Agilent ADS

Agilent Technologies

Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Diseño y Fabricación de Filtros con Tecnología Microstrip

mathsoft mathcad 13

LPKF Laser & Electronics

BUNGARD

Manuel Rivas Pérez
mrivasperez@yahoo.es

Índice

- Objetivos.
- Introducción. Líneas microstrip.
- Procedimientos de análisis y síntesis de líneas.
- Topologías de implementación de filtros microstrip.
- Simulación/optimización.
- Fabricación.
- Medidas y comparación de resultados.

ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

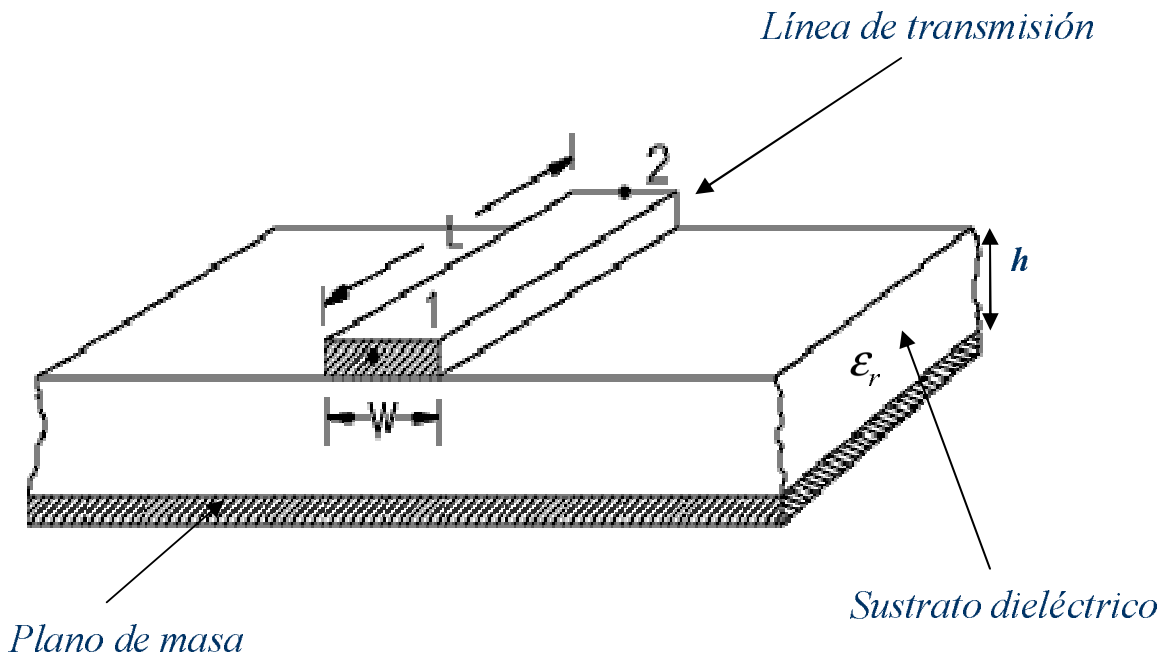
Objetivos

- Recopilación de información sobre procedimientos de análisis y síntesis de líneas de transmisión.
- Recopilación de información sobre procedimientos de diseño de filtros microstrip.
- Generación de documentos de *MathCad* para la realización de los diseños.
- Diseño de filtros con diferentes topologías microstrip, con distintas especificaciones de diseño y usando varios tipos de sustrato.
- Manejo de los simuladores *ADS* y *Momentum*.
- Fabricación manual y mediante máquinas de taladrado numérico.
- Manejo de *CircuitCam*, *BoardMaster* y *RoutePro 2000*.
- Manejo del analizador de redes *E5062A* para realizar las medidas de los filtros fabricados.

Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Línea microstrip

- Línea de transmisión: dos conductores separados por un dieléctrico.



- Conductor caracterizado por anchura *W*, longitud *L* y espesor *t*.
- Sustrato caracterizado por espesor *h* y permitividad ε_r.
- Según sean estos parámetros la línea presentará una impedancia Z_0.

ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

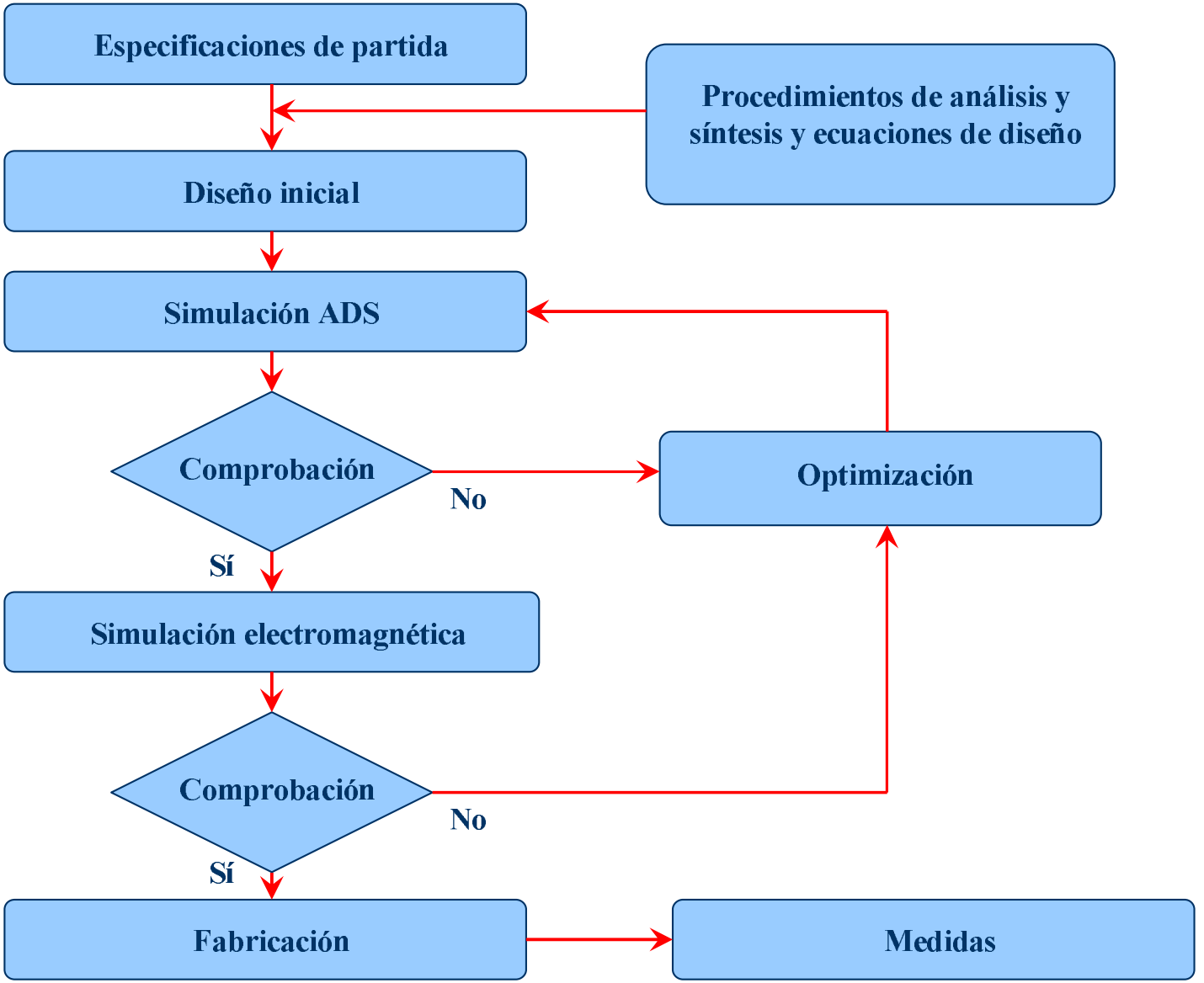
Análisis y síntesis

- Procedimientos documentados de análisis y síntesis de líneas de transmisión:
  - ✓ Ecuaciones de Wheeler
  - ✓ Ecuaciones de Hammerstad & Wheeler (Hammerstad)
  - ✓ Ecuaciones de Owens
  - ✓ Ecuaciones de Hammerstad & Jensen (Jensen)
  - ✓ Ecuaciones de Bahl & Garg
  - ✓ Ecuaciones de Kobayashi
  - ✓ Ecuaciones del programa MWI de Rogers Corporation

- Generación de documentos de *MathCad* para sistematizar tanto la síntesis de líneas como los distintos procedimientos de diseño de filtros.

ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

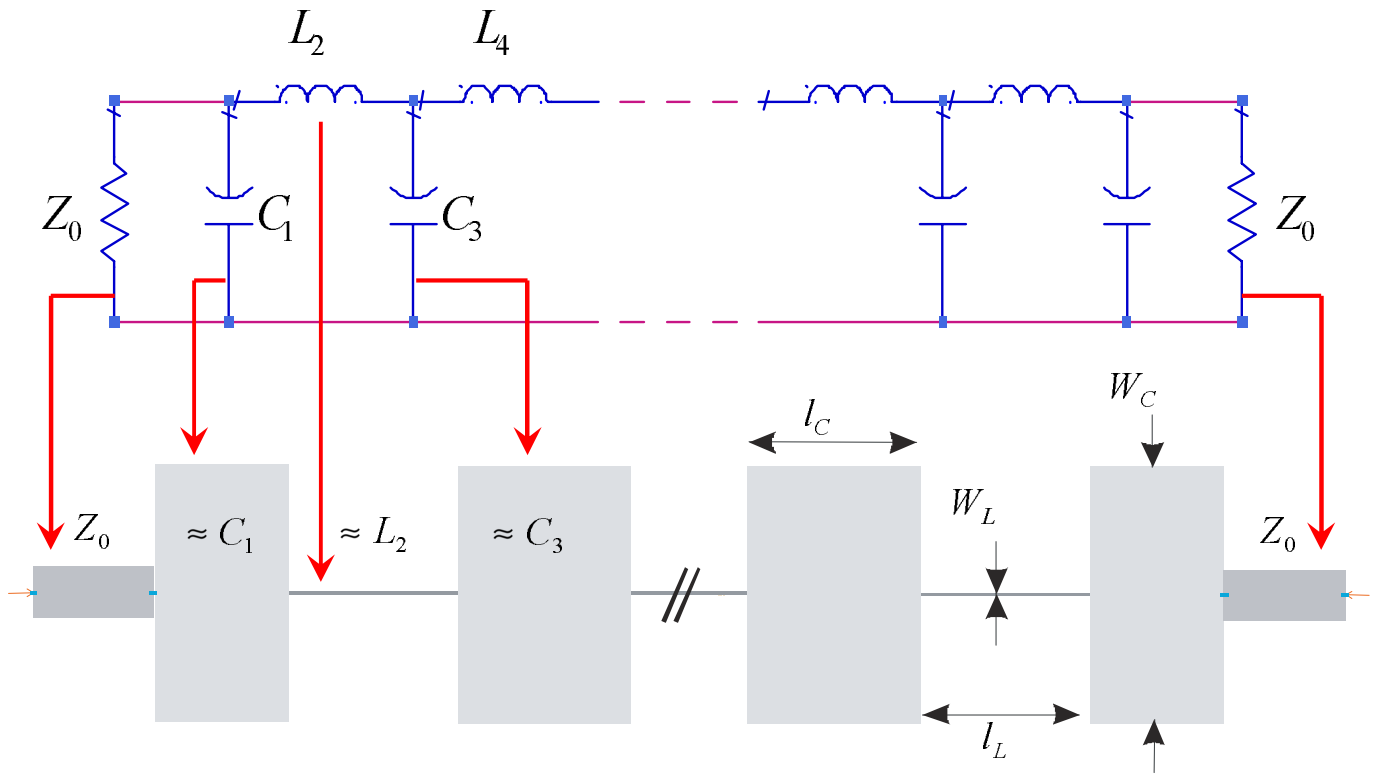
Procedimiento



Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Topologías

- Implementación basada en impedancias de paso:

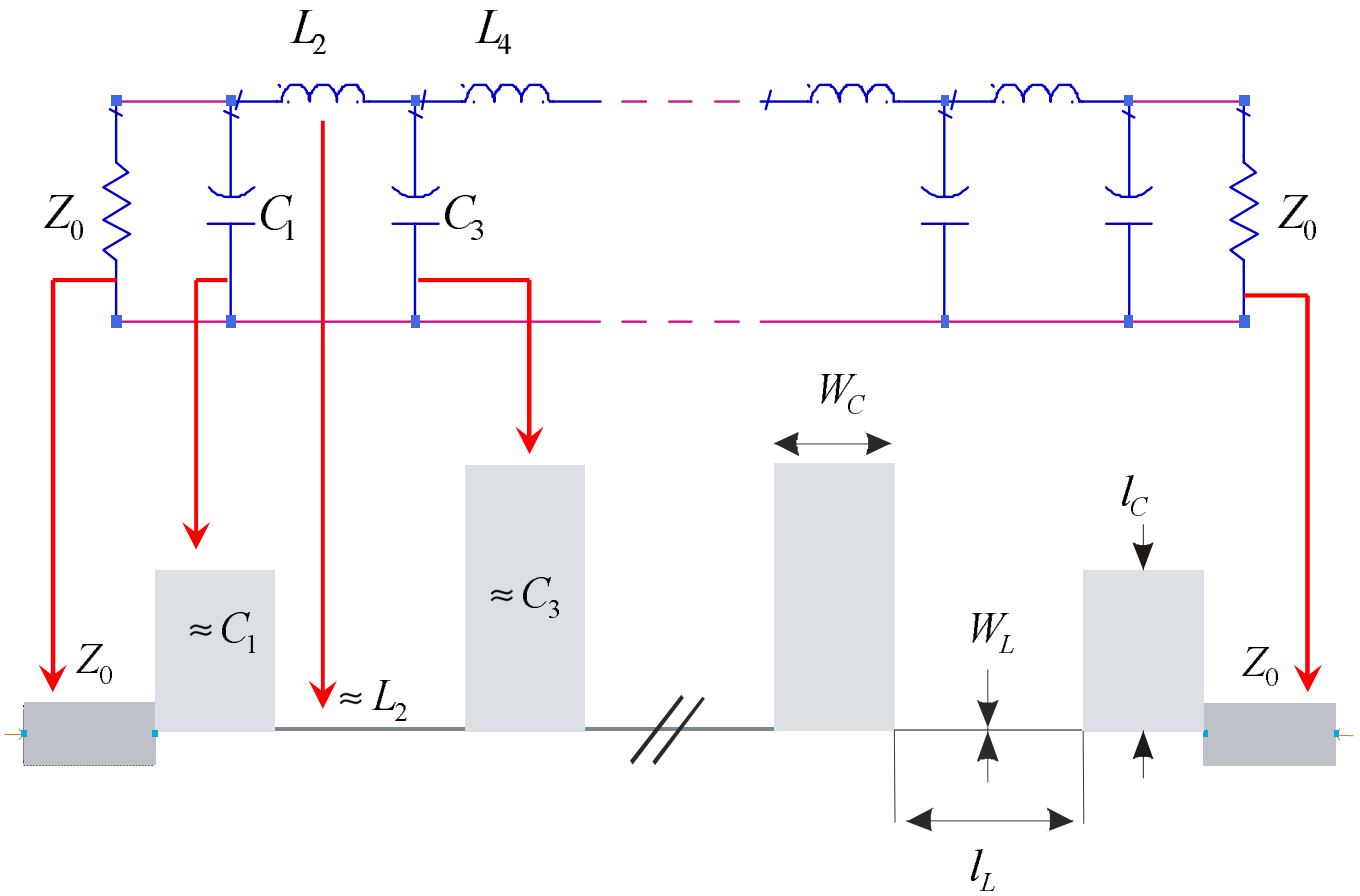


- Elección adecuada de las longitudes, $W_{máx}$ y $W_{mín}$ de las líneas para conseguir comportamientos como C o L.

Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Topologías

- Implementación basada en 'Stubs':

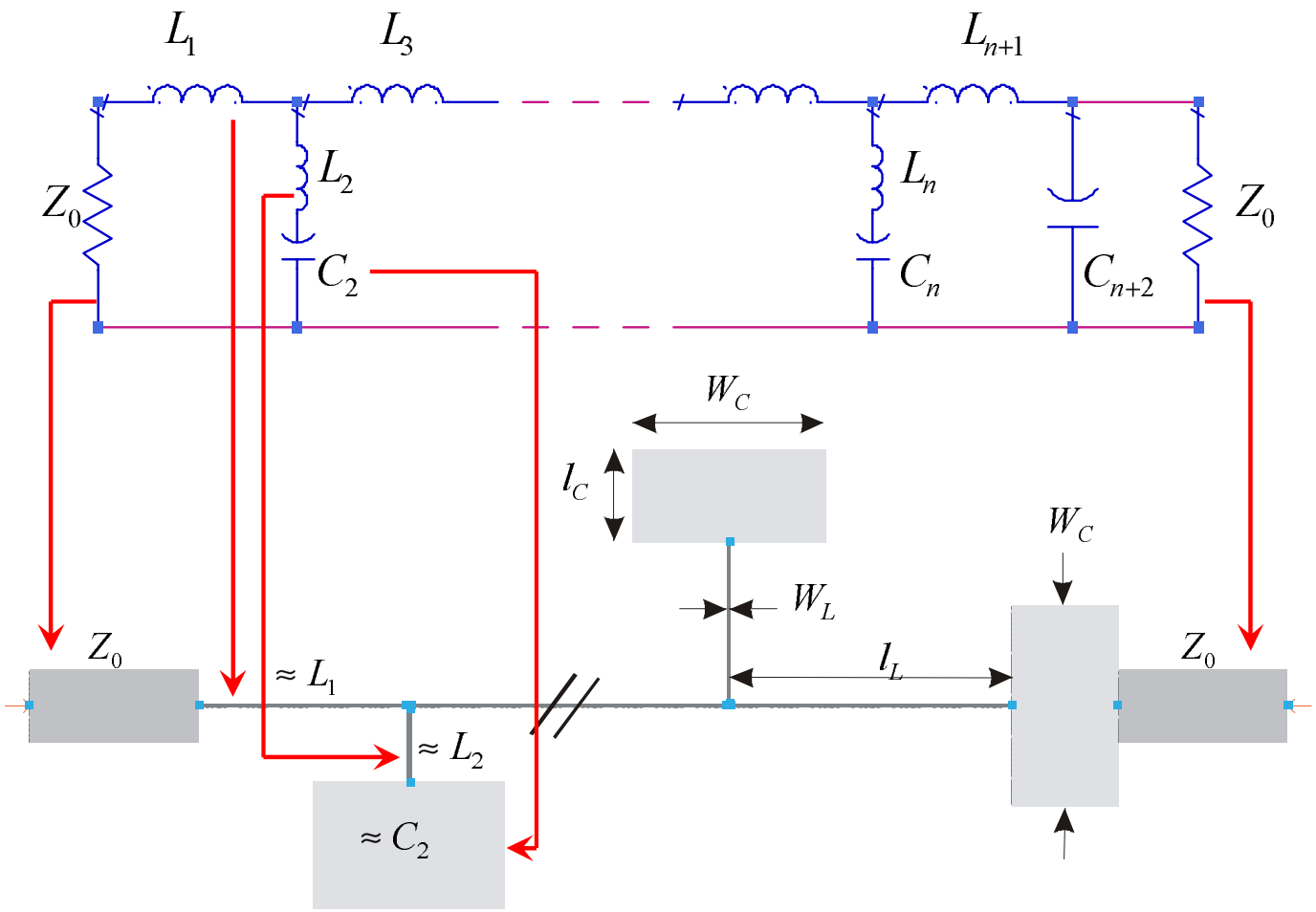


- Elección adecuada de longitudes, $W_{máx}$ y $W_{mín}$ para conseguir comportamientos como C o L. Correcciones de 'open-ends'.

Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Topologías

- Topología 'Semi-lumped':

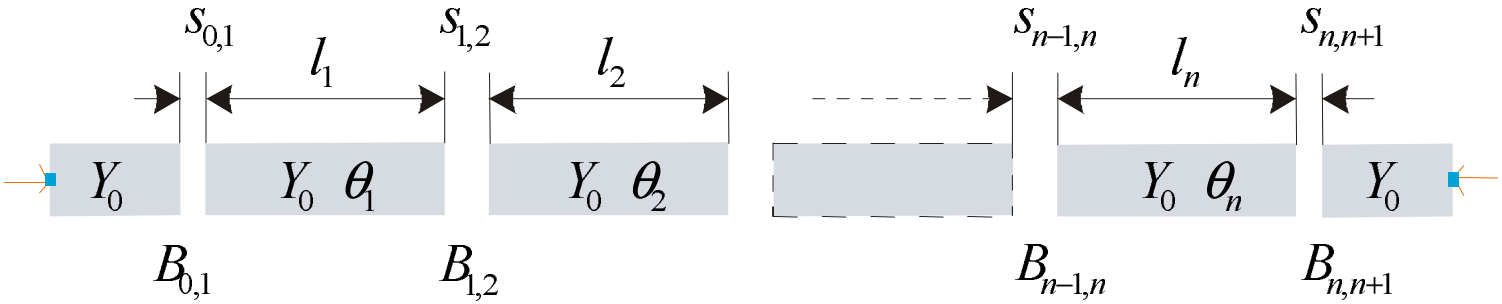


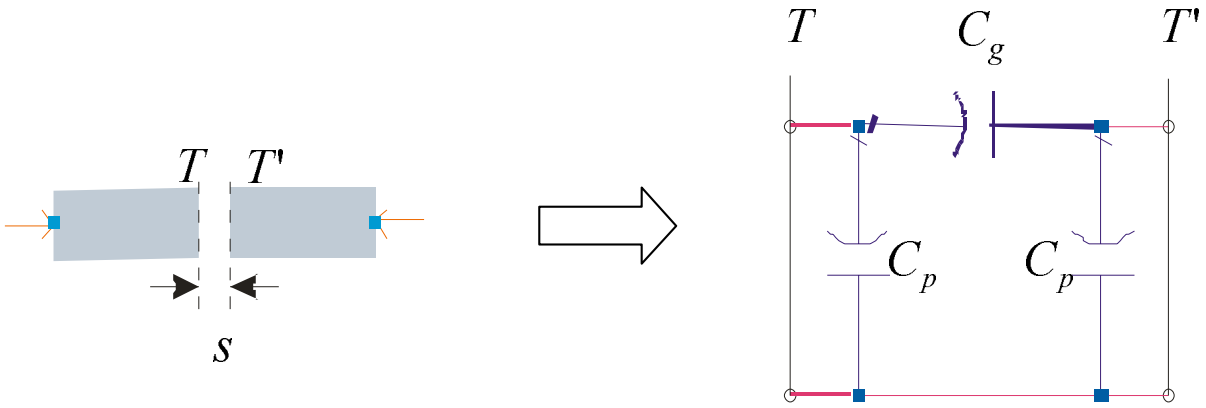
- Correcciones de 'open-ends' y uniones de líneas en T.

Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Topologías

- Topología basada en 'Gaps':



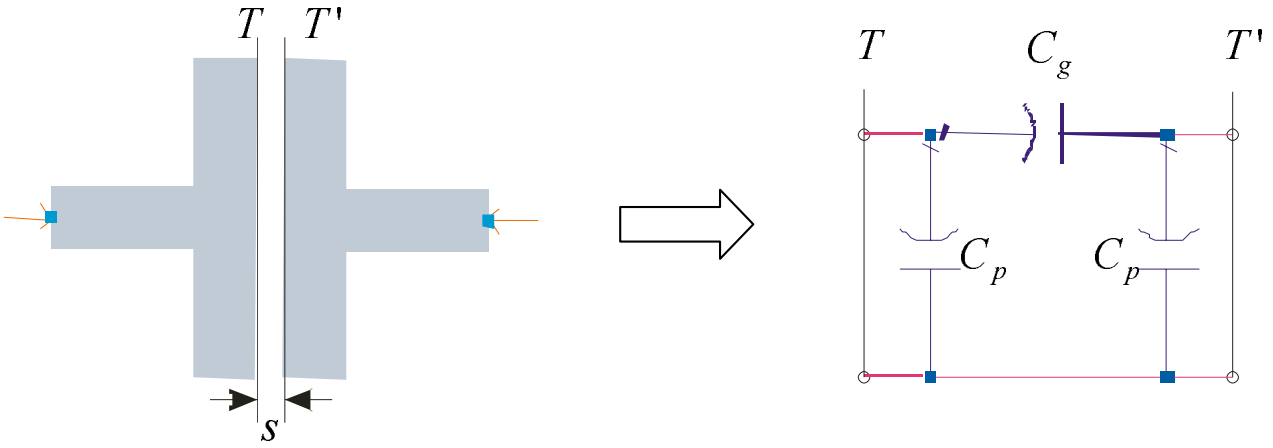


- Se requiere una simulación previa, de una parte del circuito, para la obtención de los parámetros Y y de las capacidades C_g y C_p del modelo en Π del *gap*.

Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Topologías

- En caso de obtener *gaps* demasiado estrechos se puede llevar a cabo una modificación en el layout.

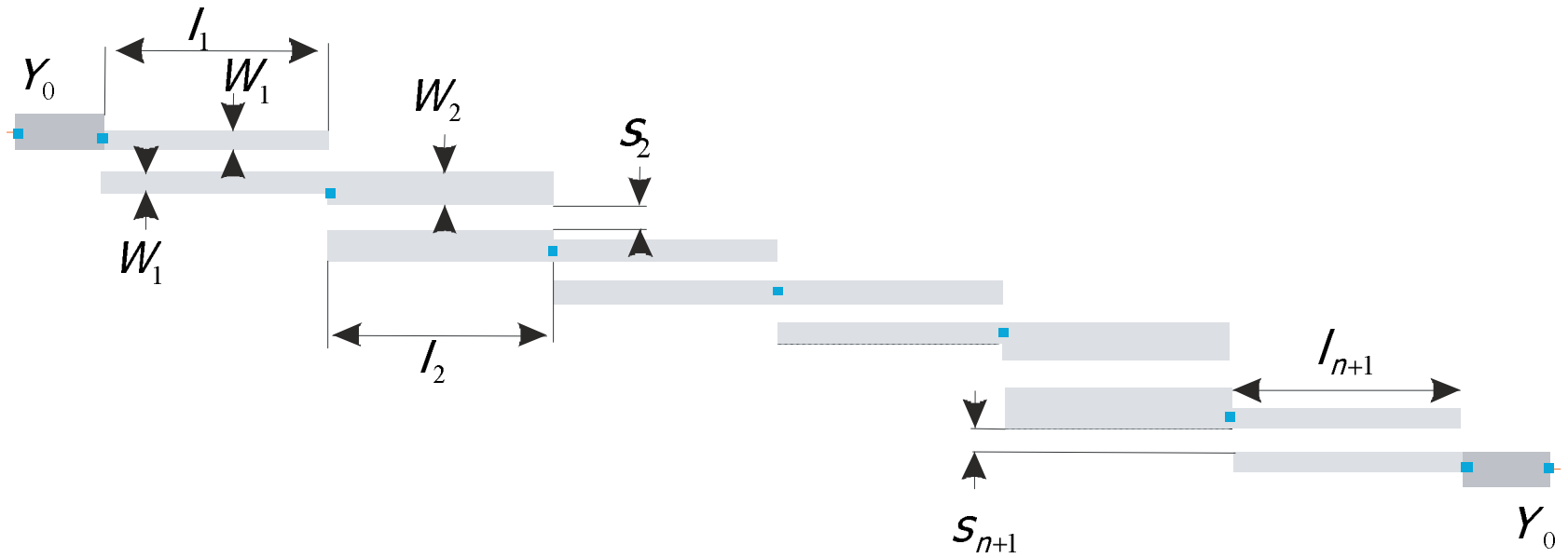


- Esto provoca un aumento en los valores de las capacidades C_g y C_p del modelo en Π.
- De esta forma se consigue aumentar la anchura del *gap* y solventar así las restricciones que impone el simulador ($s > 0.2h$) y la tecnología de fabricación.

Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Topologías

- Implementación mediante líneas paralelas acopladas:

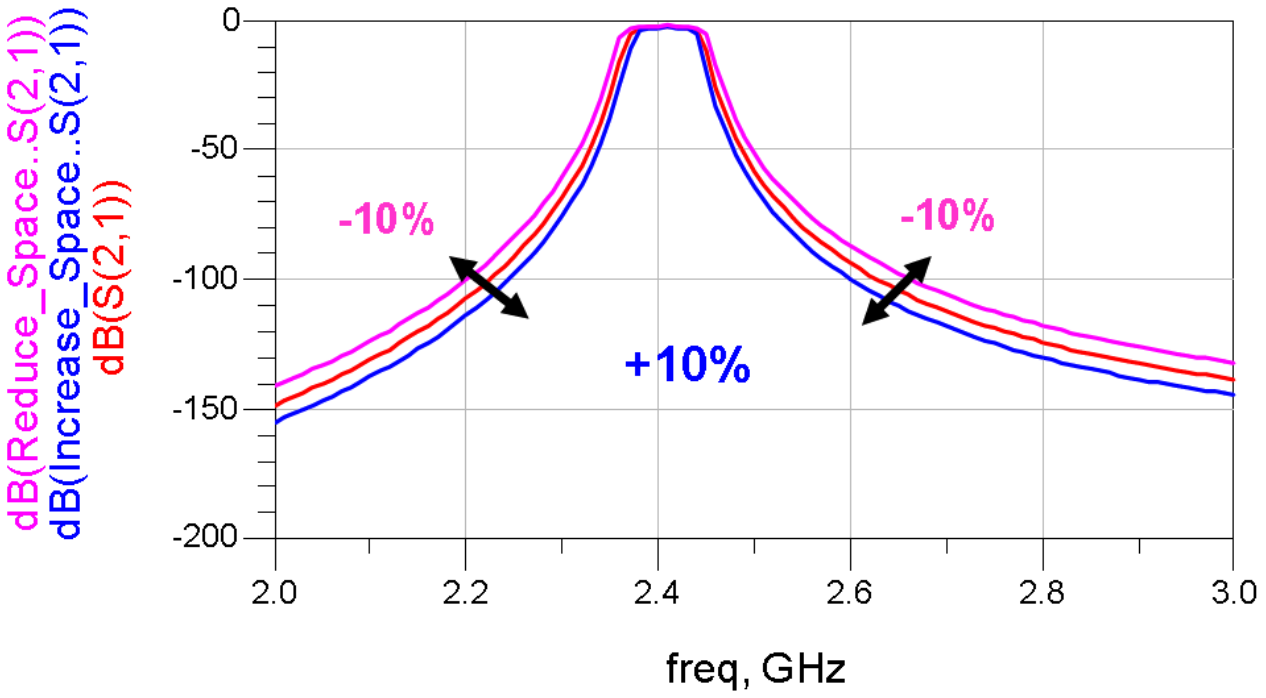


- Longitud de las líneas ≈ $\lambda/4$ (con correcciones de 'open-ends').
- Anchuras y longitudes bien definidas a partir de los procedimientos de diseño.
- Las separaciones entre líneas requieren, por lo general, del uso de simuladores para su ajuste final.

ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Topologías

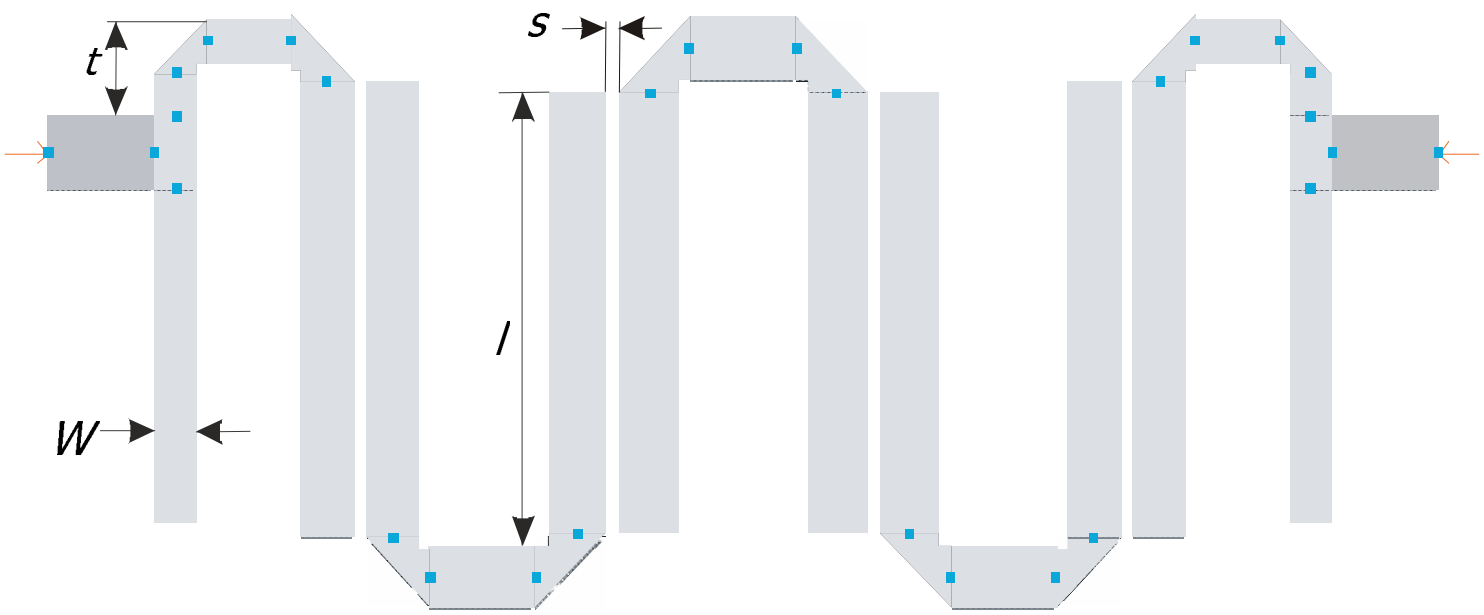
- El ajuste se realiza teniendo en cuenta la variación de la respuesta al aumentar o disminuir las separaciones entre líneas, manteniendo constantes el resto de parámetros.



Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Topologías

- Topología 'Hairpin':

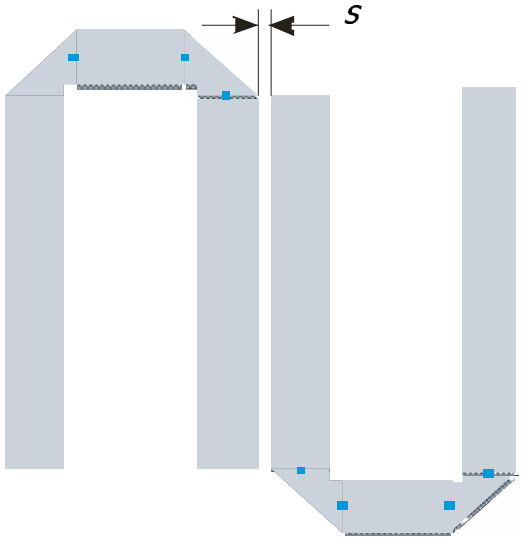


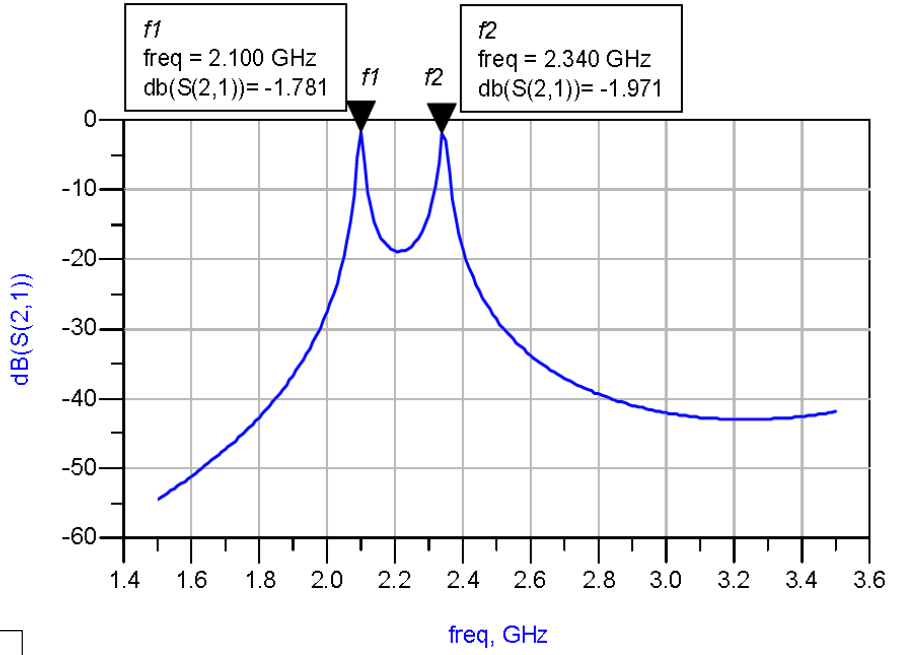
- Obtenida a partir de la anterior, doblando las líneas en U.
- Dimensiones bien definidas a partir de los procedimientos de diseño.
- Se requiere una simulación previa, de una parte del circuito, para la obtención de las separaciones entre estructuras resonantes.

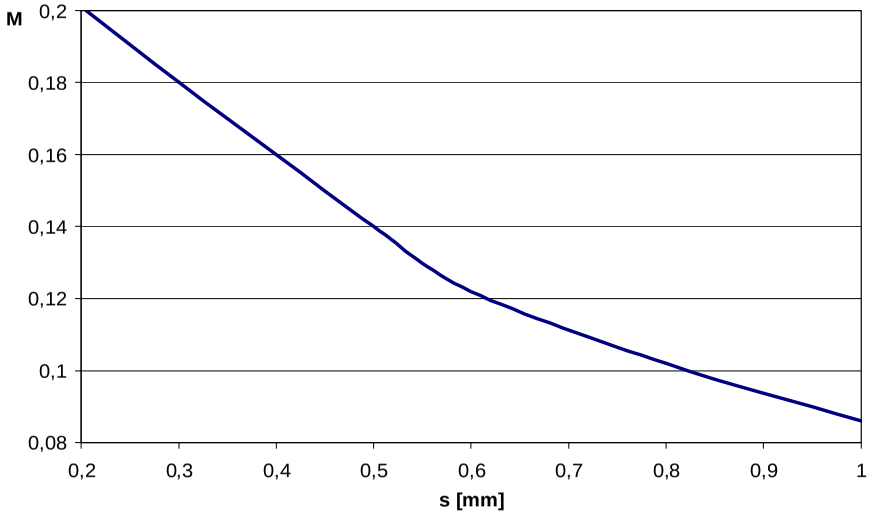
ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Topologías

- Topología 'Hairpin':





