

## Capítulo 2

# Métodos Análisis Numéricos

### Introducción

En este segundo capítulo se verá la herramienta software utilizada para estudiar el comportamiento electromagnético del prototipo experimental. Además se hará especial hincapié en el método numérico usado en este programa, explicando detalladamente el porqué de la elección de este tipo de software para la realización de simulaciones.

Para el proyecto se ha utilizado el simulador electromagnético CST Microwave Studio [15]. El método de análisis numérico empleado principalmente por el simulador CST es el Método de Diferencias Finitas en el dominio del tiempo (FDTD). A continuación se explica el fundamento de este método numérico. En los apartados posteriores se detallará el manejo de dicho software a nivel de usuario.

### Método de Diferencias Finitas (FDTD)

El Método de Diferencias Finitas (FDTD) permite la resolución aproximada de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales definidas en recintos finitos [16]. El método se sitúa en el dominio del tiempo, aunque las soluciones pueden abordar un amplio rango de frecuencias.

El método utiliza las ecuaciones de Maxwell en función del tiempo (derivadas parciales) que se discretizan utilizando aproximaciones de diferencias centrales en el espacio y el tiempo de derivadas parciales.

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (2.1)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (2.2)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad (2.3)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2.4)$$

Las ecuaciones resultantes de diferencias finitas se resuelven, mediante métodos software o hardware, en un solo salto. Las componentes del campo eléctrico  $\vec{E}$  en un volumen de espacio se resuelven en un instante dado de tiempo, luego el campo magnético  $\vec{H}$  en el mismo volumen se resuelve en el siguiente espacio de tiempo. Así se repite el proceso una y otra vez hasta que el campo electromagnético deseado se haya desarrollado plenamente [17].

Los puntos de evaluación de  $\vec{E}$  se encuentran a medio camino entre los de  $\vec{H}$ . Esto se muestra en la siguiente ilustración.

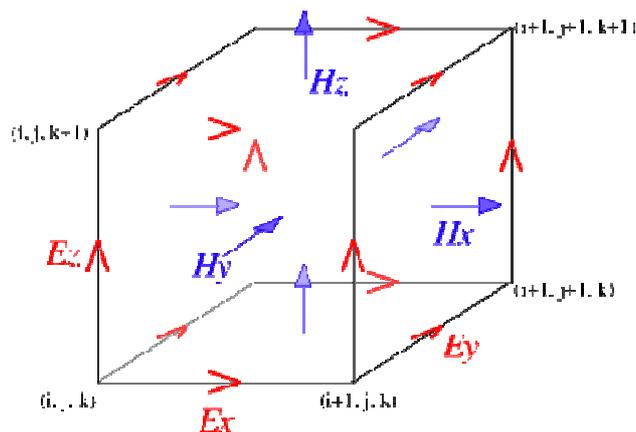


Imagen 8

La principal característica de FDTD es que se centra en las interacciones de las ondas electromagnéticas con las estructuras materiales. Para usar FDTD es preciso

establecer el dominio sobre el que trabajamos. Este dominio es la región física en la que se desea realizar la simulación.

El método FDTD por su gran flexibilidad es aplicable en casi todas las áreas del electromagnetismo computacional, aunque tradicionalmente ha sido utilizado en:

- Cálculo de secciones de radar.
- Estudios sobre los efectos de pulsos electromagnéticos.
- Obtención de los modos de cavidades resonantes y guías de ondas.
- Caracterización de circuitos de muy alta frecuencia.
- Simulación de sistemas electromagnéticos con regiones no lineales.

Las principales ventajas del método FDTD se enumeran en la siguiente lista:

- Resuelve las ecuaciones de Maxwell (método de onda completa).
- Puede obtenerse con una sola simulación la respuesta a través de un amplio rango de frecuencias, utilizando como fuente un pulso.
- Permite encontrar frecuencias de resonancias que no se conocen a priori con exactitud o cual es el ancho de banda.
- Calcula los campos  $\vec{E}$  y  $\vec{H}$  en toda la región de interés.
- Determina los efectos de las discontinuidades y los efectos de blindaje.

Respecto a los inconvenientes del método FDTD podemos citar los siguientes:

- Se requiere cuadrangular toda la región de trabajo.
- Es necesario una discretización suficientemente fina para resolver la  $\lambda$  más pequeña como para las más pequeñas características del modelo.
- Puede tardar mucho tiempo en simular, sobre todo cuando se trabaja a niveles muy finos, como pueden ser unos cables.
- Se necesitan fronteras artificiales, tiene que ser un cuerpo finito, por lo que existe la posibilidad de errores con estas fronteras, como los posibles efectos de absorción.

