

# SIMULACIÓN DE ANTENAS MICROSTRIP.

## 1 OBJETIVOS

La presente práctica pretende el abordar el estudio del comportamiento de las antenas construidas en circuito impreso, en microstrip (FR4).

Las antenas que vamos a analizar son antenas de parche ubicando el punto de alimentación en distintos lugares.

El estudio de dichas antenas se va a realizar mediante el empleo del simulador electromagnético CST Microwave Studio 2014. De este modo, se pretende que el alumno adquiera los conocimientos básicos de las antenas en circuito impreso mediante un simulador no lineal.

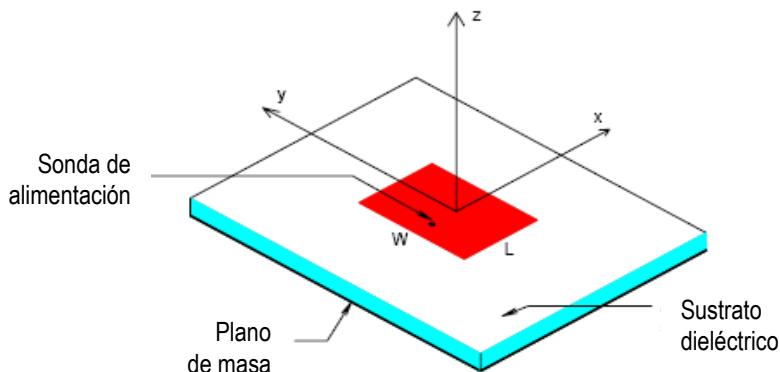
Para facilitar la compresión del manejo de dicho simulador, se describe a modo ejemplo los pasos a seguir para diseñar y simular la primera antena parche bajo estudio.

## 2 INTRODUCCIÓN TEÓRICA

### 2.1 Antenas microstrip [1-4]

Las antenas microstrip (microtira) adoptan diversos tipos, siendo el más común el denominado “antena de parche”, utilizada en una gran variedad de sistemas de radiofrecuencia y microondas (estas antenas suelen estar montadas en aviones, naves espaciales o incorporadas a radios de comunicaciones móviles).

La geometría de la antena microstrip básica es la mostrada en la figura 2-1, en la que se aprecia que este tipo de antenas consisten en un parche metálico grabado sobre un sustrato colocado sobre un plano de masa.



**FIGURA 2-1.** ESQUEMA DE ANTENA DE PARCHE.

La antena microstrip más utilizada es la de parche rectangular. Su estructura simple las hace de bajo perfil, baratas, de poco peso, robustas, fáciles de integrar en circuitería planar, pudiendo diseñarse para polarizaciones lineal, dual y circular, y presentando geometrías de alimentación versátiles.

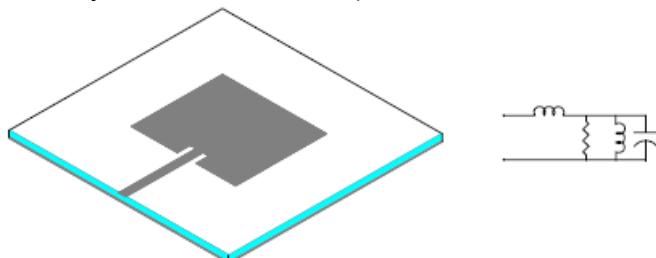
La mayor limitación de este tipo de antenas es el pequeño ancho de banda que presenta el elemento básico, diseñado a partir de líneas de transmisión o resonadores sobre un substrato dieléctrico sin pérdidas, cuyo grosor varía entre  $0.003\lambda$  y  $0.05\lambda$ , teniendo una permitividad relativa de entre 2 y 12. Otras desventajas de estas antenas están relacionadas con su baja eficiencia, alto valor del Q, pobre pureza de la polarización, y limitación en potencia.

El flujo de la corriente va en la dirección del cable de alimentación, así el vector de potencia y el campo magnético siguen la misma dirección que la corriente. Una antena simple de este tipo radia una onda polarizada linealmente.

### 2.1.1 Métodos de alimentación

Las antenas se pueden alimentar a través de líneas impresas, o bien a través de ranuras, sondas coaxiales, o bien por acoplamiento a las cavidades.

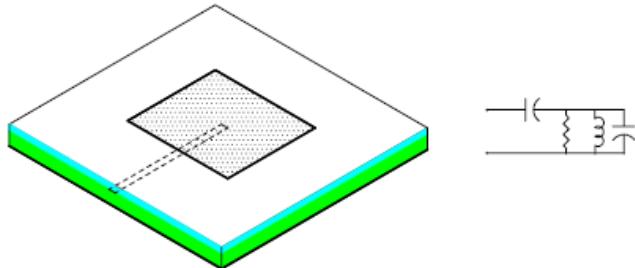
La forma más habitual en realizar la alimentación del parche rectangular mediante una línea de transmisión microstrip situada en el mismo plano del parche, tal y como se muestra en la figura 2-2, junto con su circuito equivalente.



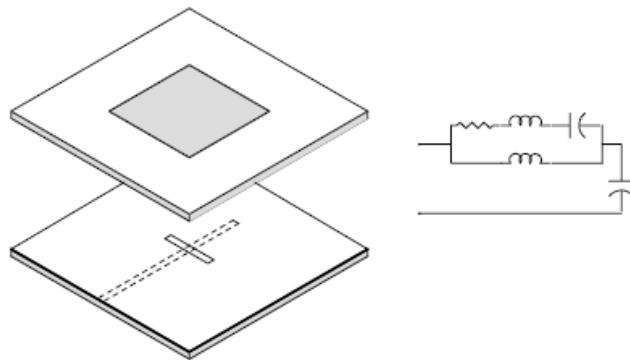
**FIGURA 2-2.** ALIMENTACIÓN MEDIANTE LINEA DE TRANSMISIÓN Y CIRCUITO EQUIVALENTE.

La alimentación utilizando una sonda coaxial (figura 2-1) presenta frente a su simplicidad las desventajas del ancho de banda ya comentada, junto con otras entre las que se encuentran la asimetría de la radiación en el plano E y la necesidad de realizar soldaduras que disminuye la fiabilidad.

Otras formas de alimentación son el acoplamiento por proximidad, en una estructura multicapa (figura 2-3), en el que la línea microstrip de alimentación está comprendida entre dos capas de dieléctrico, y el acoplamiento a través de una ranura (figura 2-4).



