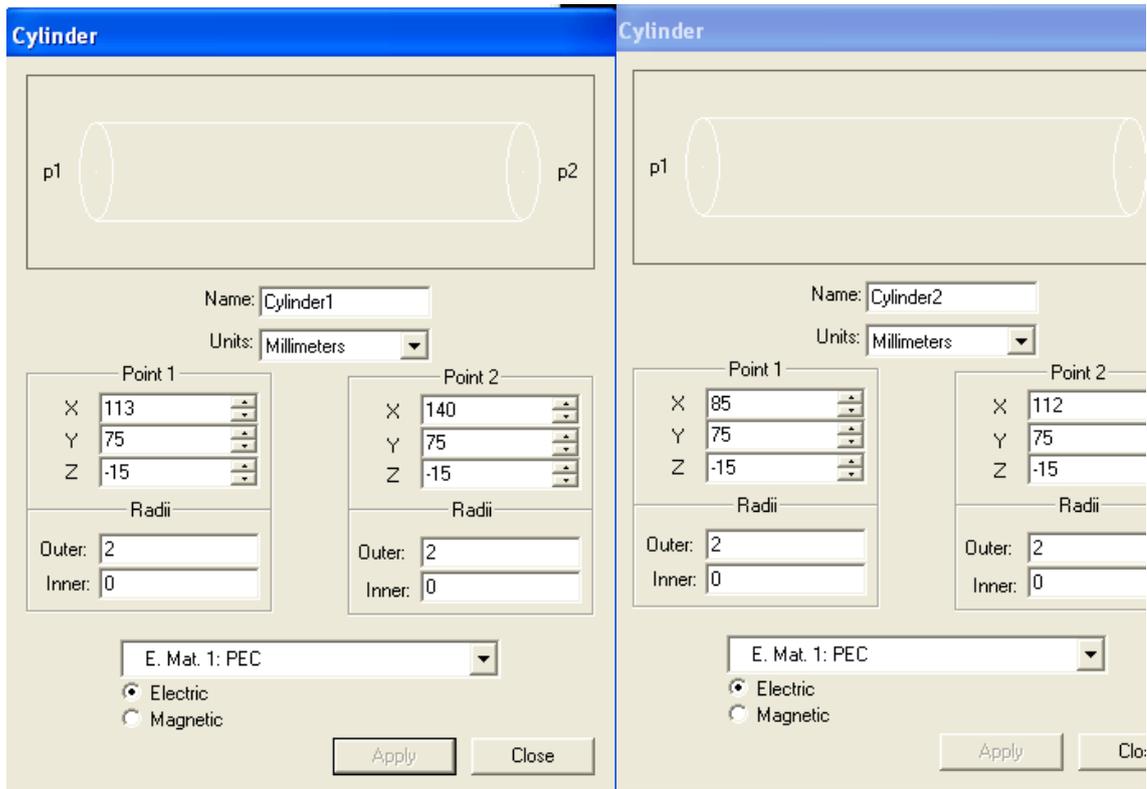
#### DEFINICIÓN DE LA GEOMETRÍA

Nos dirigiremos a la ventana de geometría y a la pestaña “View” y exploraremos las diferentes opciones.



Veremos que podemos generar la antena mediante dos cilindros y colocando el punto de excitación (“port”) entre los dos. Es importante tener controlado el sistema de referencia, es decir, los ejes de coordenadas. Veréis que los objetos los introduciremos indicando las coordenadas geométricas de los mismos.

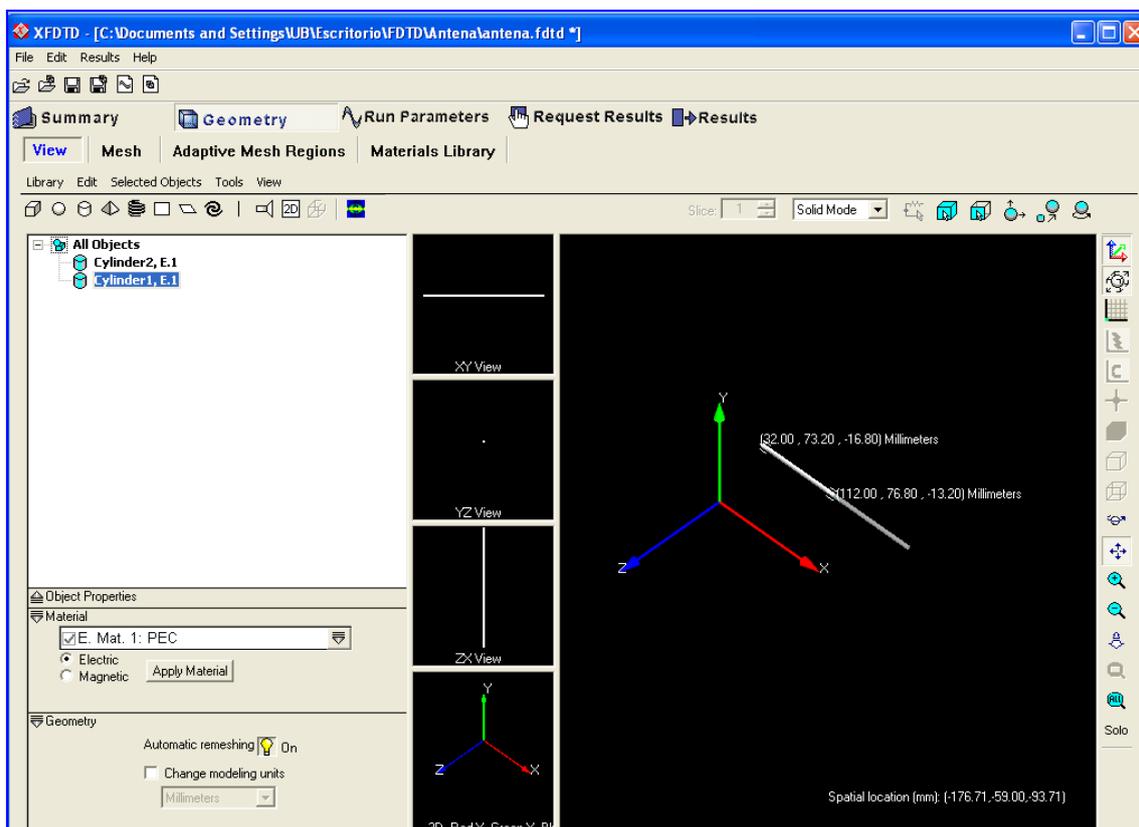
Se os propone introducir dos cilindros con los siguientes parámetros asociados:



Como podéis ver se trata de dos cilindros macizos, situados a lo largo del eje x. Las coordenadas x,y,z están escogidas pensando en la introducción posterior de un tejido en el entorno, para que la antena quede centrada respecto del tejido.

En la parte inferior de la ventana realizamos la selección del material, en este caso elegiremos un conductor perfecto (PEC, “Perfect Electrical Conductor”). Este material ya está en la base de datos del programa. Podemos introducir materiales nuevos especificando los parámetros electromagnéticos correspondientes.

Una vez introducidos los cilindros, deberíamos visualizar un esquema como el que se muestra a continuación en la ventana de geometría. Podéis utilizar las herramientas que hay en la columna de la derecha para ampliar, reducir, desplazar, girar, etc.

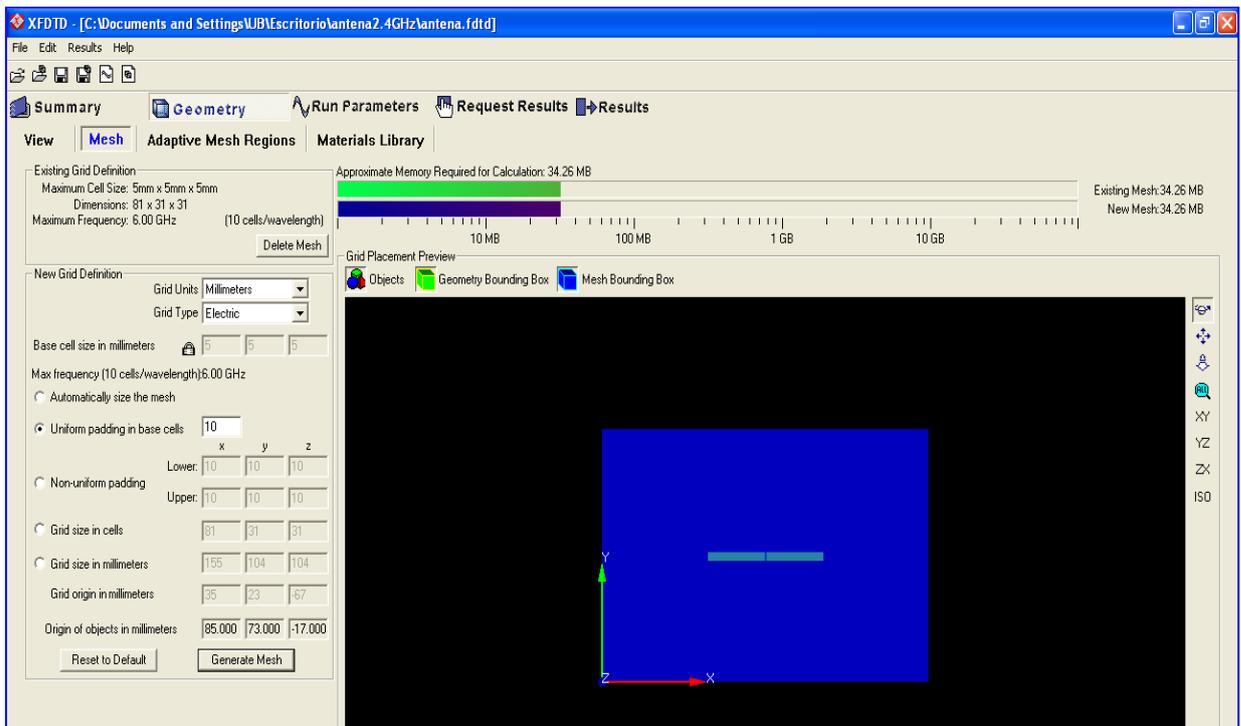


Cabe señalar que la elección de la longitud de los cilindros obedece a una razón concreta. La longitud nos define la eficiencia de la antena en función de la frecuencia a la que queremos trabajar. En el desarrollo de la práctica intentaremos evaluar los efectos asociados a frecuencias del orden de 2.4 GHz, que es una frecuencia compartida por diferentes estándares de comunicaciones (WiFi, Bluetooth, ZigBee, telefonía). Para tener la máxima eficiencia de esta antena el brazo debería ser del orden de  $\lambda/4$ ., por lo tanto fijaros que 27cm nos permitiría tener una buena eficiencia para frecuencias del orden del 2 GHz.

## DEFINICIÓN DEL MALLADO

Dentro de la ventana de geometría encontraremos la opción de “Mesh”. Accediendo a ella se activará una ventana como la que se muestra a continuación. En ella aparecen los parámetros asociados a la definición de las celdas. La propuesta es hacer un ejemplo con resolución media, ya que en caso contrario el tiempo asociado a los cálculos sería muy elevado. Escogeremos un mallado de 5mm en las tres direcciones. Observemos que con esta definición podríamos llegar a trabajar hasta aproximadamente 6 GHz en