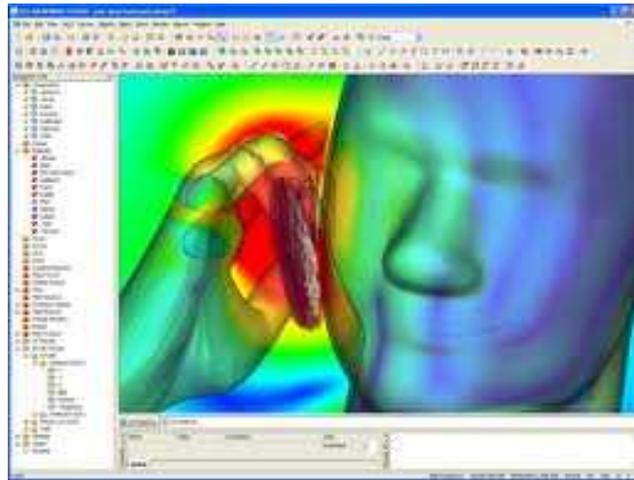
## CST Microwave Studio

El software CST Microwave Studio, perteneciente a CST (Computer Simulation Technology) [18], es una herramienta especializada para la simulación en 3 dimensiones para componentes que trabajan a alta frecuencia.



*Imagen 9*

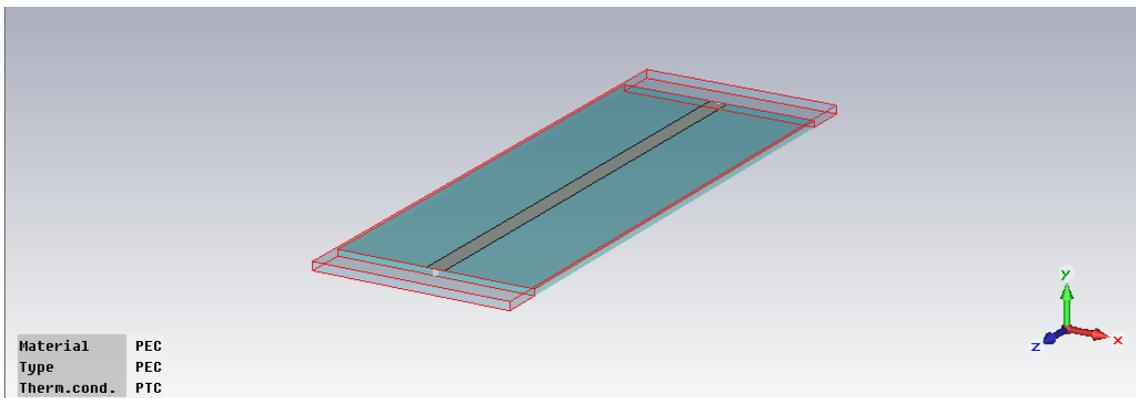
Está basado en el método de diferencias finitas en el dominio del tiempo (FDTD), anteriormente explicado. Permite un análisis preciso de alta frecuencia de dispositivos como antenas, filtros, acopladores, estructuras planas o de múltiples capas. En el proyecto los resultados importantes obtenidos en nuestras simulaciones serán los referidos a los parámetros  $S$  de transmisión y los que conciernen a los campos magnéticos y eléctricos. El simulador permite una fácil interpretación de los campos electromagnéticos y permite simular modelos tan complejos como el que se muestra en la siguiente imagen,



*Imagen 10*

A continuación se mostrará un breve resumen de los pasos seguidos para la simulación de los prototipos, en el siguiente capítulo se mostrarán los resultados obtenidos mediante estas simulaciones y se compararán los resultados con las medidas experimentales.

El objetivo es caracterizar una estructura tipo microstrip sobre la que se sitúa una tapadera metálica a una determinada altura, en las simulaciones se sitúa a 0.5mm y a 1mm. En CST en primer lugar ha de definirse la estructura a analizar. Para nuestro caso particular el modelo de la línea sería el mostrado en la imagen 11.



*Imagen 11*

A continuación se resumen los pasos seguidos para llegar a este resultado final en la definición de la estructura a analizar. El orden de los pasos que se van a describir no es obligatorio, pero sí aconsejado.