**FIGURA 2-3.** ALIMENTACIÓN CON ESTRUCTURA MULTICAPA Y CIRCUITO EQUIVALENTE.



**FIGURA 2-4.** ALIMENTACIÓN MEDIANTE RANURA Y CIRCUITO EQUIVALENTE.

### 2.1.2 Principios de funcionamiento

Las antenas microstrip se pueden analizar de diversas formas, desde los modelos más simples, basados en líneas de transmisión o cavidades hasta los más complejos, utilizando métodos numéricos o espectrales.

#### 2.1.2.1 Modelo de línea de transmisión

En la antena de parche de la figura 2-1, la radiación aparece en las discontinuidades y circuitos abiertos de la estructura, especialmente si su tamaño es comparable a la longitud de onda, si bien el efecto de bordes se manifiesta en el contorno de la estructura y depende del grosor y la permitividad del dieléctrico.

La radiación en campo lejano de esta antena se obtiene a partir del modelo de línea de transmisión tratando los bordes de radiación en  $x=-L/2$  y  $x=L/2$  como ranuras equivalentes de longitud  $\Delta L$  y anchura  $W$ . Teniendo en cuenta que la radiación de los flancos se cancela entre sí, los campos radiados por la antena se pueden calcular a partir de las corrientes magnéticas equivalentes a los campos en la apertura, siendo las expresiones de dichas cantidades de campo:

$$\left. \begin{aligned} \vec{H} &= -\hat{\theta} \frac{j\omega \epsilon e^{-jkr}}{4\pi r} \vec{L}_\theta \\ \vec{E} &= -\hat{\phi} \frac{j\omega \eta \epsilon e^{-jkr}}{4\pi r} \vec{L}_\theta \end{aligned} \right\} \vec{L} = 2E(W\Delta L) \frac{\sin\left(k_z \frac{W}{2}\right)}{\left(k_z \frac{W}{2}\right)} 2\cos\left(k_x \frac{d}{2}\right) \hat{z} \quad \text{ECUACIÓN 2-1}$$

Estos campos radiados tienen polarización lineal. El plano E es el plano XY, y su diagrama es el debido a la agrupación de dos antenas separadas una distancia inferior a media longitud de onda. El plano H es el ortogonal al anterior, YZ, y el diagrama es el debido a la corriente magnética uniforme de longitud W. En la figura 2-5 se muestra el diagrama de radiación de esta antena.

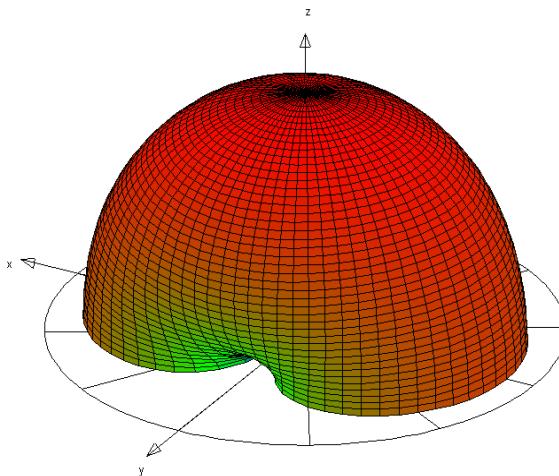


FIGURA 2-5. RADIACIÓN DE UNA ANTENA MICROSTRIP. [4]

El modelo de línea de transmisión permite analizar las antenas de forma rectangular. Para estudiar estructuras o bien los modos superiores de funcionamiento, es necesario un modelo más completo, como es la cavidad.

### 2.1.3 Parámetros característicos

#### 2.1.3.1 Resistencia de entrada

Empleando el modelo de línea de transmisión anterior en la antena rectangular, el circuito equivalente es el dado en la figura 2-6:

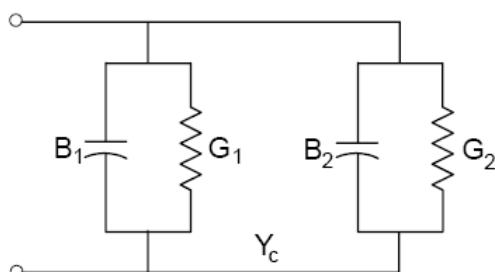


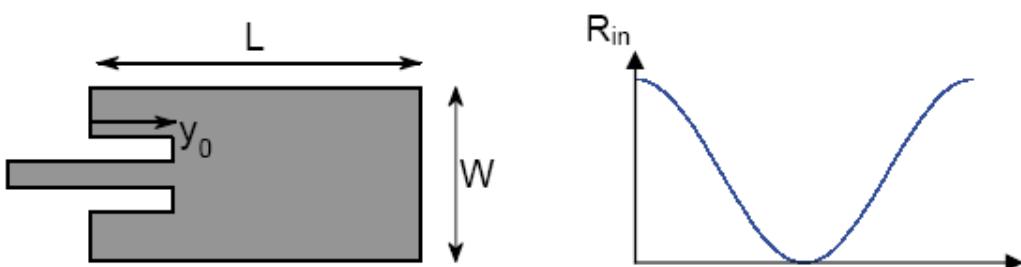
FIGURA 2-6. MODELO CIRCUITAL EQUIVALENTE

A la frecuencia de resonancia

$$R_{in} = \frac{1}{2G_1} \quad \text{ECUACIÓN 2-2}$$

Para determinar el valor de la conductancia y por tanto el valor de la resistencia de entrada, realizaremos un balance de potencia de tal forma que obtenemos que el valor de la resistencia de entrada depende del punto de alimentación y su expresión viene dada por:

$$R_{in}(y = y_o) = R_{in}(y = 0) \cos^2\left(\frac{\pi}{L} y_o\right) \quad \text{ECUACIÓN 2-3}$$



**FIGURA 2-7. ANTENA MICROSTRIP Y VARIACIÓN DE RESISTENCIA DE ENTRADA EN FUNCIÓN DE “Y”.**

### 3 EJEMPLO PRÁCTICO

#### ENUNCIADO:

Se desea estudiar el comportamiento de una antena de parche con forma rectangular, ubicado sobre un substrato con forma rectangular, cuyas dimensiones son las siguientes:

- Tamaño del substrato: X=38mm, Y=49mm, h=1.54mm
  - Tamaño de la masa: X=38mm, Y=49mm, h=0.035mm
  - Tamaño del parche: X=38mm, Y=49mm, h=0.035mm
- Materiales empleados: Conductor Cobre y Dieléctrico FR4.

#### SOLUCIÓN:

##### PASO 1: Especificación de espacio de trabajo.

En primer lugar el alumno debe abrir el programa de simulación **CST Design Environment** haciendo doble click sobre el icono , ubicado en el escritorio del ordenador.