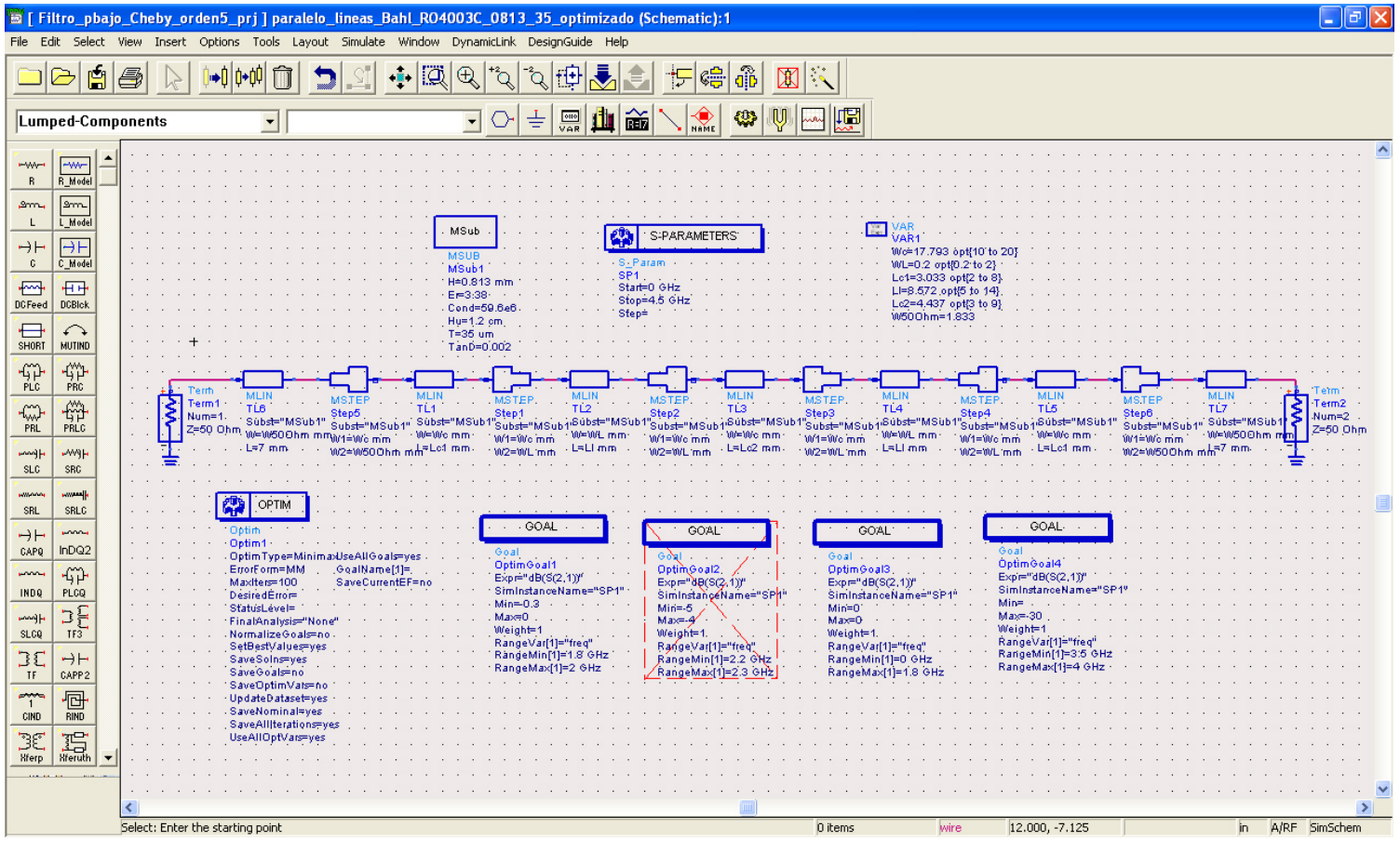


$$M = \frac{f_1 - f_2}{f_2 + f_1}$$

Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Simulación/optimización

- La simulación se lleva a cabo mediante *ADS*.

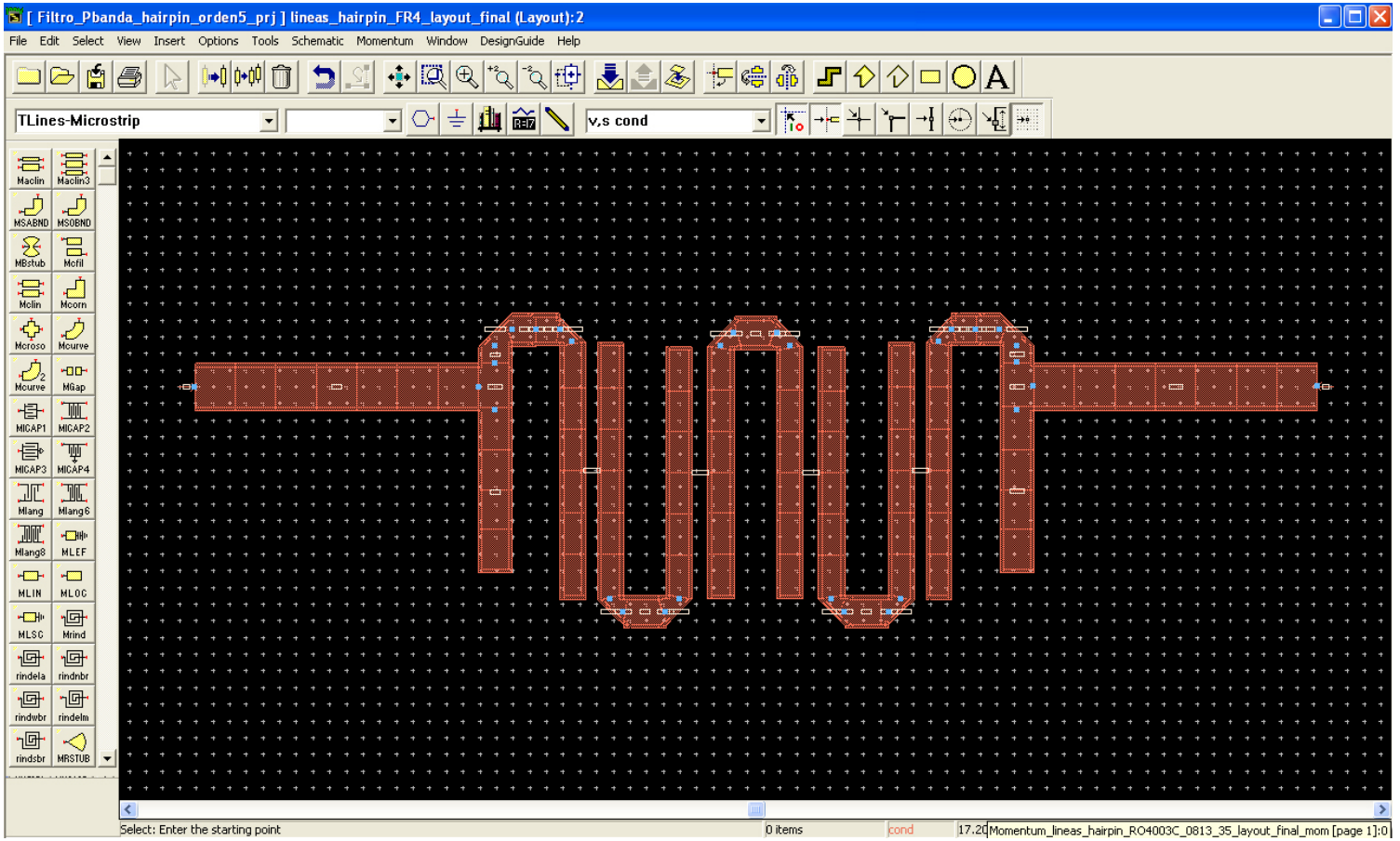


- Para la optimización de los diseños se establecen unos rangos de variación para los parámetros y unas metas a conseguir.

ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Simulación/optimización

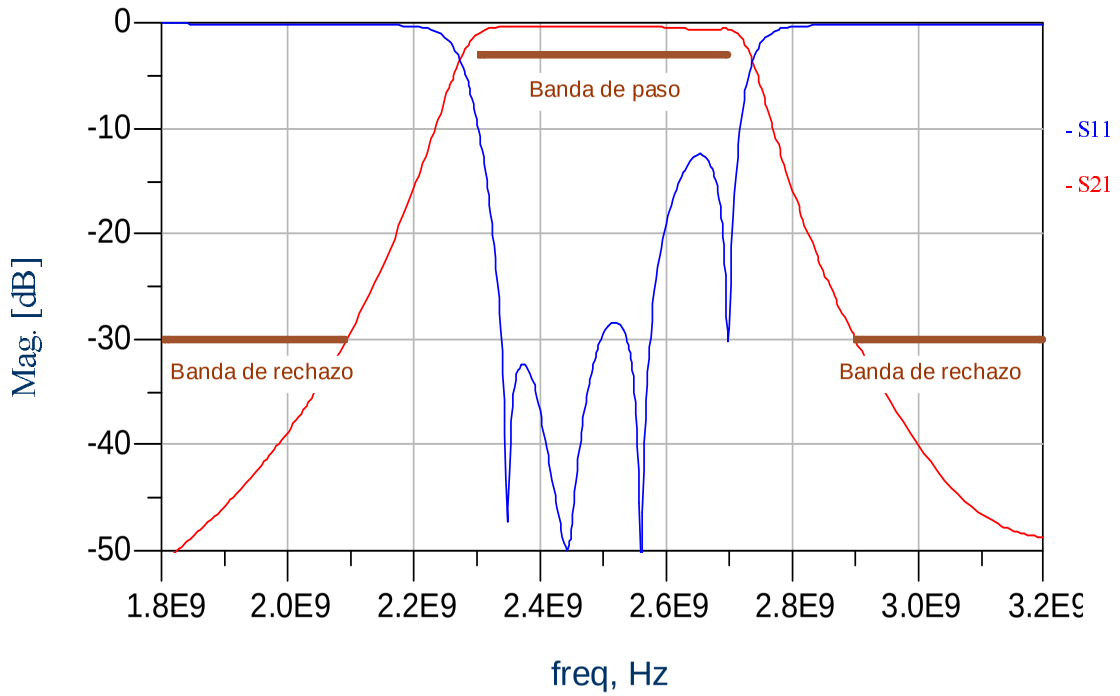
- Modificando el esquemático de *ADS*, sustituyendo las líneas de 50 Ω de los extremos por los puertos de entrada y salida, se pasa el diseño al simulador electromagnético *Momentum*.



Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Simulación/optimización

- Con *Momentum* se obtiene el layout del circuito, sobre el cual se realiza una simulación electromagnética.

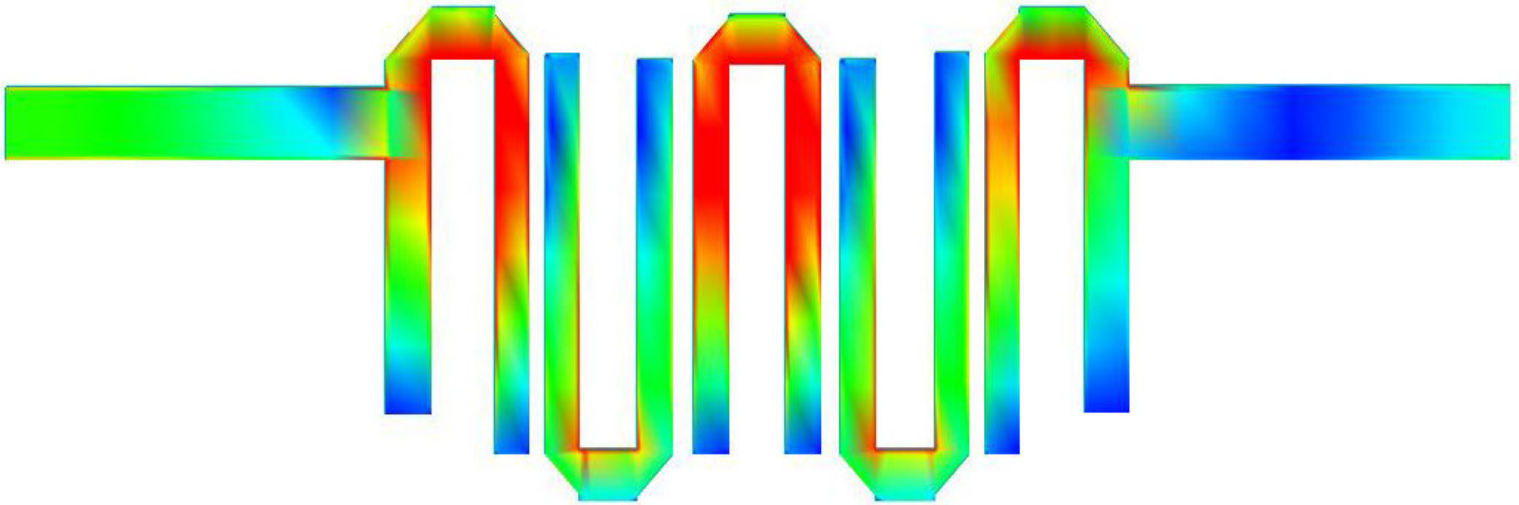


- Este tipo de simulación es más fiable que la realizada en ADS, basada en modelos de bloques.

Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Simulación/optimización

- Además, la simulación electromagnética permite visualizar las distribuciones de corriente a lo largo de las líneas.

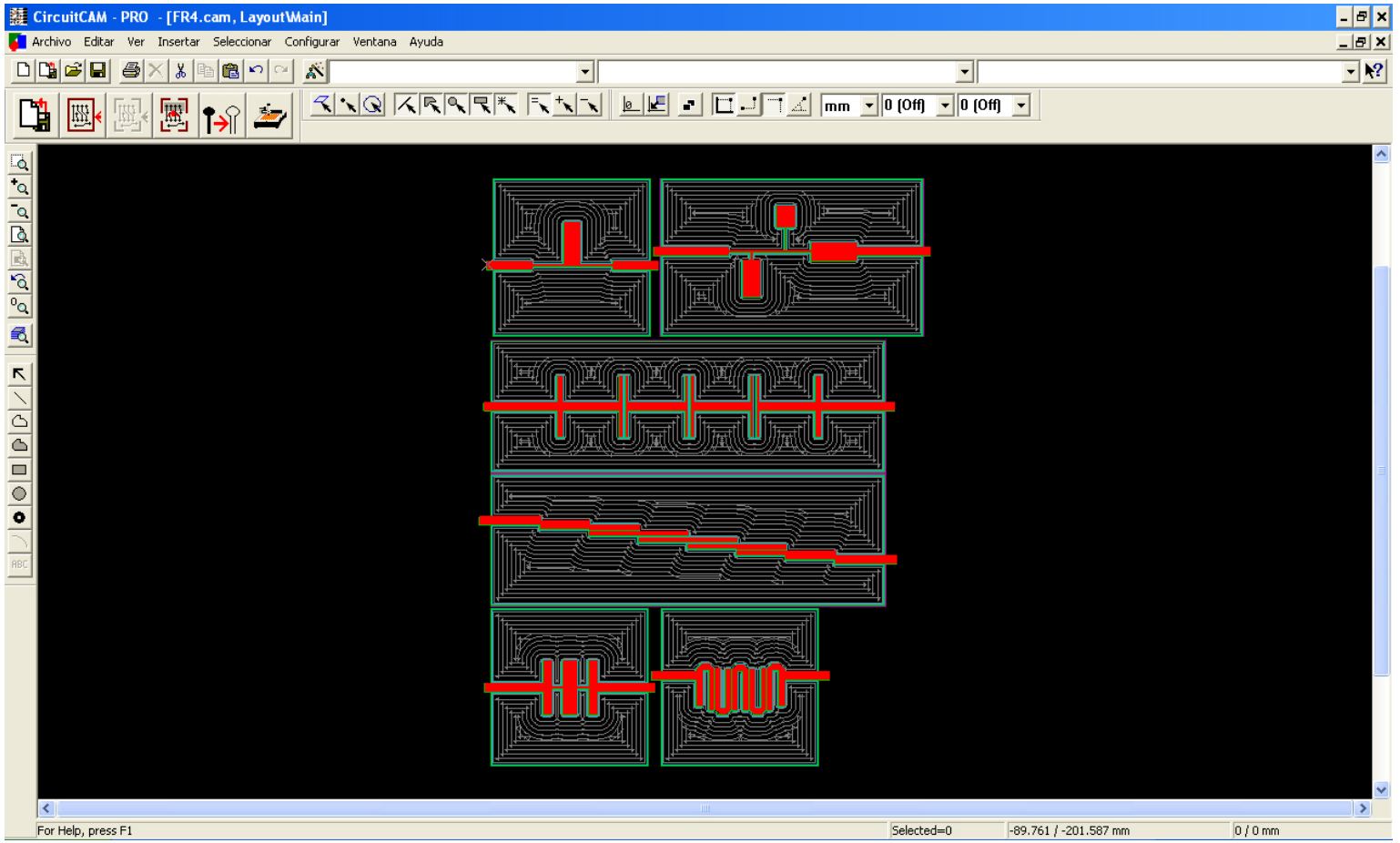


- Una vez obtenido el layout del diseño se generan, también desde *Momentum*, los archivos .gbr (Gerber) necesarios para su fabricación.

ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Fabricación

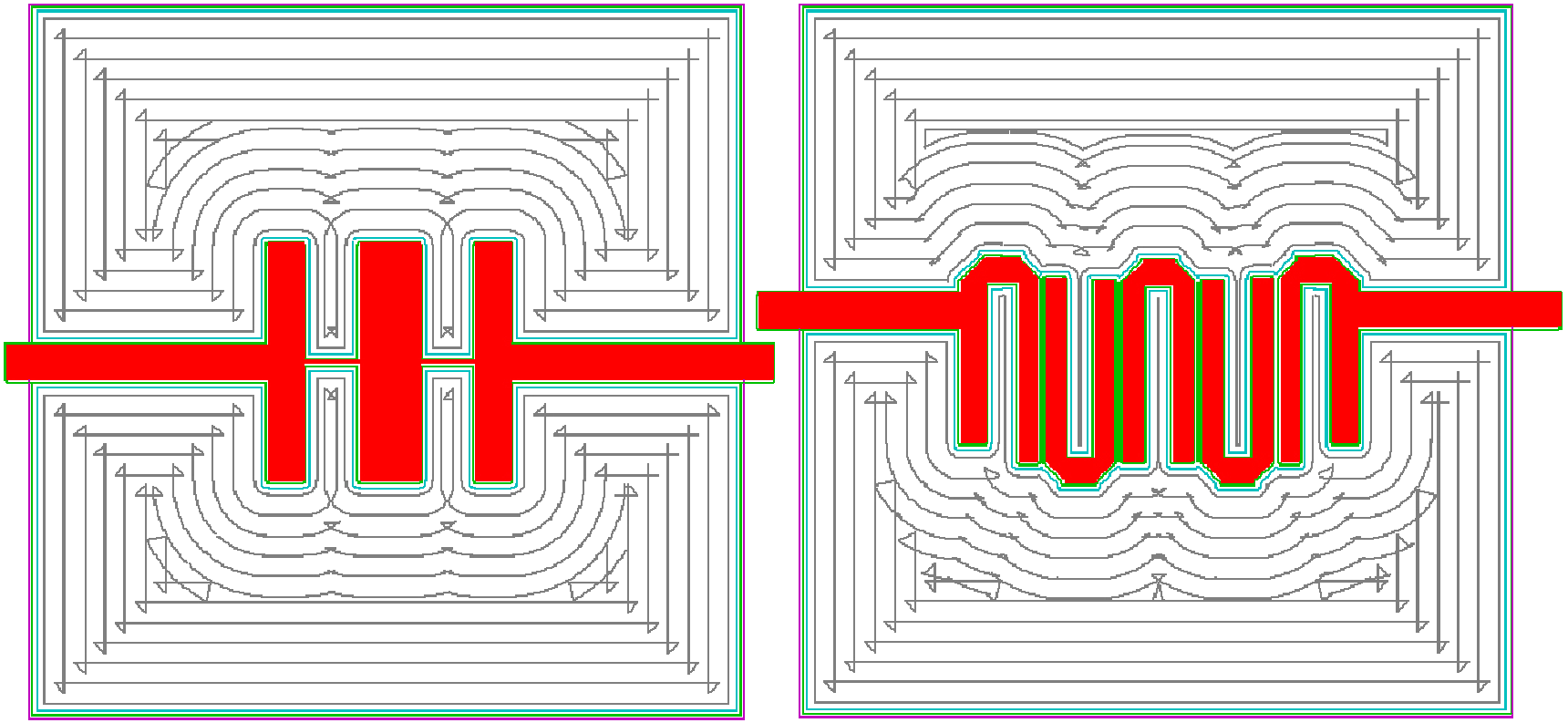
- Estos archivos .gbr se importan al *CircuitCam*.