1. Después de abrir el programa se han definido las unidades a las que trabajará el prototipo. Las unidades de longitud serán milímetros (mm), la frecuencia se medirá en Gigahertzios (GHz) y el tiempo en

microsegundos ( $\mu\text{s}$ ). También ha de definirse el rango de frecuencias de trabajo. Nosotros tomaremos una frecuencia inicial,  $f_i$ , de 0 GHz, y una frecuencia final,  $f_f$ , de 9 GHz.

2. Para mayor comodidad a la hora sobre todo de cambiar las dimensiones de los parámetros para las distintas pruebas, se definen una lista de parámetros que servirán para todas las simulaciones posteriores.

Name	Value	Description	Type
ff	9	Frecuencia final	Frequency
fi	0	Frecuencia inicial	Frequency
L	120	Longitud de la línea	Length
TT	47.3	Ancho	Length
Gap	10	Separación del aire	Length
h	1.524	Altura dielectrico	Length
hc	0.5	Altura tapadera	Length
W	4.29	Ancho de la tira	Length

Imagen 12

3. A continuación se diseñarán los elementos (*bricks*) que componen nuestro prototipo, para ello se les asigna unas dimensiones y un tipo de material. Las dimensiones de los componentes se darán de la siguiente forma  $(X_{\min}, X_{\max}); (Y_{\min}, Y_{\max}); (Z_{\min}, Z_{\max})$ . En los prototipos diseñados las dimensiones serán para cada *brick*; para el dieléctrico  $(-TT/2, TT/2)$ , con un material que se tendrá que crear nuevo denominado dieléctrico con una permitividad relativa de 2.55. Para la tira se crea un rectángulo con dimensiones  $(-W/2, W/2); (h, h); (-L/2, L/2)$ , de material conductor. Además para simular sin problemas con las condiciones de contorno se introduce un espacio de aire de dimensiones  $(-TT/2, TT/2); (0, h+hc); (-L/2-Gap, L/2+Gap)$ , y se inserta en el bloque dieléctrico, dando lugar a la capa de aire entre el bloque y la tapadera.
4. La tira metálica se ha fabricado con una curva, al ser tan pequeño el espesor se crea con una curva y se rellena con material conductor. El *brick* de aire está insertado en el componente de dieléctrico.

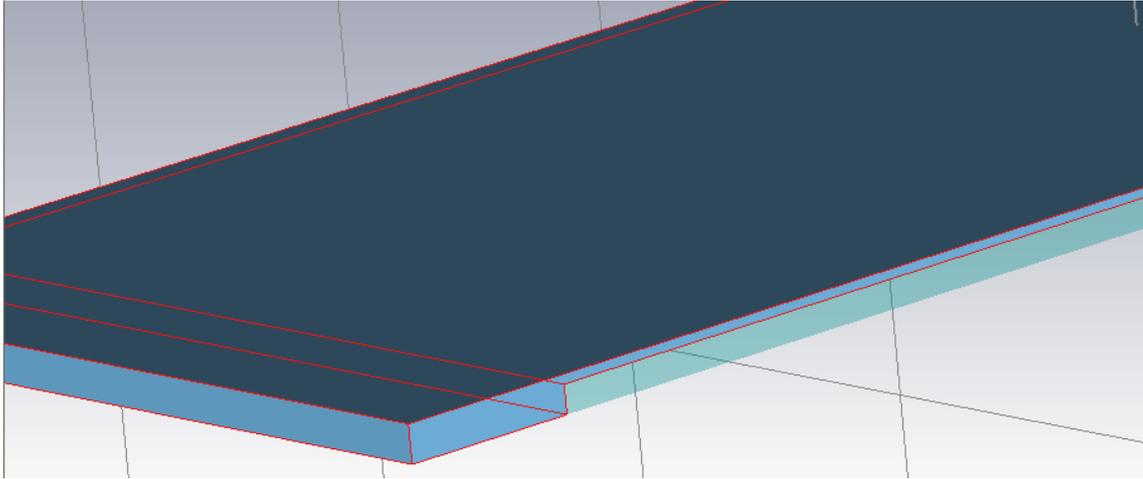


Imagen 13

5. Las condiciones de contorno son clave en el proyecto, como se verá sobre todo a la hora de realizar el experimento en el laboratorio. La estructura física tiene dos bloques más, como la tapadera y la base metálica, dichos componentes se simularán con las condiciones de contorno. En el menú *Solve -> Boundary Conditions* seleccionamos que la opción elegida para las fronteras será la de open, ya que esta es la que proporciona las condiciones de frontera deseadas. Se quiere que las señales no se reflejen en los bordes de la estructura. Se está simulando un material absorbente en todas las paredes. Las paredes de arriba y de abajo son conductoras, simulando la tapadera y la base del prototipo.