Al iniciar el programa, debemos seleccionar el modulo con el que vamos a trabajar, que en nuestro caso será el de **CST Microwave Studio** .

## PRÁCTICA A2: SIMULACIÓN DE ANTENAS MICROSTRIP.

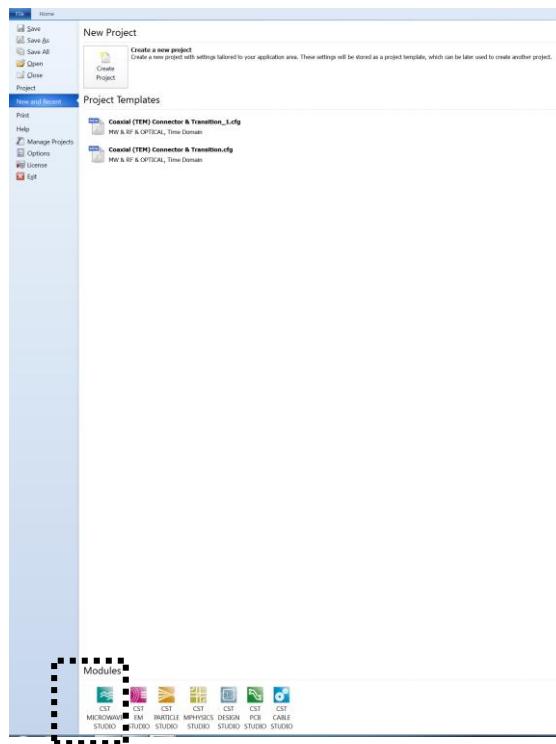
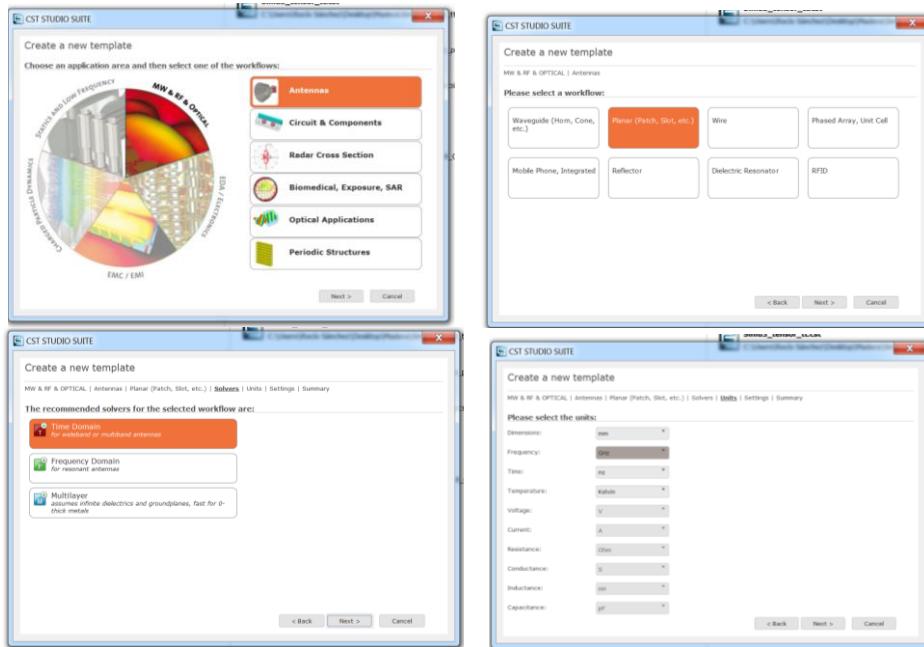


FIGURA 3-1. PANTALLA DE PRESENTACIÓN DE CST DESIGN ENVIRONMENT.

Una vez seleccionado el módulo con el que se va a trabajar debemos seleccionar las unidades y las condiciones de diseño que vamos a emplear, para ello nos aparecerá una pantalla como la mostrada en la Figura 3-2. En nuestro caso debemos seleccionar la opción de **Antenna (Planar)**.



## PRÁCTICA A2: SIMULACIÓN DE ANTENAS MICROSTRIP.

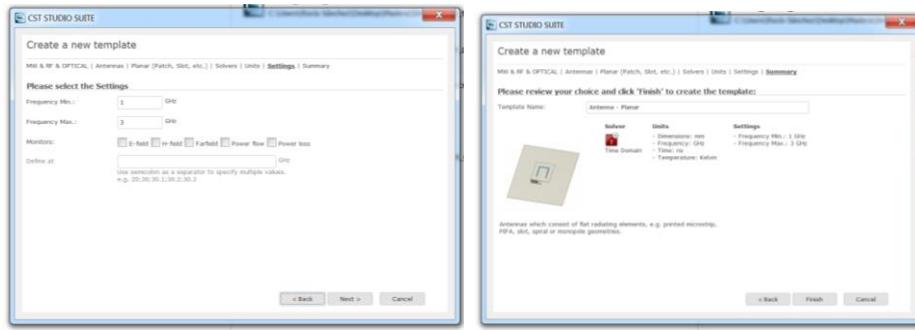


FIGURA 3-2. PANTALLAS DE ESPECIFICACIÓN DE PROYECTO.

Con el fin de verificar que vamos a trabajar con las unidades y las condiciones de trabajo adecuado, en el lado derecho de la barra inferior del simulador nos debe indicar lo siguiente:

High Frequency Raster=1.000 Normal mm GHz ns K

FIGURA 3-3. ESPECIFICACIÓN DE DISEÑO.

Si deseásemos cambiar las unidades y las condiciones de trabajo podemos hacerlo, seleccionando, para las unidades Home->Units ( ) y para las condiciones de trabajo Simulation->Background ( ).

### PASO 2: Diseño de la antena.

El siguiente paso a dar en nuestro proceso de diseño, será el dibujar la antena que deseamos simular. En primer lugar dibujaremos la parte del substrato de la antena, para lo cual seleccionamos la opción: Modeling-> Brick y pulsamos sobre el ícono ( ) ubicado en la barra de herramientas superior. Una vez realizado esto, pulsamos la tecla Esc para poder introducir las dimensiones manualmente. De tal forma que el cuadro que debemos llenar es como el que se muestra en la figura 3-4.

