

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

I.T. Telecomunicación (Sist. de Telecomunicación)

---



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

# Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

**TRABAJO FINAL DE CARRERA**

Autor/es:

**Borja Melo Miñana**

Director/es:

**Marta Cabedo Fabres**

**GANDIA, 2011**

# Índice de contenidos

<b>1 Motivación y objetivos</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción	1
1.2 Motivación	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo principal	2
1.3.2 Objetivos secundarios	3
1.4 Organización de la memoria	3
<b>2 Introducción a la Televisión Digital Terrestre (TDT)</b>	<b>4</b>
2.1 ¿Qué es la televisión digital terrestre?	4
2.2 Principales ventajas frente a la televisión a analógica.	5
2.3 Frecuencia Única	5
2.4 La norma DVB-T y el sistema de compresión MPEG-2	7
2.5 Ganancia de una red de frecuencia única e intervalo de guarda	10
2.6 Parámetros de calidad en TDT	11
2.7 Medidor de campo	12
2.8 La Televisión digital terrestre en España	14
2.9 La Televisión digital terrestre en la Comunidad Valenciana	17
2.10 Zonas de sombra en la TDT en la comunidad Valenciana	19
<b>3 Antenas para la transmisión y recepción de TDT</b>	<b>21</b>
3.1 Antenas y sus diferentes parámetros	21
3.2 Antenas empleadas para la transmisión de TDT	29
3.3 Antenas empleadas para la recepción de TDT	30
3.4 Antenas exteriores	30
3.5 Antenas interiores	35
3.6 Antenas Microstrip	36
3.7 Características de las antenas microstrip	38
<b>4 Diseño de un monopolo impreso conformado</b>	<b>40</b>
4.1 Antena de partida	40
4.1.1 Problemática de la antena de partida y soluciones	44
4.2. Monopolo plano diseñado sobre PVC	45
4.2.1 Aspectos básicos del CST Microwave studio	45
4.2.2 Adaptación de la antena de partida a los nuevos materiales	47
4.3 Monopolo plano conformado sobre tubo de PVC	55
<b>5 Conclusiones y líneas futuras</b>	<b>69</b>
5.1 Conclusiones	69
5.2 Líneas futuras	70
<b>6 Bibliografía</b>	<b>71</b>



# 1 Motivación y objetivos

## 1.1 Introducción

En el presente documento se describe el procedimiento seguido para diseñar una antena de tipo monopolo plano conformado con el fin de recibir Televisión Digital Terrestre (TDT). El proyecto se ha llevado a cabo en la Universidad Politécnica Superior de Gandía (EPSG).

En la actualidad la recepción de señales de TDT es llevada a cabo por las antenas Yagis y sus derivadas con el gran impacto visual que suponen en las grandes ciudades, asimismo el rango de frecuencias en el que trabajan es mayor al requerido a día de hoy.

El proyecto propuesto expone un nuevo modelo de antena con el objetivo de que en un futuro cercano reemplacen las existentes Yagis, ofreciendo un diseño más pequeño, compacto, barato y al mismo tiempo estéticamente más agradable a la vista. La antena presentada se diseña de forma empírica con el programa de simulación electromagnética en 3 dimensiones CST Microwave studio.

El programa de simulación empleado es el CST MICROWAVE STUDIO de la empresa CST (Computer Simulation Technology). El CST es una herramienta especializada en simulación electromagnética en 3 dimensiones de componentes de alta frecuencia, emplea un método de análisis de tipo onda completa, concretamente el Método de las Diferencias Finitas en el dominio del Tiempo (FDTD).

Conseguir el diseño final ha consistido en probar metalizaciones y sustratos de distinto grosor y forma, con la finalidad de obtener una adaptación óptima y unas propiedades de radiación adecuadas. Se ha tomado como referencia una antena diseñada en un proyecto finalizado hace unos años con el fin de modificar sus características para conseguir una buena adaptación en el ancho de banda que nos interesa. Con el objetivo cumplido el siguiente paso ha sido conformar la antena sobre un sustrato cilíndrico que representa una tubería de PVC.

Finalmente con el diseño final conformado se han ajustado de nuevo las dimensiones para que se asemejen a los resultados obtenidos en la antena plana. Los parámetros obtenidos se presentan en gráficas obtenidas mediante simulación.

# Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

Se ha supuesto que los resultados son similares a los que se obtendrían en la realidad empleando instrumentación de medida.

La intención de conformar la antena se debe al interés de girar la antena mediante la rotación manual de una estructura cilíndrica hacia zonas de mayor directividad. El diseño estaría situado en la fachada de una vivienda y sería útil en zonas críticas o de sombra de recepción de TDT en la Comunidad Valenciana como en Denia o municipios de alrededor.

La construcción de la antena no se lleva a cabo en este proyecto, aunque sí que se mencionan los materiales necesarios para tal fin.

## 1.2 Motivación

La razón principal del proyecto es probar un nuevo diseño de antena que tiene la tarea de sustituir las clásicas antenas Yagis, las cuales quedan estéticamente desagradables y antiguas.