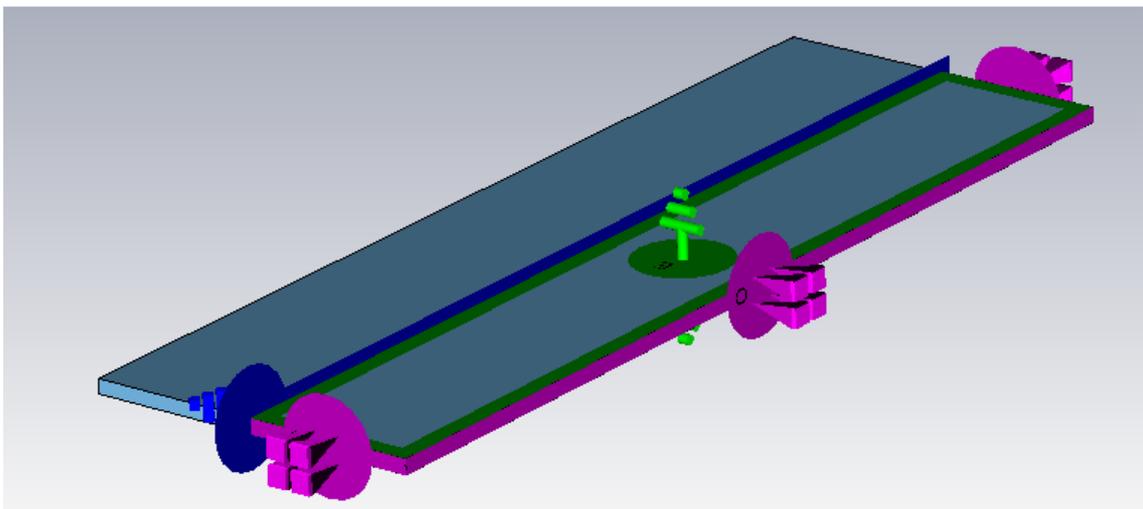
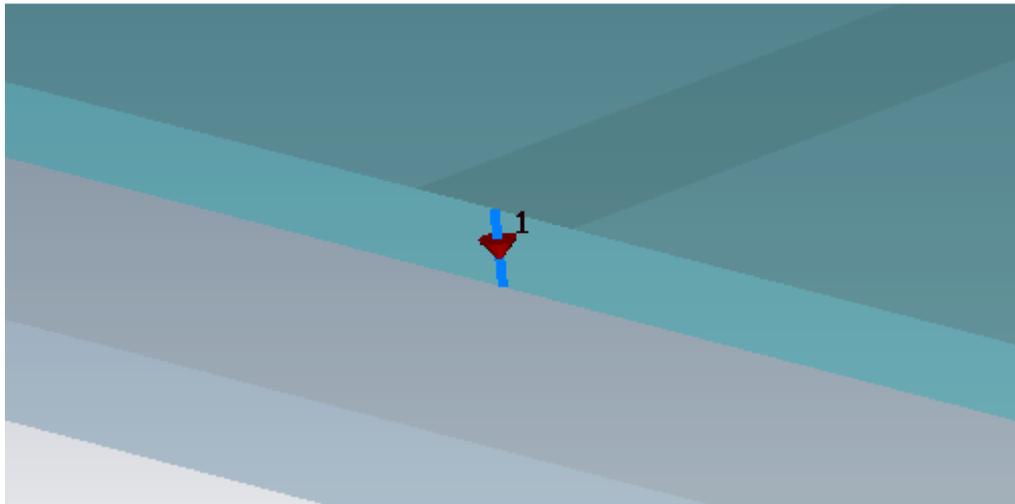


Imagen 14

Además en la pestaña *Symmetry Planes* le indicamos que se requiere simetría para el plano YZ y que en este plano en campo magnético  $\vec{H}_t$  tiene que ser 0.

6. Para la excitación de la tira se colocan dos puertos. Los puertos se definen en *Ports* -> *Discrete Ports*, donde se les asignará las coordenadas a las que se situarán, el primer puerto en  $(0, 0)$ ;  $(h, 0)$ ;  $(L/2, L/2)$ , además se indica que son puertos de parámetros S y una impedancia de  $50 \Omega$ , el segundo puerto se situaría igual salvo que en z sería  $(-L/2, -L/2)$ .