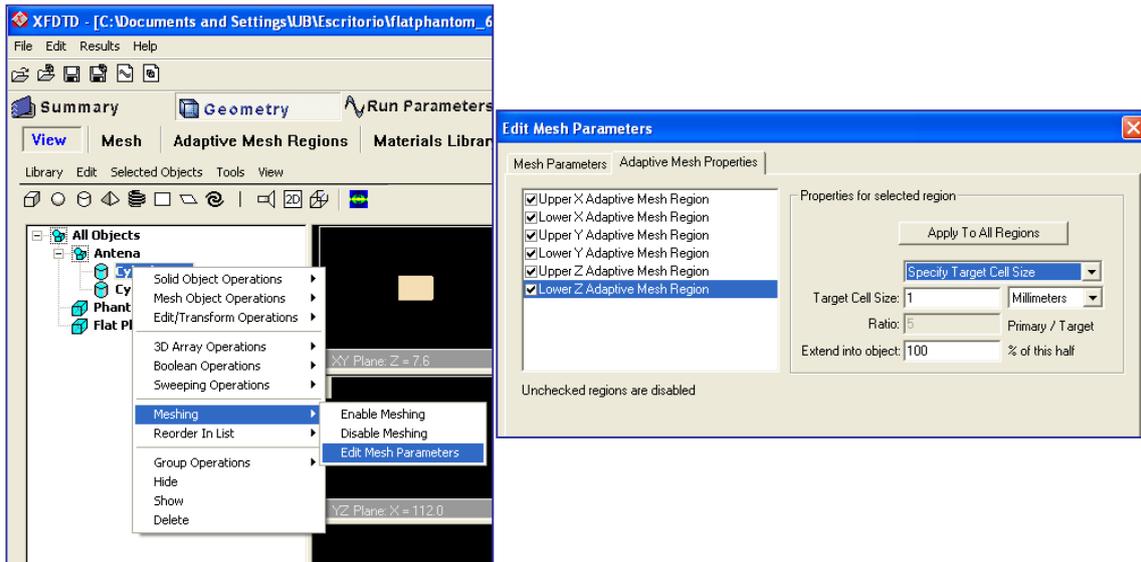
frecuencia. Observamos también en barras horizontales en la parte superior la memoria que se requiere para realizar el cálculo.



Deberemos definir también que zona de estudio queremos considerar, esta será la zona donde se realizarán los cálculos. Una vez definidos los parámetros generamos el mallado.

Para visualizarlo debemos volver a la ventana de visualización “View” y activar el modo “mesh”. Intercambiando modo “mesh” y “solid mode” podremos visualizar la geometría y el mallado correspondiente. Es importante guardar la geometría y el proyecto completo. Para familiarizarnos con la visión del mallado es bueno en este punto que miremos las diferentes vistas, capas, etc.

Nos daremos cuenta al observar los resultados que el mallado definido es demasiado grande teniendo en cuenta el tamaño de la antena. Debemos introducir el concepto de mallado adaptativo, definiremos diferentes zonas con diferentes mallados. En concreto la zona de la antena la definiremos con un mallado de 1mm.

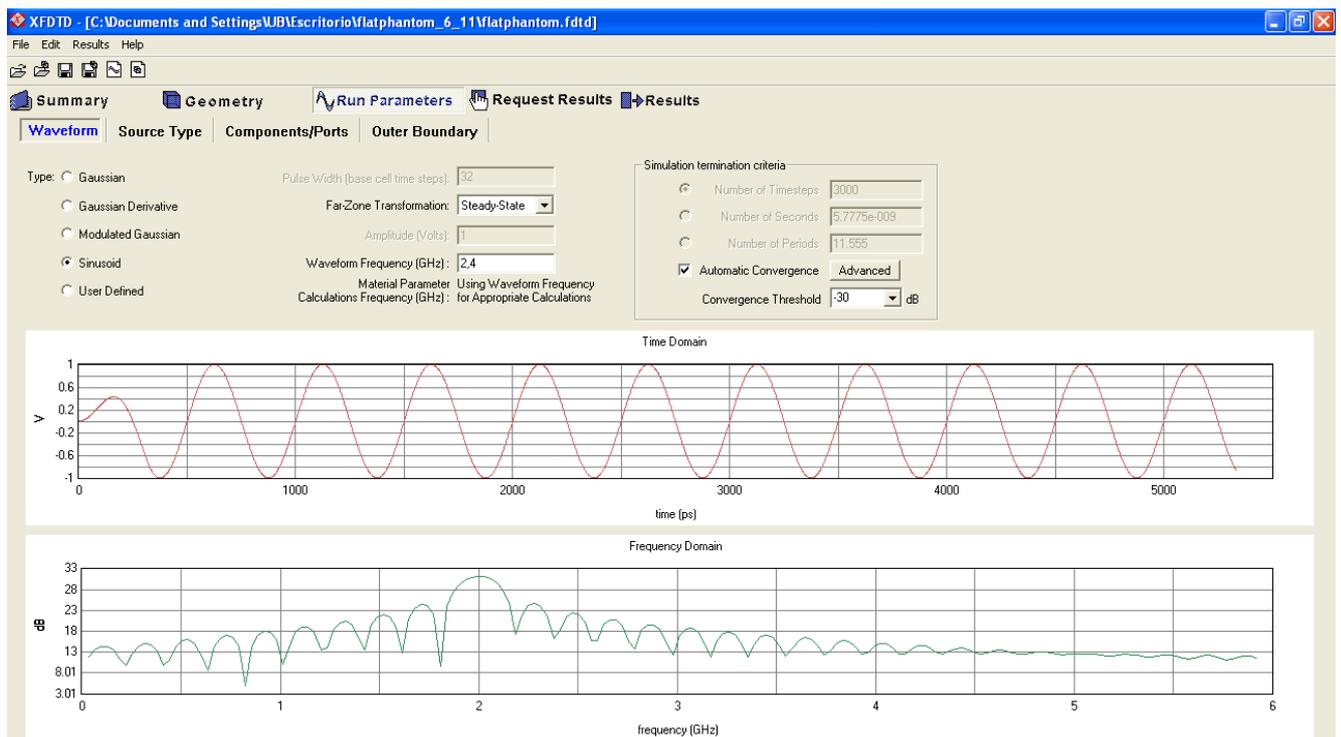


Visualizaremos de nuevo el mallado y comprobaremos que sea el correcto.