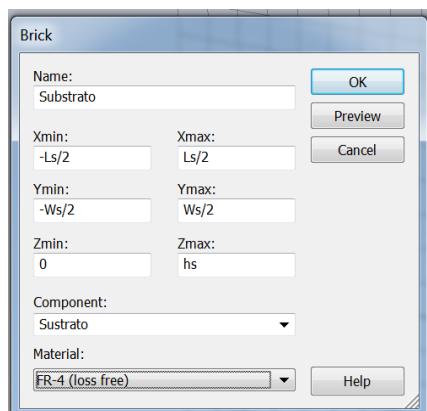
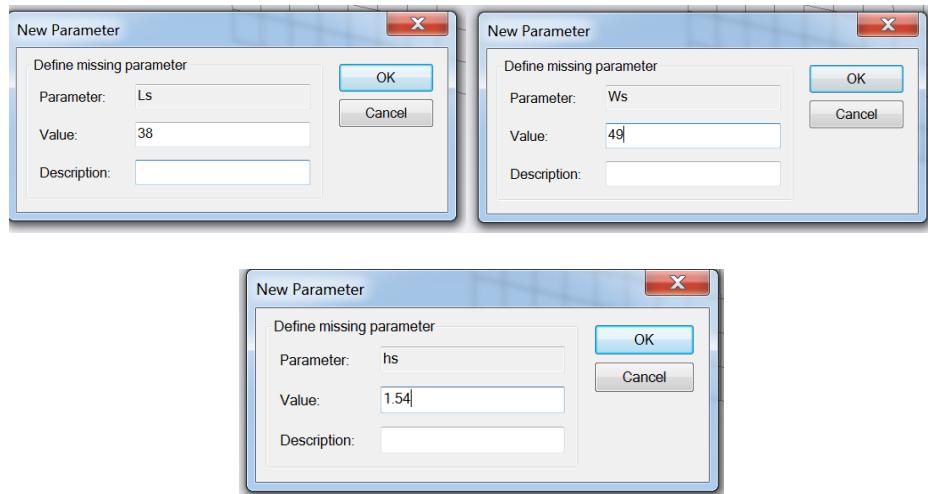


FIGURA 3-4. DISEÑO DEL PLANO DE SUBSTRATO.

Para incluir el Fr4 como material del substrato de la antena debemos seleccionar la opción de “Load from Material Library”, al realizar esta operación nos desplegará una ventana con todos los materiales que tiene el programa incluido. En nuestro caso

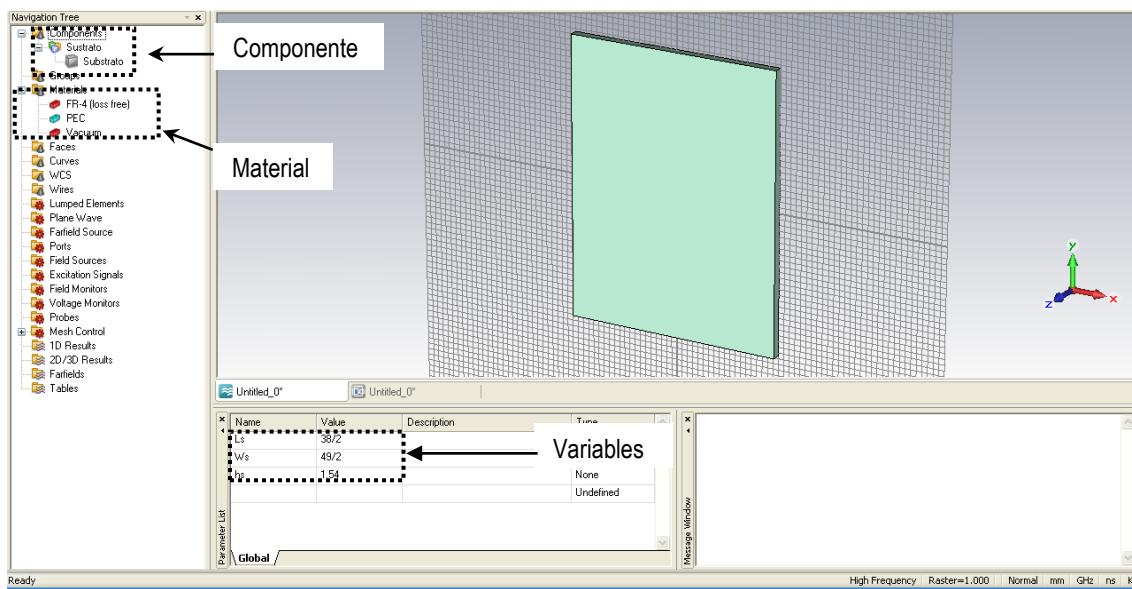
## PRÁCTICA A2: SIMULACIÓN DE ANTENAS MICROSTRIP.

debemos buscar el FR-4 (loss free), en caso de querer realizar una simulación más realista deberemos seleccionar el material FR-4 (lossy). Para validar todo lo realizado tan solo debes pulsar sobre la tecla “Ok”. Antes de dibujar la figura especificada, el programa nos solicitará que le introduzcamos los valores de cada una de las variables que le hemos introducido, este paso lo solicitará tras pulsar el botón de “Ok”, visualizando un cuadro como el mostrado en la siguiente figura.



**FIGURA 3-5.** ASIGNACIÓN DE VALORES A LAS VARIABLES.

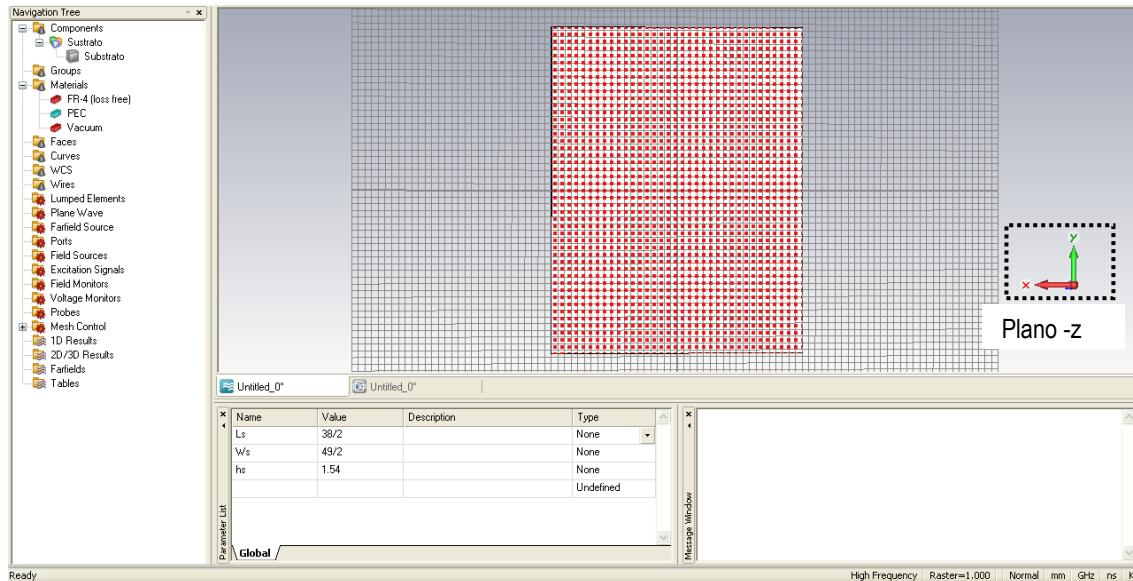
Una vez asignado el valor a las variables queda definido nuestro plano de substrato, quedando como muestra la siguiente figura.