*Imagen 15*

7. Otro paso muy importante a la hora de simular en CST es definir su mallado. Un mallado más fino proporcionará resultados más detallados, aunque también dará lugar a un mayor tiempo requerido para la simulación.

Las opciones de mallado se encuentran en *Mesh* -> *Global Mesh Properties*, en la imagen 16 se muestra el mallado de la estructura visto desde el lateral, se hace especial hincapié en la zona del dieléctrico y la tira metálica, por lo que el mallado (hexahédrico), será más fino en estas zonas.

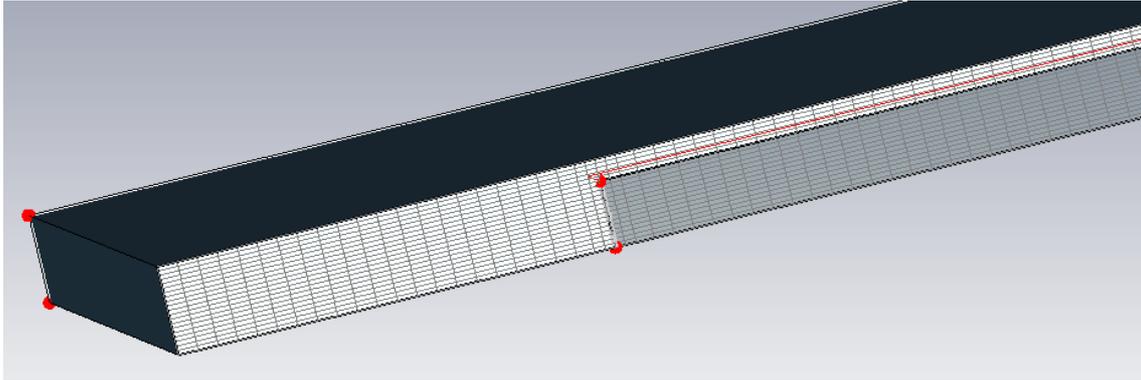


Imagen 16

- Finalmente se realiza un análisis en el tiempo (símbolo rojo con la T mayúscula de la imagen 17), con el cual se obtendrá después los resultados en frecuencias deseados, como son los parámetros S de Scattering.

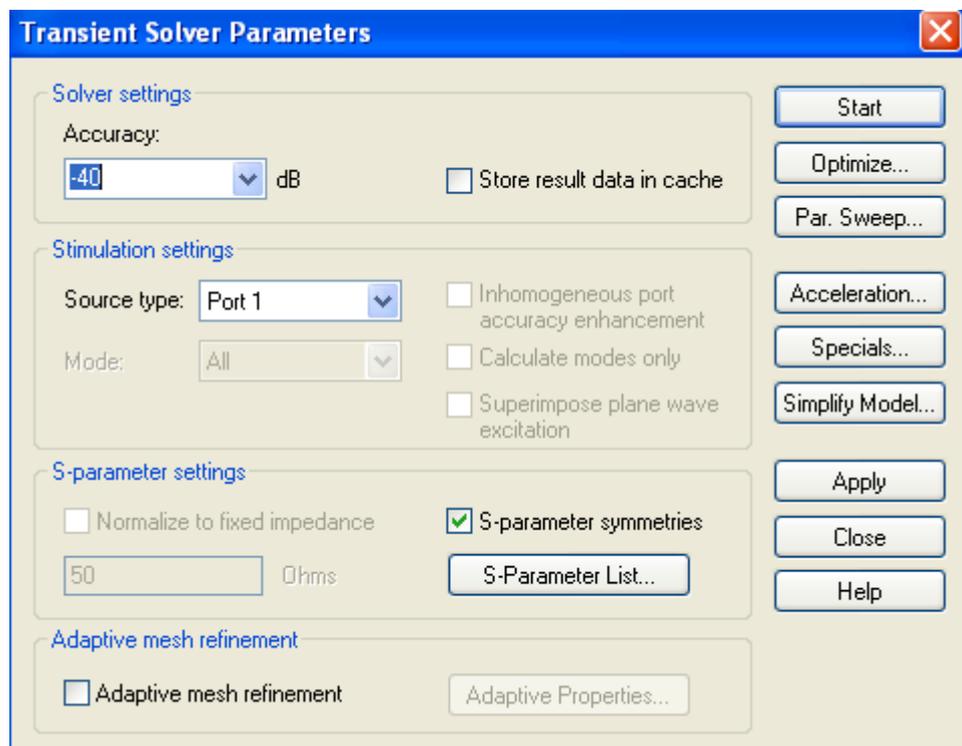


Imagen 17