## PARÁMETROS DE CÁLCULO

El siguiente paso es definir los parámetros para realizar los cálculos, para ello accederemos a la pantalla de “Run Parameters”.

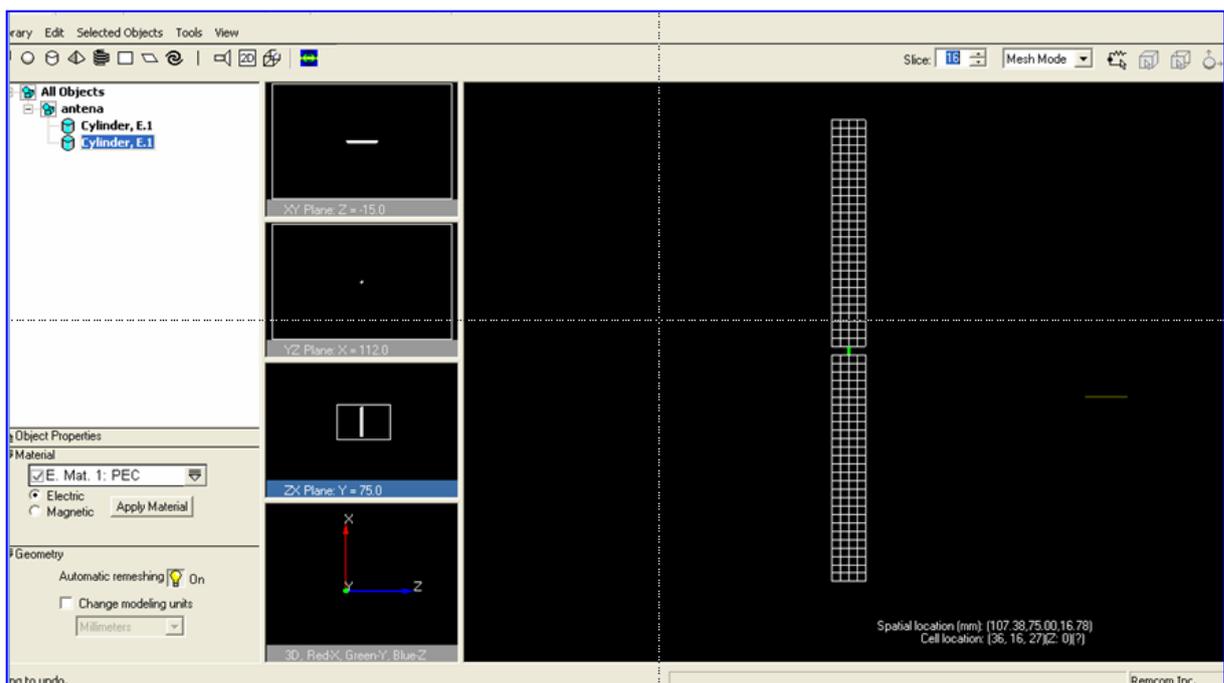
En primer lugar definiremos el tipo de onda que realizará la excitación. Elegiremos una sinusoide con una frecuencia de 2.4 GHz que se corresponde con una banda ISM (“Industrial, Scientific and Medical”) de validez mundial. Esta banda, al



igual que las otras bandas ISM existentes, se utiliza para múltiples aplicaciones en el ámbito industrial, en investigación científica y en aplicaciones médicas. Ésta de 2.4 GHz en concreto es utilizada, como ya hemos mencionado previamente, por diferentes estándares de comunicaciones ampliamente extendidos. De aquí su interés en esta práctica.

La fuente “Source Type” la definiremos como discreta y definiremos las características y punto de la excitación “Port”. La introducción del port de manera más sencilla consiste en ir a la pantalla de View seleccionar la visualización tipo “mesh” y mirar donde debemos colocarlo. Una vez decidido, con el botón derecho del ratón desdoblemos el menú y vamos a la opción de edit port. Automáticamente se nos activará la ventana y podremos visualizar la localización y parámetros por defecto. Si estamos de acuerdo con ellos deberíamos añadir el port y nos aparecerá en la parte inferior de la ventana, al volver a la geometría también lo podremos ver en color verde.

En nuestro caso los parámetros más adecuados se muestran en la siguiente imagen, así como una visión de la geometría discretizada y la situación del port. Es importante en este punto, que comprobéis que habéis situado el punto de excitación en el plano y direcciones correctos.



**XFDTD** - [C:\Documents and Settings\WJB\Escritorio\proves\_flat\flatphantom.fdttd]

File Edit Results Help

Summary Geometry Run Parameters Request Results Results

Waveform Source Type **Components/Ports** Outer Boundary

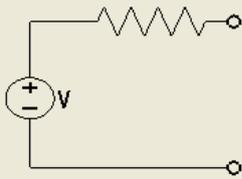
Feed Specifications

X-Directed

x: 51  
y: 39  
z: 20

Port

Series Voltage: [Dropdown]  
+ Polarity: [Dropdown]  
Parallel Load: [Dropdown]



Amplitude: 1 (Volts)  
Phase: 0 (Degrees)  
Resistance: 50.000000 (ohms)  
Capacitance: none pF (e -12)  
Inductance: none nH (e -9)