- Mediante *CircuitCam* se definen las zonas de Rubout y se realiza el aislamiento.

ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Fabricación

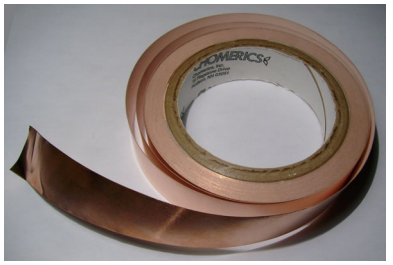


- De esta forma se generan los archivo .cam, con la información sobre los recorridos que han de realizar las herramientas de fresado, necesarios para los programas que controlan las máquinas de taladrado numérico.

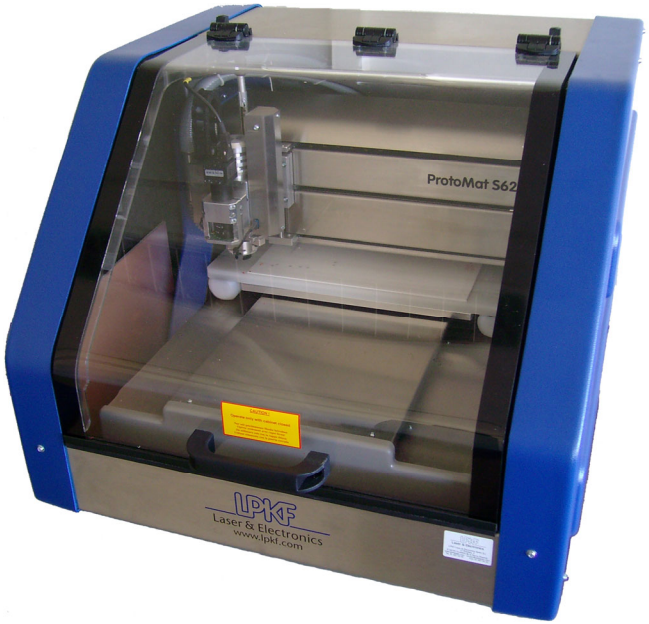
Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Fabricación

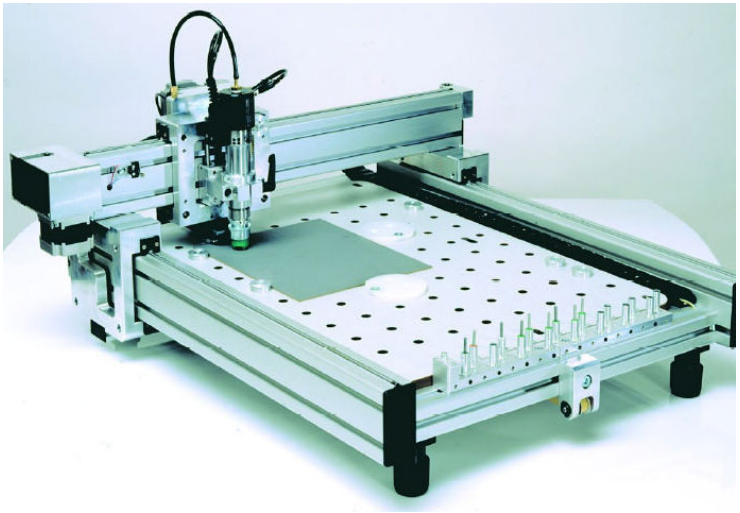
- Para la fabricación manual se utiliza un sustrato simple cara y cinta de cobre adhesiva, la cual es recortada y colocada sobre la cara libre de cobre de este.



- Para la fabricación mediante máquinas de taladrado numérico se utilizan dos modelos distintos:



ProtoMat S62 de *LPKF*

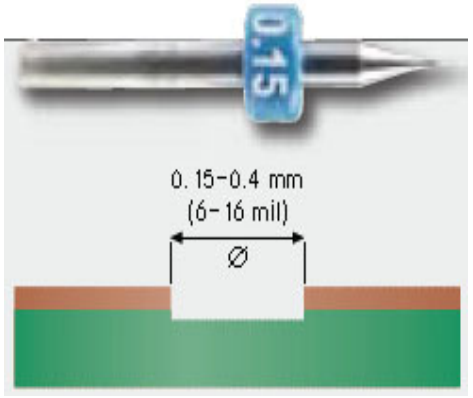


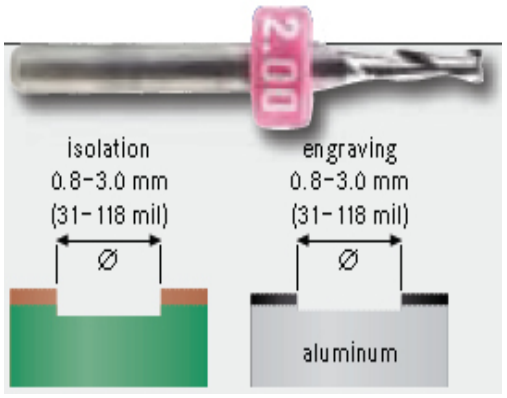
CCD de *Bungard*

Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

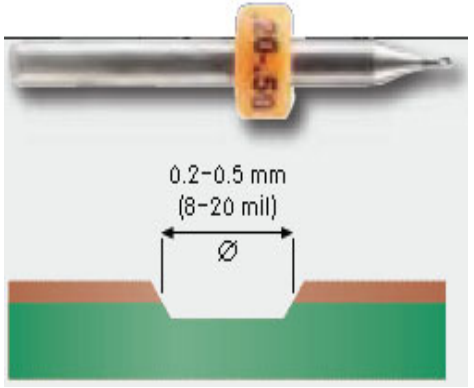
Fabricación

- Como herramientas de fresado se utilizan las del tipo *End Mill (RF)* y *End Mill* de 0.4, 1 y 2 mm:





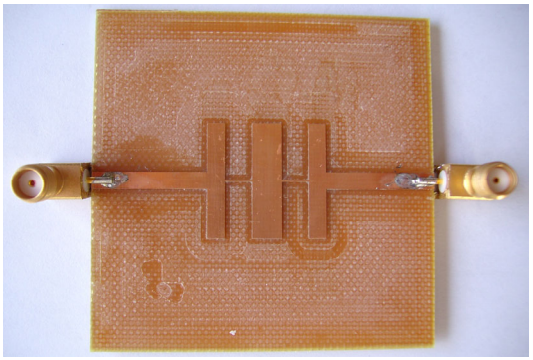
- De esta forma se obtienen perfiles abruptos, a diferencia de los obtenidos mediante herramientas del tipo *Universal Cutter*:



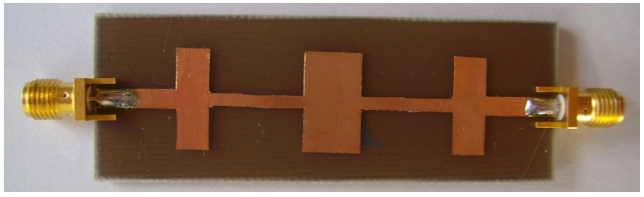
ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Fabricación

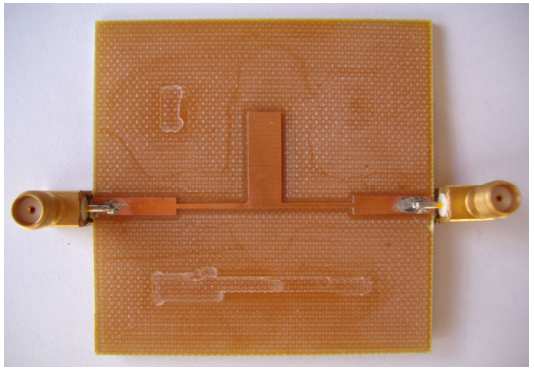
- Con todo esto se diseñan y fabrican los siguientes filtros:



Filtro paso bajo. Impedancias de paso. (Sustrato FR4)
-Frecuencia de corte: 2 GHz
-Rizado en la banda de paso: 0.2 dB
-Frecuencia inicial de la banda de rechazo (f_s): 3.5 GHz
-Pérdidas de inserción (atenuación a f_s): 30 dB



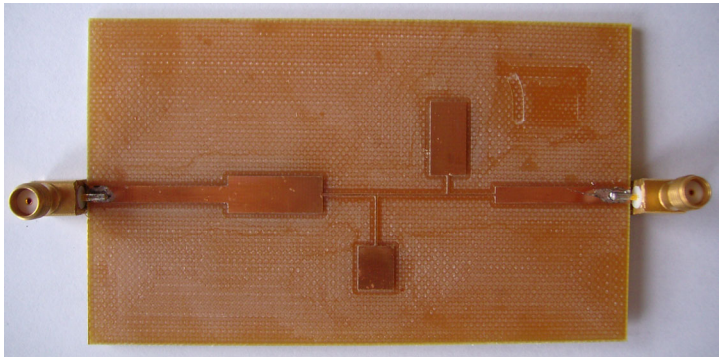
Filtro paso bajo. Impedancias de paso. (Cinta adhesiva)
-Frecuencia de corte: 1.8 GHz
-Rizado en la banda de paso: 0.2 dB
-Pérdidas de inserción: 30 dB a 3.5 GHz