**FIGURA 3-6.** PLANO DE SUBSTRATO.

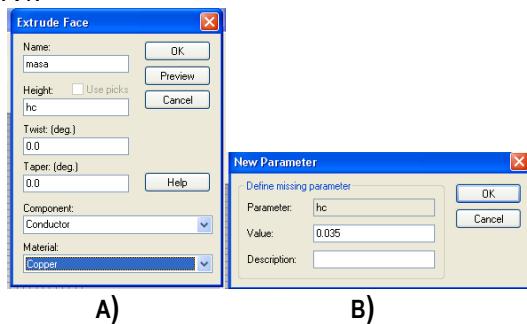
A continuación, definiremos el plano de masa, para lo que deberemos situarnos en la parte inferior del sustrato, empleando las teclas Ctrl+Botón derecho del ratón. Situados en este punto seleccionaremos la cara mediante la opción Modeling->Pick->Pick Face, y pulsando sobre el icono ( ). En esta opción, debemos hacer doble click sobre la cara que deseamos seleccionar, quedando tal y como muestra la siguiente figura.

## PRÁCTICA A2: SIMULACIÓN DE ANTENAS MICROSTRIP.



**FIGURA 3-7. SELECCIÓN DE CARA INFERIOR.**

Dicha selección la hemos realizado para generar el plano de masa, mediante la opción denominada como “Extrude”, de tal forma que el siguiente paso a dar será seleccionar la opción Modeling->Extrude y pinchamos directamente sobre el icono (➡). Seguidamente será necesario especificar los parámetros del plano de masa, tal y como se muestra en la figura 3-6. En esta ocasión tenemos que indicar que el material a emplear es el cobre, siendo necesario realizar los pasos de carga de material que se empleo al definir el substrato como FR4.



**FIGURA 3-8. A) ESPECIFICACIÓN DEL PLANO DE MASA. B) ASIGNACIÓN DE VALOR A VARIABLE**

Si todo ha salido bien, tras pulsar el botón Ok en la ventana anterior, en la barra de elementos debe aparecer nuestra masa recientemente definida.

## PRÁCTICA A2: SIMULACIÓN DE ANTENAS MICROSTRIP.

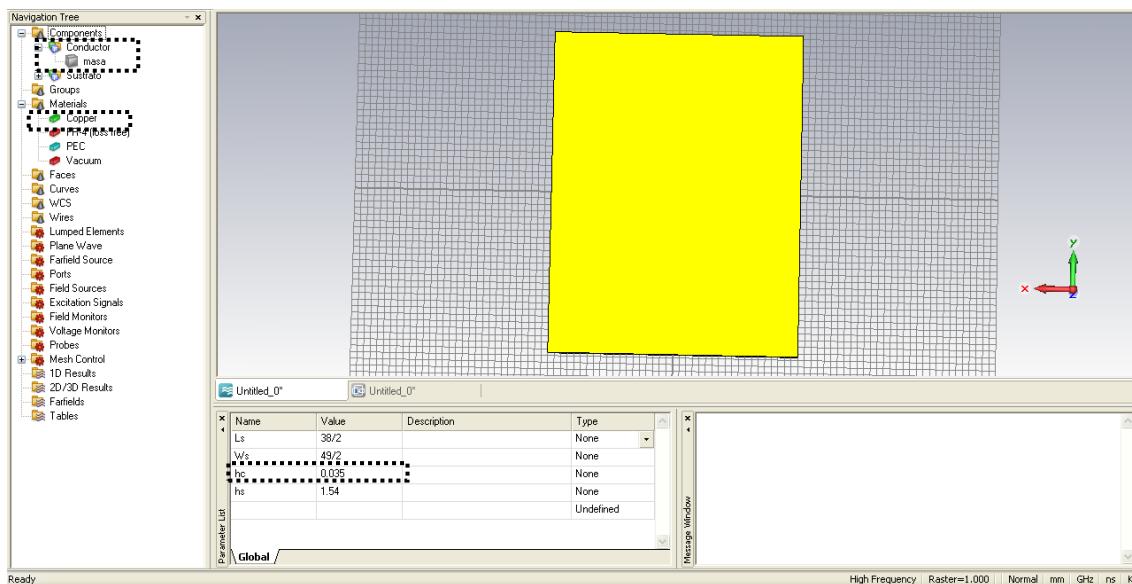
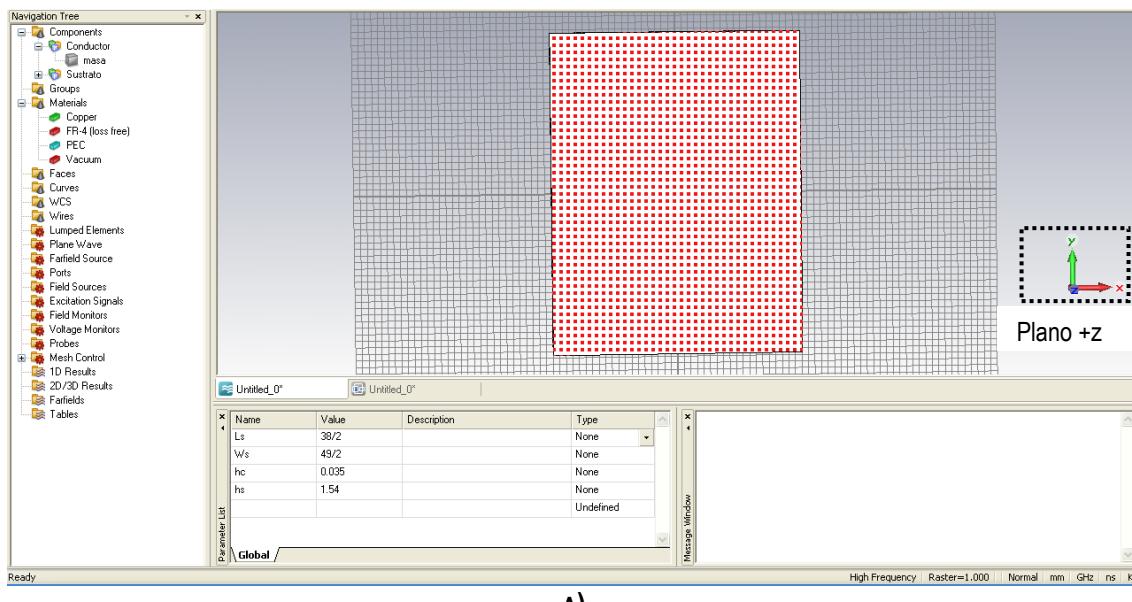