Non-Linear Properties: Edit Properties

Switch at: 60 timesteps  
Transition Duration: 60 timesteps

S-Parameter/VSWR Calculation: Off Specify Active Feed: 0

Static Voltages:  Enable Solver Voltage Points

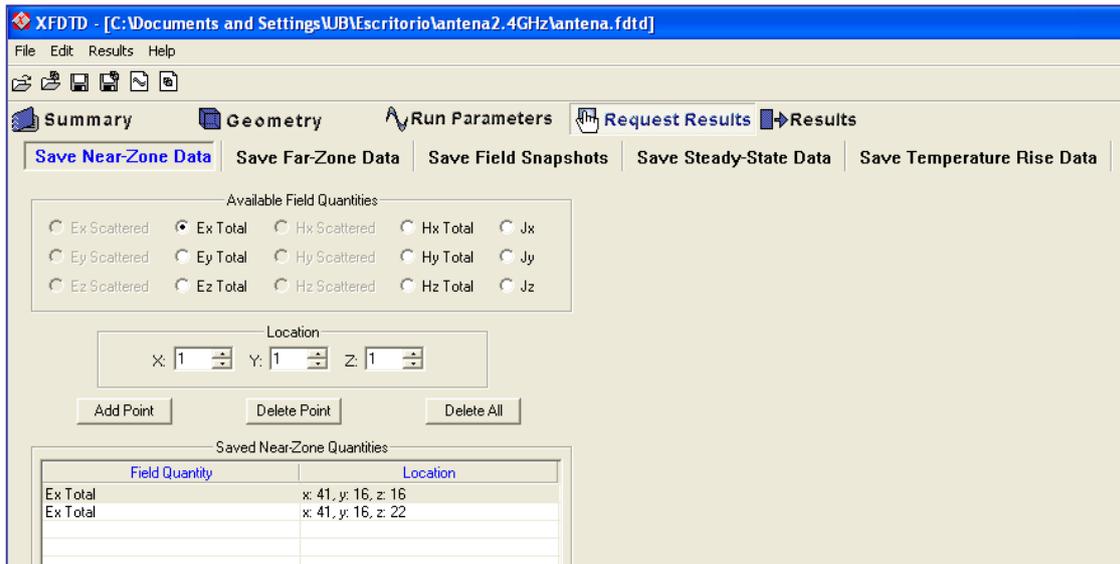
Update Component Add Component Delete Component Delete All Components

#	Port	Type	(Amp/Phase)	Dir.(X,Y,Z)	Load/Switch Type	(R,L,C) or Switch Params (Time step,Duration)
1	Y	Voltage	(1.00/0.00)	X,(51,39,16)	N/A	(5.00e+001,N,N)

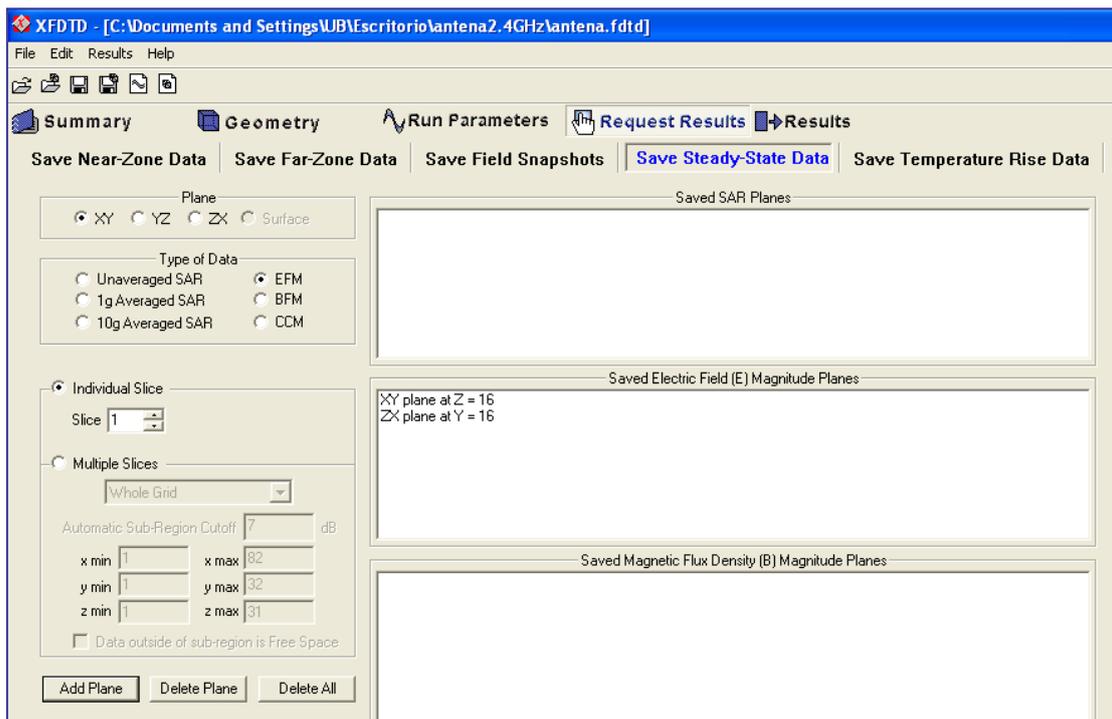
## DEFINICIÓN DE LOS RESULTADOS

El último paso previo a la realización de los cálculos, es la definición de los resultamos que queremos obtener. En nuestro caso y para ilustrar las diferentes opciones requeriremos:

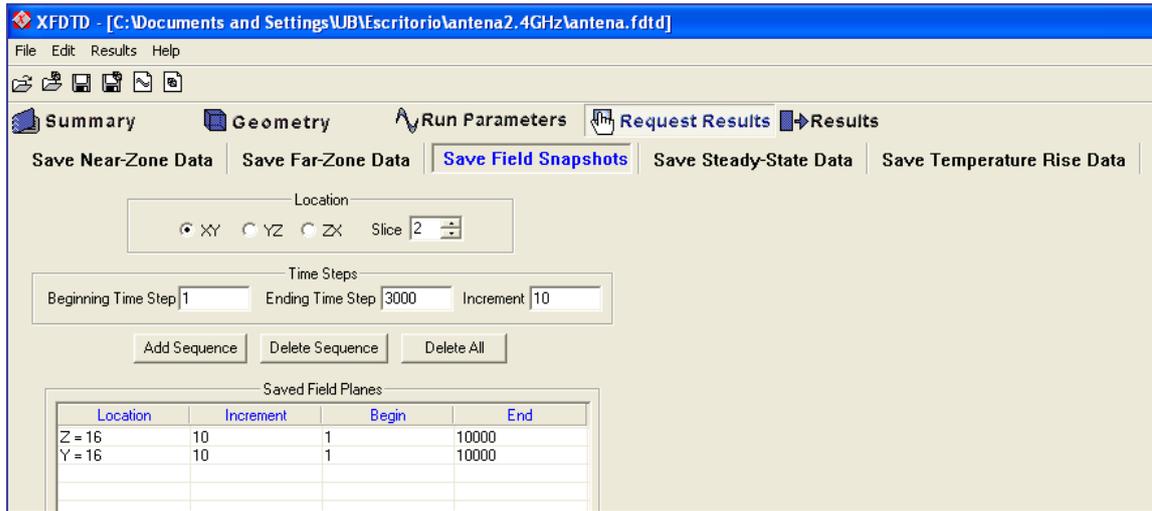
-Valores del campo eléctrico en un punto determinado (“Save Near-Zone Data”):



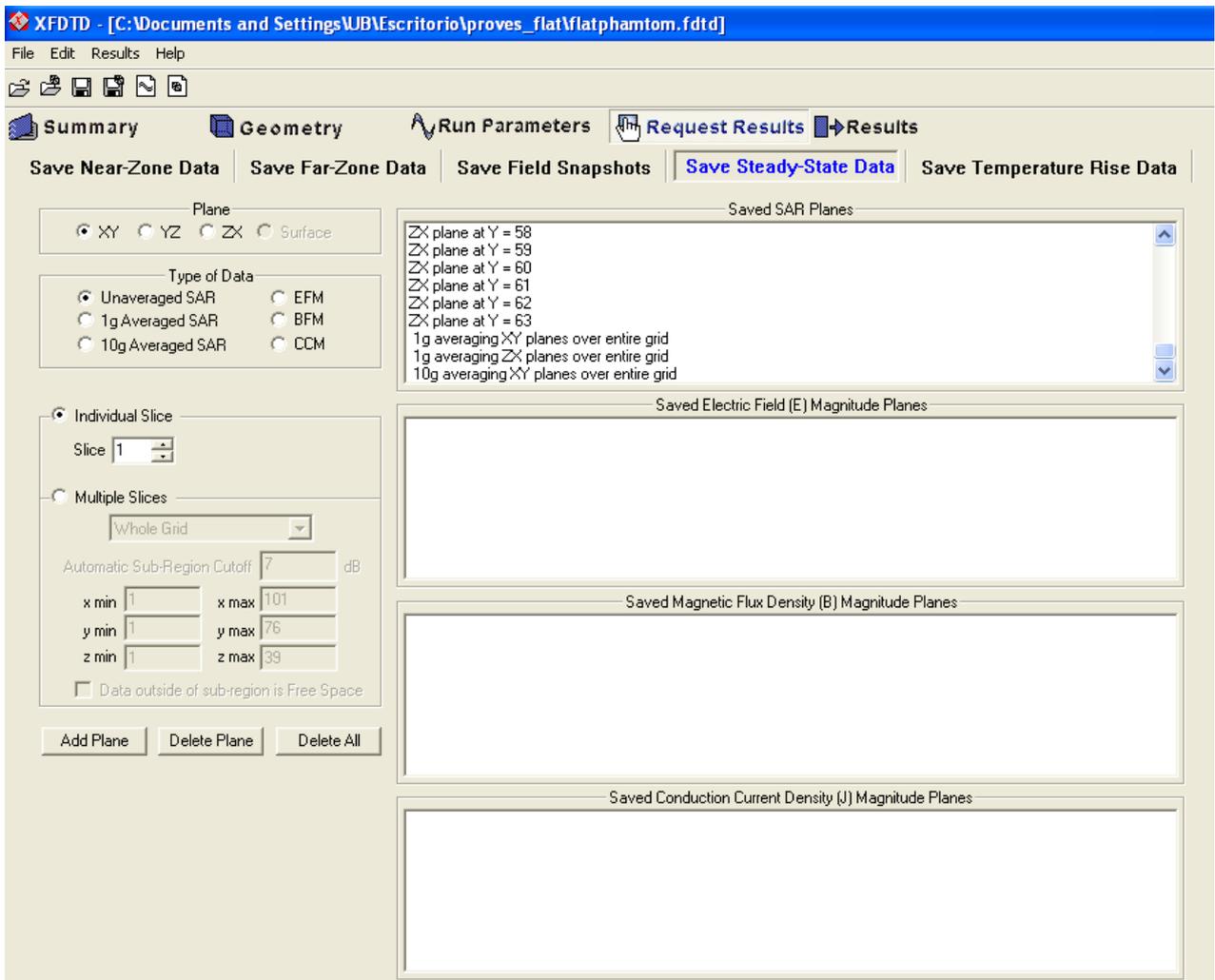
- Valores del campo eléctrico en planos de interés (“Save Steady-State Data”).



- Películas asociadas a la propagación del campo (“Save Field Snapshots”).



Una vez definidos ya podremos dirigirnos a la ventana de “Results” y realizar nuestra simulación. Cuando realicemos el estudio asociado a tejidos deberemos además requerir los resultados referentes al cálculo del SAR. Dichos resultados se definen en la ventana de “Save Steady-State Data” tal y como se muestra en el siguiente esquema.