Esta nueva antena será fabricada en tecnología impresa y presentará una geometría conformable en forma de cilindro, por lo que ofrecerá una estructura mucho más compacta, pequeña y agradable a la vista que las mencionadas Yagis.

Respecto a mi motivación personal en este proyecto se debe a que al estudiar teoría del electromagnetismo en la carrera me ha ocasionado un interés por desarrollar este proyecto por la satisfacción que crea diseñar una antena y probar que es eficaz. Además de ser una buena forma de ampliar mis conocimientos en el ámbito de las radiocomunicaciones y más en concreto en el funcionamiento de la TDT.

## 1.3 Objetivos

El objetivo principal y los objetivos secundarios son los siguientes

### 1.3.1 Objetivo principal

1. Diseñar una antena plana de estructura conformable que pueda ser colocada sobre un cilindro y pueda mimetizarse a modo de chimenea en la fachada de un edificio. La antena debe estar adaptada en la banda baja de UHF.

## 1.3.2 Objetivos secundarios

2. Optimizar la banda de recepción de la antena para que sea capaz de recibir todos los canales de TDT, filtrando al mismo tiempo las interferencias producidas por los sistemas de telefonía móvil operando en frecuencias cercana.
3. Elegir los materiales más adecuados para la fabricación, que permitan la conformación y mimetización de la estructura.

## 1.4 Organización de la memoria

La memoria de este proyecto consta de 6 capítulos. En el primero se presentan los objetivos y la motivación que conllevan llevar a cabo este proyecto. El segundo se define que es la televisión digital terrestre y su principal funcionamiento. Así como los parámetros para determinar su calidad y las regiones de sombra en la comunidad valenciana.

El tercer capítulo se describe brevemente los distintos parámetros de las antenas y los diferentes tipos de antena que hay. En el cuarto se detalla el diseño del monopolo plano conformado sobre una superficie cilíndrica de PVC y se simula con el programa CST.

En el quinto se expone la conclusión obtenida al finalizar la antena y se proponen nuevas metas para mejorar el diseño. Finalmente en el sexto y último capítulo se muestra la bibliografía empleada.

## 2 Introducción a la Televisión Digital Terrestre (TDT)

### 2.1 ¿Qué es la televisión digital terrestre?

La Televisión Digital es un sistema de difusión de la señal de televisión que utiliza la tecnología digital para la transmisión de la imagen, el sonido y servicios interactivos o de acceso a la sociedad de la información. Esta transmisión se puede efectuar por cable, por satélite o por ondas terrestres. En este último caso, se utilizan los mismos centros emisores y las mismas antenas que la televisión terrestre convencional. La TDT comporta una mejora de la calidad en la imagen y el sonido, la posibilidad de recibir nuevos servicios interactivos o de acceso a la sociedad de la información y de forma gratuita.

El canal de televisión emite la señal de televisión a la estación emisora, vía fibra óptica o por cualquier otro medio de transmisión. El centro emisor distribuye la señal en su área de cobertura, la cual es recibida mediante la misma antena por la que actualmente recibimos la televisión analógica. Finalmente, la emisión TDT llega a cada televisor gracias a un decodificador digital o bien a un televisor con receptor digital incorporado.

La TDT se transmite por radiofrecuencia, de forma similar a la televisión analógica con la diferencia que en televisión digital las señales se transmiten multiplexadas, es decir, se permite la transmisión de múltiples canales en un mismo rango de frecuencias (como un canal UHF o VHF). La cantidad de datos que se pueden transmitir, y por lo tanto, el número de canales, depende directamente del método de modulación del canal. Los datos se comprimen normalmente en formato MPEG-2.

La TDT se recibe mediante un decodificador (integrado o no al televisor) que decodifica la señal recibida. Aun así, y debido a las interferencias producidas por la transmisión por radiofrecuencia, se puede necesitar una actualización a la antena de TV. Ahora mencionaremos las principales ventajas de la TDT respecto la Televisión analógica.

## 2.2 Principales ventajas frente a la televisión a analógica.

La optimización del uso del espectro radioeléctrico permite aumentar en 4 o 5 el número de programas por frecuencia o canal múltiple, lo que posibilita un incremento de contenidos respecto al sistema analógico.

La señal digital es mucho más inmune a interferencias, dado que permite aplicar procesos de compresión de imagen y corrección de errores que dan como resultado una calidad de imagen y de sonido superior, pareciendo a la tecnología DVD. Además, como los receptores digitales son más sensibles que los analógicos, la recepción de calidad queda garantizada respecto a la analógica en igualdad de condiciones de emisión.

Además de la mejora de calidad de recepción de la señal, la TDT permite formatos mejorados de vídeo (panorámico o 16:9), así como sonido digital Dolby 5.1, subtítulos en varias lenguas, etc. La TDT posibilita también el acceso a nuevas aplicaciones y servicios interactivos basados en el estándar MHP: Guías Electrónicas de Programación (EPG), publicidad interactiva, encuestas, concursos o servicios de información (noticias, tiempos, tránsito, etc.)