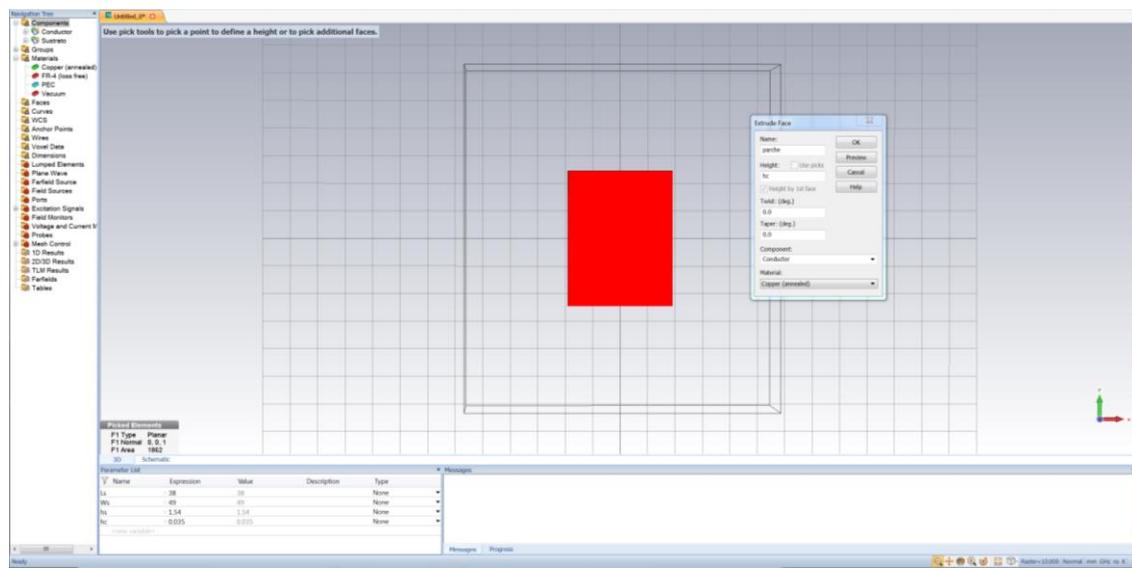
FIGURA 3-9. VERIFICACIÓN DE ELEMENTOS.

El siguiente componente que dibujaremos será el correspondiente al parche. Para ello realizaremos los mismos pasos que los realizados en la generación del plano de masa, es decir, mediante la opción de “Extrude”, pero seleccionando en esta ocasión la cara superior del substrato.



A)

## PRÁCTICA A2: SIMULACIÓN DE ANTENAS MICROSTRIP.



b)

FIGURA 3-10. A) SELECCIÓN DE CARA SUPERIOR. B) ESPECIFICACIÓN DE PARCHE

Al igual que en los casos anteriores si todo se ha realizado de forma correcta, tras presionar el botón Ok, dentro de los componentes nos deberá aparecer uno nuevo correspondiente a la antena de parche y al cual hemos llamado parche.

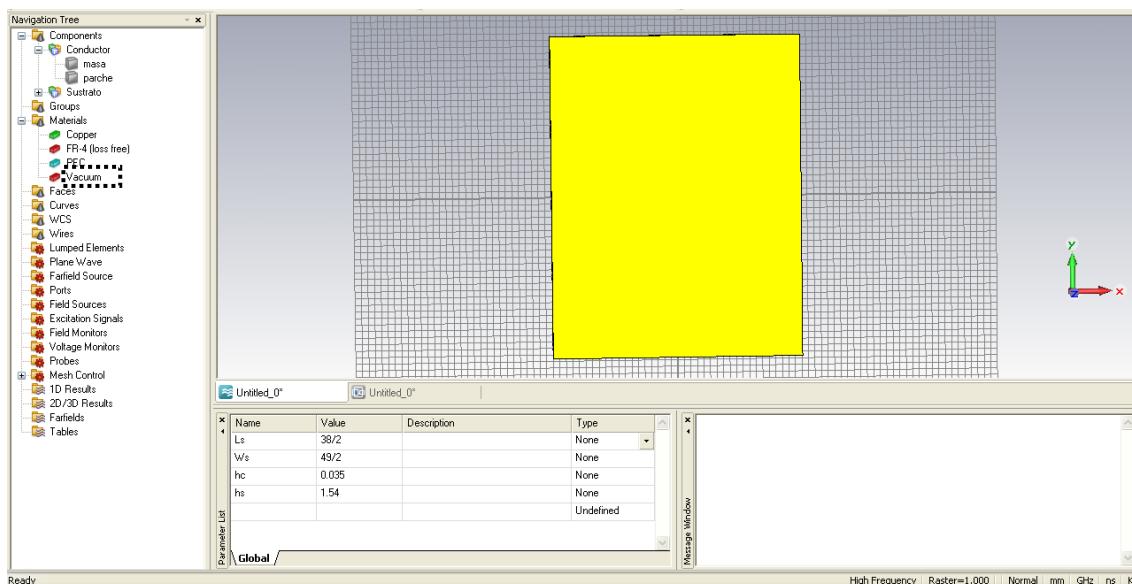


FIGURA 3-11. VERIFICACIÓN DE ELEMENTOS.

### PASO 3: Definición de alimentación.

El siguiente paso que debemos realizar es indicar la alimentación de la antena, para ello emplearemos el elemento denominado “Discrete Ports”, al cual podemos acceder mediante el icono ( ) ubicado en Simulation->Discrete Ports.