## CÁLCULO

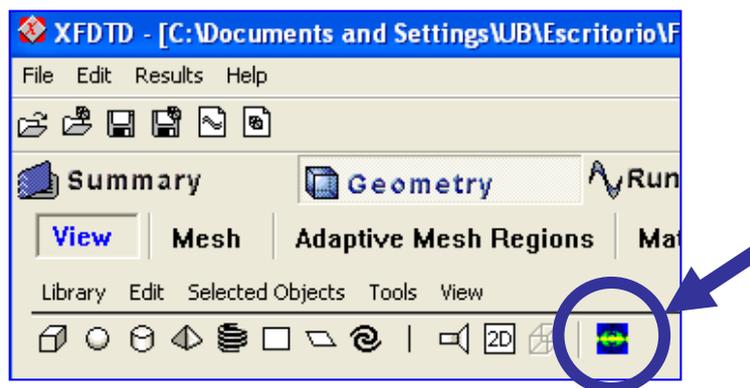
---

Una vez definidos los resultados que queremos guardar, procederemos a realizar el cálculo propiamente dicho. Accederemos a “Results”, “Run calculation” y finalmente activaremos la pestaña de “Calculate”.

## VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS

---

Para visualizar los resultados deberemos acceder a la pestaña de plots. Allí accederemos a dibujar los valores obtenidos para el campo en un punto determinado. Para visualizar los valores en un plano, así como las películas hay que activar en la ventana de geometría el icono de visualización de campos:



Una vez activado, nos aparecerá una pantalla de control que nos permitirá elegir el resultado requerido, así como visualizarlo apropiadamente.

Documents and Settings\UBV\escritorio\proves\_flat\flatphantom.fdttd]

Help

**Field Control Panel**

Unload all fields | Import Field Files | Refresh Field List | Options

- 10g Averaged SAR fields
- 10g Averaged SAR Sequences
- Temperature Rise Fields
- Temperature Rise Sequences
- Imported Fields
- Loaded Fields**
  - 1G Averaged SAR: xy Plane at Z=23**

Field Sequence Controls: Active Field

**Set Full Scale Values**

Field Type: SAR(w/kg) | Max. Value\*: 4.1201e+001 | Full Scale: 4.1201e+001 | Reset

\*From SAR Calculation

Input Power: Calculated: 1.8442e-003 | Scaled: 2.0000e+000 | Reset

OK | Cancel

FarZone: Center of Space | Center on Feed: #1 | Center on Location: mm | FarZone Size: %

Display Phi / Theta Axis | Display Main Lobe Direction

Selected Field Filename: C:\...\proves\_flat\flatphantom.xy23.1gsar.gz

Automatic remeshing  On

Change modeling units: Millimeters

3D: Red-X, Green-Y, Blue-Z

**Results** → Results

Slice: 1 | Solid Mode

(150.00 , 100.00 , -8.00) Millimeters

(75.00 , 50.00 , -10.00) Millimeters

100% = 4.120e+001 W/kg Mag SAR Displayed

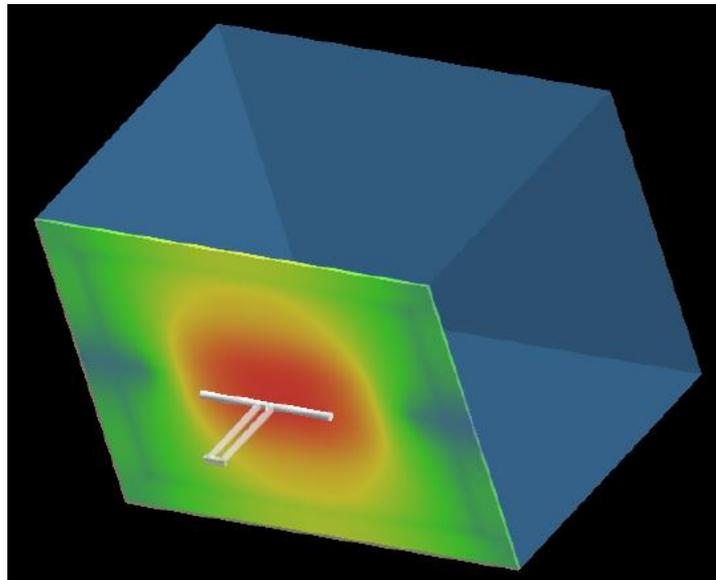
Spatial location (mm): (506.52,57.63,

## 2. Propagación de la radiación electromagnética en medios biológicos.

La proliferación de las comunicaciones inalámbricas, particularmente la utilización generalizada de telefonía móvil, ha suscitado un enorme interés sobre los posibles efectos biológicos de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes.

Los efectos térmicos ligados a la absorción de estas radiaciones están plenamente demostrados. Se han desarrollado diversas técnicas de análisis y se han establecido patrones dosimétricos basados en la tasa de absorción específica (SAR) por diferentes agencias reguladoras.

Las herramientas fundamentales para el estudio y modelización de los efectos térmicos, están basadas en la utilización de la técnica de simulación usando el método de las diferencias finitas en el dominio temporal, FDTD. Para el desarrollo de la práctica utilizaremos un simulador que nos permitirá abordar adecuadamente este tipo de análisis.



En la actualidad se están realizando muchos estudios electromagnéticos asociados a modelos físicos del cuerpo humano. Definiendo las características eléctricas de los diferentes tejidos se construyen modelos de gran precisión. Los modelos de cabeza, orejas, manos, etc. son utilizados para cuantificar los posibles efectos asociados a las

radiaciones electromagnéticas. También se realizan estudios de conjunto, si bien estos últimos requieren una potencia de cálculo y unos recursos de memoria considerables.

La técnica por si misma no nos introduce limitaciones físicas de utilización, no obstante los requerimientos a nivel informático que el simulador introduce deben tenerse en cuenta. Las necesidades computacionales son en muchas ocasiones un “handicap” para abordar este tipo de estudios. En nuestro caso y debido al tiempo limitado que disponemos para realizar la práctica deberemos abordar ejemplos muy sencillos. En concreto realizaremos el estudio sobre lo que se denomina el “flat phantom”, una estructura que intenta reproducir un volumen de tejido finito.