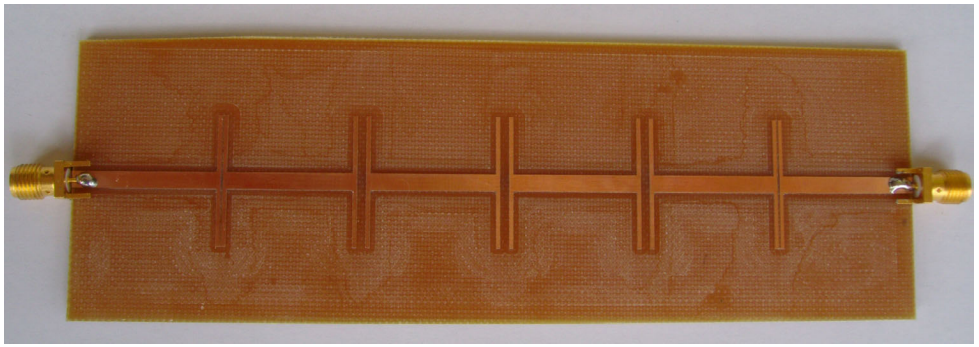
Filtro paso bajo. Topología 'Stubs'. (Sustrato FR4)
-Frecuencia de corte: 1 GHz
-Rizado en la banda de paso: 0.1 dB
-Frecuencia inicial de la banda de rechazo (f_s): 2.7 GHz
-Pérdidas de inserción (atenuación a f_s): 20 dB

Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Fabricación



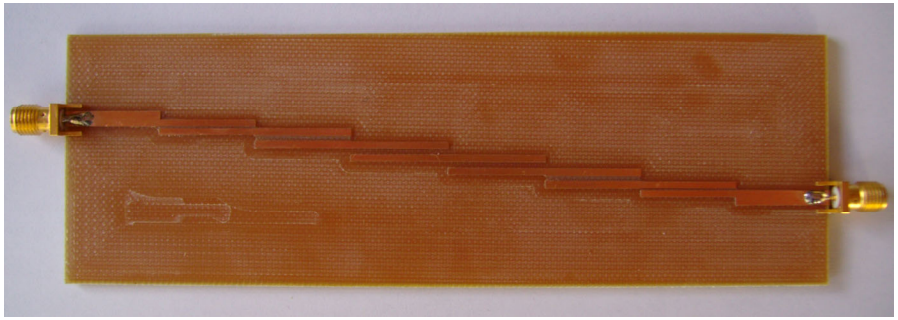
Filtro paso bajo. Topología 'Semi-lumped'. (Sustrato FR4)
-Frecuencia de corte: 1 GHz
-Rizado en la banda de paso: 0.18 dB
-Frecuencia inicial de la banda de rechazo (f_s): 1.2 GHz
-Pérdidas de inserción (atenuación a f_s): 38 dB



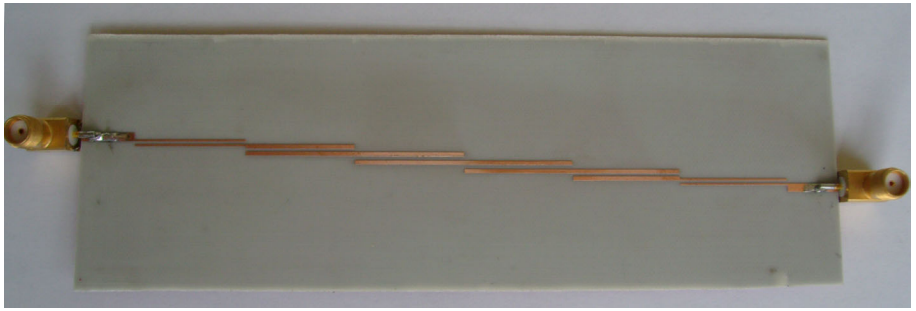
Filtro paso banda. Topología basada en 'Gaps'. (Sustrato FR4)
-Frecuencia inferior de corte: 1.92 GHz
-Frecuencia superior de corte: 1.98 GHz
-Rizado en la banda de paso: 0.1 dB
-Frecuencia final de la banda de rechazo inferior: 1.7 GHz
-Frecuencia inicial de la banda de rechazo superior: 2.2 GHz
-Atenuación mínima en la banda de rechazo: 50 dB

ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Fabricación



(Sustrato FR4)



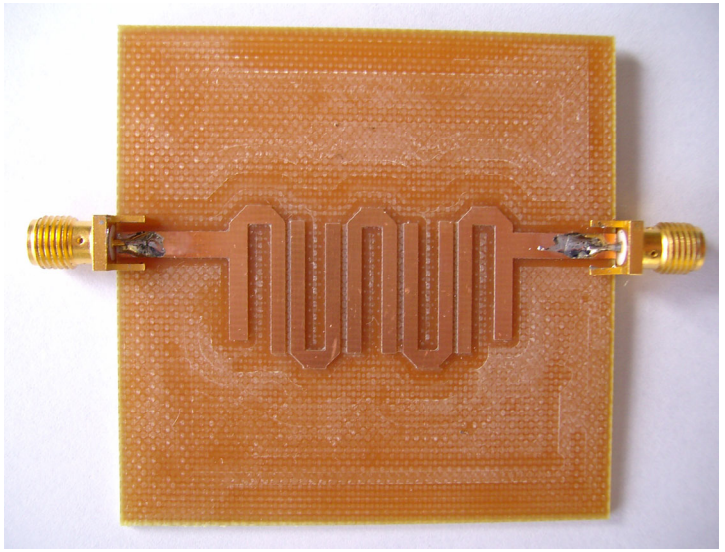
(Sustrato RO4003C)

Filtro paso banda. Líneas paralelas acopladas.

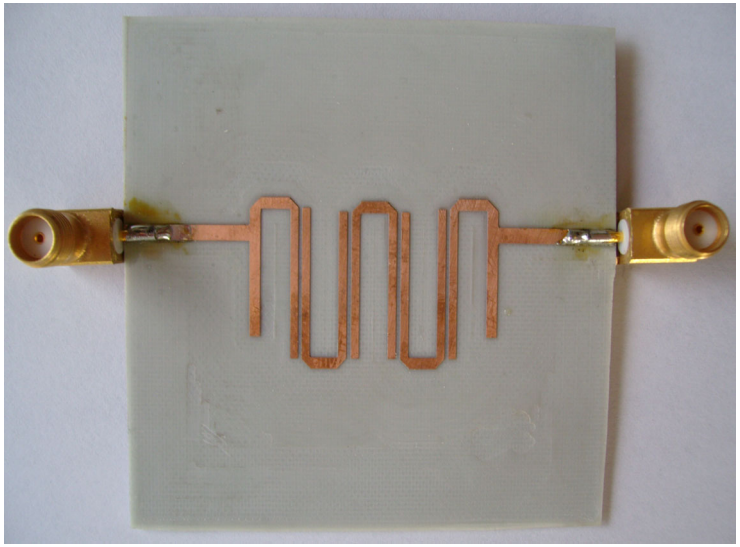
-Frecuencia inferior de corte: 2 GHz
-Frecuencia superior de corte: 2.4 GHz
-Rizado en la banda de paso: 0.1 dB
-Frecuencia final de la banda de rechazo inferior: 1.8 GHz
-Frecuencia inicial de la banda de rechazo superior: 2.6 GHz
-Atenuación mínima en la banda de rechazo: 30 dB

Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Fabricación



(Sustrato FR4)



(Sustrato RO4003C)

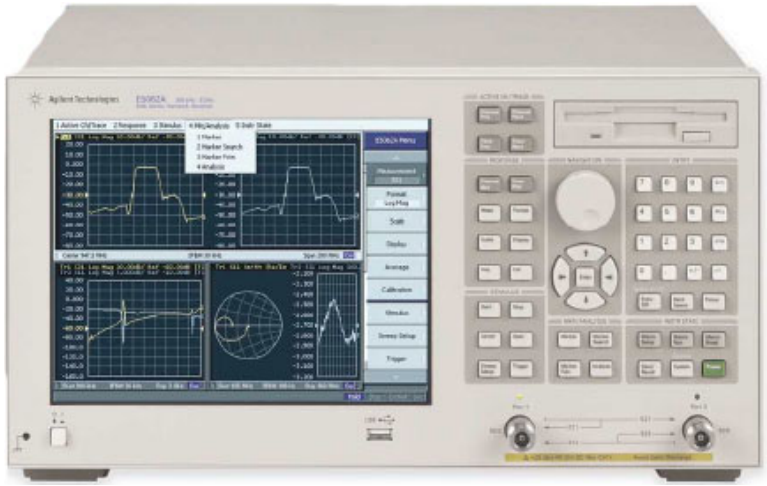
Filtro paso banda. Topología 'Hairpin'.

-Frecuencia inferior de corte: 2.3 GHz
-Frecuencia superior de corte: 2.7 GHz
-Rizado en la banda de paso: 0.1 dB
-Frecuencia final de la banda de rechazo inferior: 2.1 GHz
-Frecuencia inicial de la banda de rechazo superior: 2.9 GHz
-Atenuación mínima en la banda de rechazo: 30 dB

Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Medidas

- Las medidas se realizan mediante dos analizadores de redes distintos.



Analizador *E5062A* de *Agilent Technologies*

Analizador *MS4622A* de *Anritsu*

- Mediante el bus GPIB se extraen los resultados en formato Excel.
- Los resultados son importados a documentos de *MathCad* para su comparación con lo obtenido en las simulaciones.

ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores

Ampliaciones/mejoras

- Una serie de mejoras o ampliaciones que pueden realizarse a partir del presente proyecto son las siguientes:
  - ✓ Realizar el estudio, diseño y fabricación para filtros paso alto y rechazo de banda
  - ✓ Realizar las optimizaciones buscando una mejor adaptación de los filtros (aunque ello requiera sacrificar las especificaciones referidas a las pérdidas de inserción)
- En caso de contar con más material y nuevos equipos en el laboratorio:
  - ✓ Conseguir diseños con mejor respuesta disminuyendo las separaciones entre líneas (herramientas con Ø < 0.4 mm)
  - ✓ Realizar diseños para frecuencias mayores (analizadores de redes capaces de medir a f > 3 GHz)

ugr Universidad de Granada
Departamento de Electrónica y Tecnología de Computadores