## PRÁCTICA A2: SIMULACIÓN DE ANTENAS MICROSTRIP.

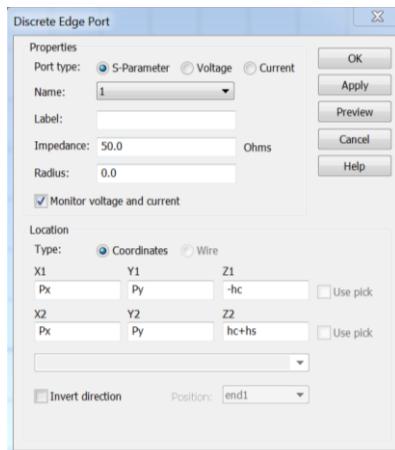


FIGURA 3-12. ESPECIFICACIÓN DE DISCRETE PORTS.

El valor de las variables denominadas como Px y Py se corresponden con las coordenadas del punto de alimentación, siendo su valor inicial de Px=-7 y Py=8.5.

Con todo esto tendremos definido el puerto de acceso de nuestra antena de parche, para verificar que todo ha sido realizado de forma correcta, en el menú de navegación dentro de la sección de Ports nos deberá aparecer un elemento denominado Port1.

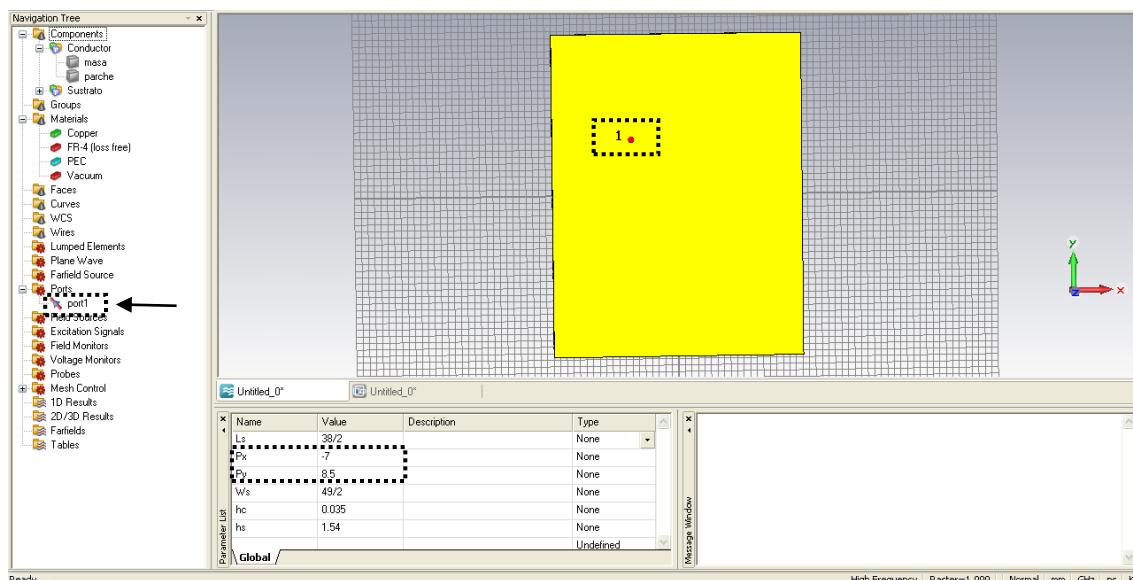
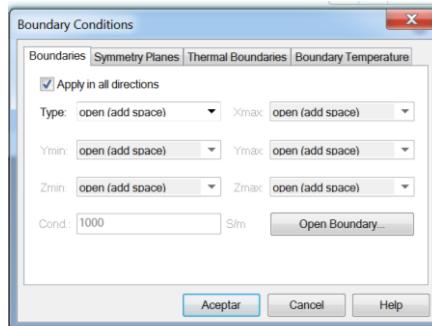


FIGURA 3-12. VERIFICACIÓN DE PUERTO DE ALIMENTACIÓN.

### PASO 4: Definición de condiciones de contorno.

Llegados a este punto, ya nos encontramos muy cerca de dar comienzo a la simulación, pero previamente debemos indicar las condiciones de contorno que rodean a nuestro dispositivo, ya que al tratarse de un simulador electromagnético debe resolver las ecuaciones de Maxwell siendo preciso especificar las condiciones de contorno.

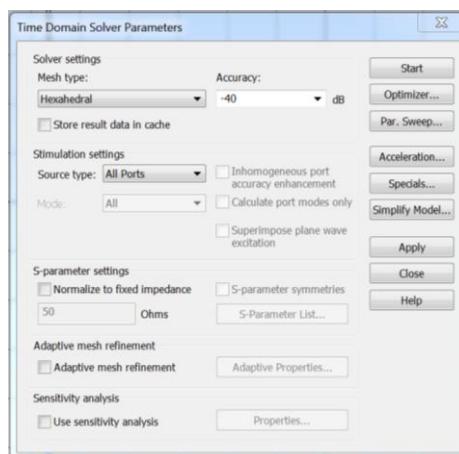
Para indicar las condiciones de contorno con las que vamos a trabajar, debemos seleccionar la opción Simulation->Boundary y pulsar sobre el ícono de acceso directo ( ). La pantalla que debemos llenar en esta ocasión será la que se muestra en la siguiente figura.



**FIGURA 3-13. ESPECIFICACIÓN DE CONDICIONES DE CONTORNO.**

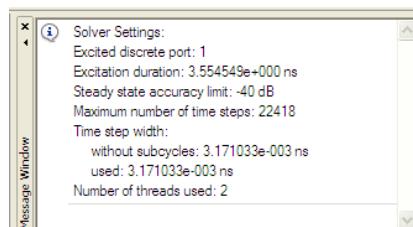
#### **PASO 5: Definición de parámetros de simulación.**

El último paso que debemos dar, es la definición de los parámetros de la simulación, como deseamos hacer un análisis del dispositivo en función de la frecuencia debemos emplear el bloque denominado Transient Solver, para ello debemos seleccionar Simulation->Transient Solver y pinchar sobre el icono (T), de tal forma que la pantalla que nos aparecerá en pantalla será la siguiente:



**FIGURA 3-14. ESPECIFICACIÓN DE CONDICIONES DE SIMULACIÓN.**

Tras pulsar el botón de Start, el simulador comienza a trabajar, pudiendo visualizar la evolución de dicha simulación en la parte inferior de la pantalla principal, tal y como se muestra en la figura 3-15.



**FIGURA 3-15. VENTANA DE VISUALIZACIÓN DE PROCESO DE SIMULACIÓN.**

### PASO 6: Lectura de resultados.

#### a. Coeficiente de reflexión

Una vez finalizada la simulación, podremos visualizar el valor el coeficiente de reflexión en función de la frecuencia, sin más que desplegar la carpeta denominada “1D Results” y que se encuentra disponible dentro de la ventana de navegación donde hemos ido comprobando la generación de cada uno de los elementos que componen nuestra antena (“Navigation Tree”).