### 3. Concepto de SAR

La unidad que se utiliza más comúnmente para determinar la interacción de la radiación electromagnética con los tejidos biológicos es el SAR. Las siglas SAR representan el acrónimo asociado en inglés a “Specific Absorption Rate”. Conceptualmente el SAR es una medida de la tasa de absorción de la radiación. Esta absorción se mide realizando un promedio en volumen de tejido. El cálculo se realiza para un gramo cuando nos referimos a tejidos y diez gramos cuando se estudian extremidades.

Matemáticamente el SAR se define como:

$$\text{SAR} = \frac{\sigma_x |E_x|^2}{2\rho_x} + \frac{\sigma_y |E_y|^2}{2\rho_y} + \frac{\sigma_z |E_z|^2}{2\rho_z}$$

where

- SAR = Specific Absorption Rate (Watts/kg)
- $\sigma_{x,y,z}$  = electrical conductivity (Siemens/m)
- $|E_{x,y,z}|$  = Magnitude of the Electric Field (Volts/m)
- $\rho_{x,y,z}$  = Material Density (kg/m<sup>3</sup>)

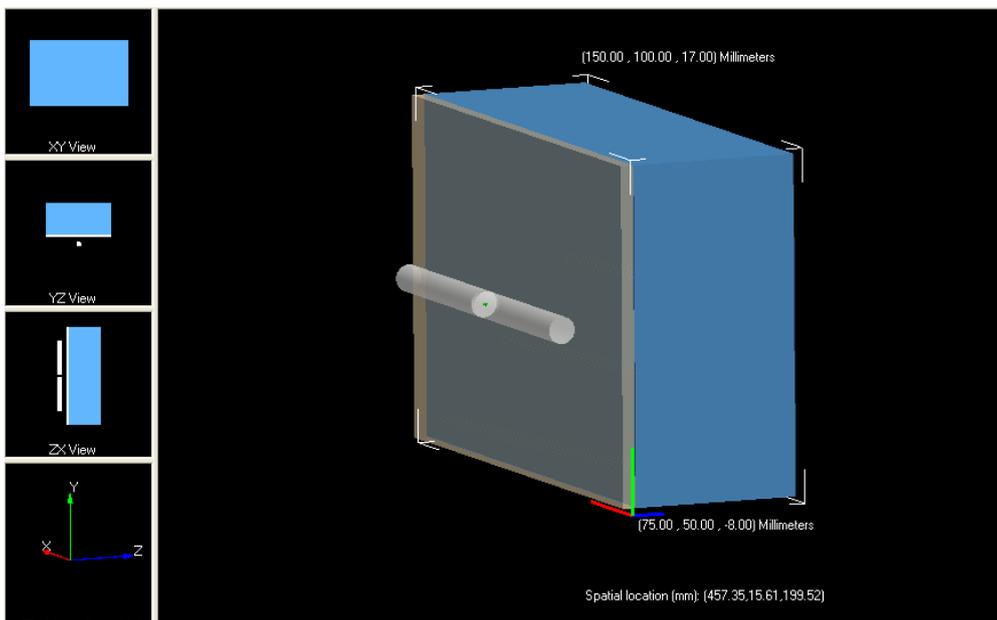
Además del cálculo asociado a la tasa de absorción, también es interesante calcular el incremento de temperatura que se produce en el tejido.

## 4. Realización de la práctica

### 4.1 Análisis de la propagación de la radiación

Las pautas a seguir para la realización de la práctica son las siguientes:

- Una vez diseñada la antena y analizada introducir un tejido biológico. Para ello abrir el proyecto flat\_phantom que encontrareis en el directorio. Los parámetros asociados a los tejidos son parámetros promedio de permitividad y conductividad.



- Revisad las características del proyecto: materiales, mallado, colocación del port etc. Es recomendable entender la distribución del mallado y comprobar que esté correcto.
- Ser cuidadosos en los cambios que introduzcáis a lo largo de la realización de la práctica. Intentad no modificar la antena, ya que deberíais modificar la posición del port y el mallado.
- Revisad si son correctos los parámetros para radiar el tejido.
- Elegir los resultados que queréis generar: campos y SAR. Elegir los puntos, planos adecuados y/o secuencias.
- Realizar los cálculos y tened en cuenta que durará unos 5 minutos.
- Evaluad los resultados obtenidos:
  - Campo eléctrico.
  - SAR: “unaveraged” versus “averaged” (1gr. 10gr.)
- Evaluad los resultados teniendo en cuenta la potencia de emisión máxima puede ser de 3W. Es interesante visualizar las estadísticas del SAR. Podemos escalar la potencia de emisión para evaluar los resultados.
- Calculad el incremento de temperatura asociado introduciendo los parámetros térmicos del tejido.
- Calculad el SAR en diferentes planos y compararlo con los valores asociados a los estándares dosimétricos.

### **3.3 Análisis de los resultados**

Analizad los resultados obtenidos, las diferencias observadas entre diferentes tejidos. Analizad los valores de SAR. Analizar la influencia que supone la distancia de la fuente de radiación al tejido.

## **INFORME DE LA PRÁCTICA:**

Deberéis documentar los apartados realizados, exponer los resultados y discutirlos. Indicad los tejidos elegidos, parámetros de cálculo y consideraciones que creáis oportunas en cada caso.

## **Bibliografía**

[1] Full-wave, 3D Electromagnetic Analysis Software. Reference Manual, version 6.4. Rencom, 2007.

[2] Full-wave, 3D Electromagnetic Analysis Software. Users Guide, version 6.4. Rencom, 2007.

[3] André Vander Vorst, Arye Rosen, Youji Kotsuka, “RF/Microwave Interaction with Biological Tissues” Engineering”, IEEE Press, Wiley-Interscience, 2006. ISBN-10: 0-471-73277-X.

[4] Daniel G. Swanson, Jr., Wolfgang J.R. Hoefer, “Microwave circuit modeling using electromagnetic field simulation”, Artech House, 2003. ISBN: 1-58053-308-6.

[5] P. Starvroulakis (Ed.), “Biological effects of electromagnetic fields, Springer, 2003. ISBN: 3-540-42989-1.