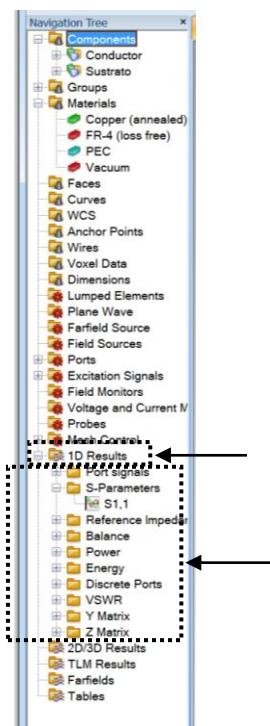


FIGURA 3-16. ACCESO AL VALOR DEL COEFICIENTE DE REFLEXIÓN.

Antes de realizar una nueva simulación, si desea guardar los datos obtenidos, seleccione la gráfica que desea mantener y mediante el botón derecho del ratón seleccione las opciones de copiar y pegar. El título de dicha gráfica puede ser editado si nos situamos sobre ella y pulsamos la tecla F2 de nuestro teclado.

#### b. Diagrama de radiación

Para mostrar el diagrama de radiación de nuestra antena, debemos indicárselo al programa antes de realizar la simulación, en el campo denominado “Field Monitors”. De tal forma, que debemos seleccionar el campo Simulation->Field Monitors, tras esta operación el programa nos mostrará una pantalla como la mostrada en la figura 3-18.

## PRÁCTICA A2: SIMULACIÓN DE ANTENAS MICROSTRIP.

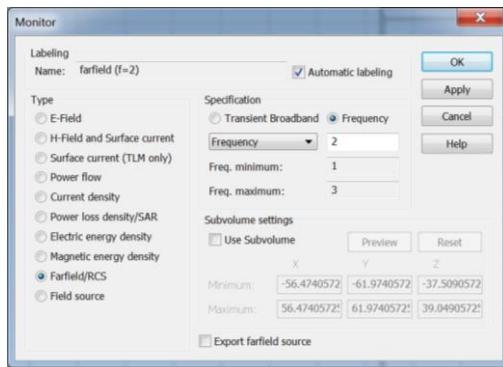


FIGURA 3-17. PANTALLA DE SELECCIÓN DE FIELD MONITORS.

El diagrama de radiación lo mostraremos seleccionando la opción FarField/RCS. Si deseásemos representar el diagrama de radiación para una sola frecuencia deberemos indicar su valor dentro del campo “Frequency” .

Después de realizar estos primeros pasos, realizamos la simulación tal y como se indicó en el paso 5, y una vez finalizada la misma, los resultados de dicho diagrama de radiación se mostrarán tras desplegar la carpeta denominada “FarField” ubicada dentro de la ventana denominada “Navigation Tree” .

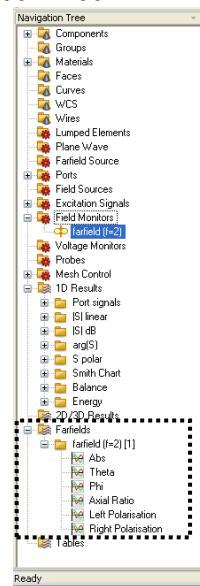


FIGURA 3-18. RESULTADOS DEL DIAGRAMA DE RADIACIÓN.

Si nos situamos sobre el campo FarField/RCS y pulsamos el botón derecho del ratón podremos acceder a la pantalla de propiedades de dicho campo “Plot Properties”, en esta pantalla podremos cambiar la visualización de 3D a forma polar del susodicho diagrama, variando los diferentes cortes del mismo.

Del mismo modo, en la pantalla del campo FarField podemos indicar al programa la visualización de diferentes parámetros, como son los que se listan a continuación:

- E-Field: Intensidad de campo eléctrico
- H-Field/Surface Current: Intensidad de campo magnético y densidad de corriente superficial.
- Power flow: Densidad de potencia
- Current density: Densidad de corriente

- Power Loss Density/(SAR): Tasa específica de absorción de potencia.
- Electric density energy: Densidad de energía eléctrica
- Magnetic density energy: Densidad de energía magnética

Todos estos parámetros deben ser definidos antes de realizar el paso de simulación y los resultados de los mismos, serán englobados dentro de la carpeta denominada “2D/3D Results” que aparece en la pantalla “Navigation Tree”.

**c. Impedancia/Admitancia de entrada**

Si deseamos conocer el valor de la impedancia/admitancia en función de la frecuencia, tenemos que seleccionar la opción Post Processing->S-Parameters Calculations->Calculate Z and Y matrices. Esta opción aparecerá habilitada después de realizar el paso de simulación. Los resultados serán accesibles dentro de la carpeta etiquetada como “1D Results”, dentro de la pantalla “Navigation Tree”.

## **4 REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA**

1. Siguiendo los pasos indicados durante el punto 3 realice la simulación de una antena de parche rectangular, variando el punto de alimentación de la misma, del siguiente modo:
  - a. Px=0, Py=0.
  - b. Px=0, Py= 23.5
  - c. Px=17, Py=0.
  - d. Px=17, Py=23.5.

## **5 MEMORIA**

Los valores a obtener son los siguientes:

1. Indique la frecuencia de funcionamiento de cada una de las antenas especificadas en el apartado 3 y 4.
2. Diagrama de radiación a la frecuencia de trabajo de cada una de las antenas.
3. Indique los parámetros característicos que se pueden obtener a partir del diagrama de radiación.
4. Valor de la impedancia de entrada de cada una de las antenas.
5. Valor de la eficiencia de radiación.
6. A partir de la eficiencia total, determinar la impedancia de entrada de las antenas y comparar los valores con los obtenidos en la pregunta 4.
7. Conclusiones.

## **6 REFERENCIAS**

- [1] Balanis, C. A. “Antenna Theory. Analysis and Design”. Ed. John Wiley and Sons 2<sup>a</sup> Ed. 1997.
- [2] Garg, R. et al. “Microstrip Antenna Design Handbook”. Ed. Artech House. 2001.

**PRÁCTICA A2: SIMULACIÓN DE ANTENAS MICROSTRIP.**

---

- [3] Ferrando, M. et al. "Apuntes de la asignatura de antenas. Antenas microstrip". Universidad Politécnica de Valencia. <http://www.upv.es/antenas/>
- [4] D. M. Pozar, "PCAAD 5.0: Personal Computer Aided Antenna Design". Antenna Design Associates, Leverett, MA 2003.