La implantación de Redes de Frecuencia Única permite que la frecuencia de un canal múltiple de televisión digital terrestre se pueda repetir en los diversos transmisores de un área geográfica. Esto permite que una emisión se pueda sintonizar por el mismo canal en todo el territorio servido por esta frecuencia.

## 2.3 Frecuencia Única

La Red de Frecuencia Única (SFN o Single Frequency Network) es un tipo de radiodifusión donde distintos transmisores emiten la misma señal en el mismo canal de frecuencia. La Televisión Digital Terrestre usa este concepto con el propósito de conseguir un mejor provecho del espectro en las bandas de televisión en comparación con las que se usan en televisión analógica, que era con Red de Frecuencia Múltiple (MFN o Multiple Frequency Network).

Una de las ventajas de este sistema es que en las zonas intermedias entre dos transmisores la potencia total recibida puede verse incrementada y por tanto las zonas muertas (zonas donde no hay cobertura por estar más alejadas del transmisor) que existían en televisión analógica se pueden cubrir mediante estaciones de menos potencia y también mediante repetidores. Hay que tener en cuenta que las señales de los transmisores más lejanos pueden llegar con un retardo mayor del permitido por el intervalo de guarda, lo que provocaría interferencias en los receptores. Hay que

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

señalar que si los contenidos de programas o datos son distintos, las redes SFN ya no son útiles y se produce interferencia, teniendo que recurrir a las tablas en la que se indican los márgenes de protección.

La transmisión con redes de frecuencia única se pueden considerar como una forma de propagación multicamino. Los receptores reciben los ecos de la misma señal, de modo que pueden formar interferencia tanto constructiva como destructiva lo que puede causar desvanecimientos o “fading”. Esta problemática es especialmente sensible en las comunicaciones de banda ancha y las comunicaciones digitales de alta velocidad ya que los desvanecimientos son selectivos en frecuencia. También cabe tener en cuenta la llamada Interferencia Intersimbólica (ISI) debida a los ecos. Tanto los desvanecimientos como la ISI se pueden solucionar con esquemas de diversidad y filtros ecualizadores.

- La modulación que emplea la televisión digital terrestre es OFDM, esta modulación usa un gran número de moduladores de poco ancho de banda en lugar de un solo modulador con un gran ancho de banda. Cada modulador tiene su propio subcanal y su propia subportadora. Gracias a esto se puede introducir un intervalo de guarda entre símbolos que después nos permitirá eliminar la Interferencia Intersimbólica. Además la codificación dispone de mecanismos para la detección y corrección de errores que mejoran la tasa de error de bit en las señales recibidas en entornos especialmente desfavorables. En cualquier caso la información transportada por la señal es un flujo digital MPEG-2, cuya calidad de imagen y sonido son idénticas a las transmitidas, salvo casos de pobre nivel de señal o entornos radioeléctricos especialmente ruidosos. La experiencia práctica dice que las emisiones de TDT se ven como se transmitieron, o no se ven, si bien una recepción óptima suele necesitar menor potencia de señal que una transmisión analógica de calidad normal. Una explicación más detallada de esta modulación la podemos encontrar en [2].

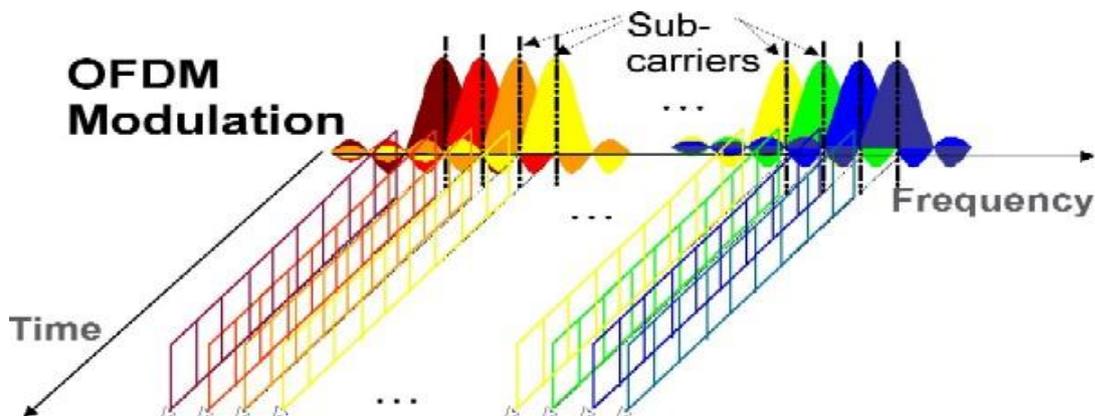


Figura 2.1 Modulación OFDM

Las ventajas de utilizar redes de frecuencia única son las siguientes:

- Menor potencia de transmisión debido a la ganancia interna
- Alta probabilidad de localización
- facilidad de rellenar zonas vacías gracias a la reutilización de frecuencias.

Sus principales desventajas son:

- La red no puede dividirse, todas las estaciones deben emitir los mismos canales en las mismas frecuencias
- Es necesaria una sincronización entre transmisores, para que todos emitan la misma señal al mismo tiempo.

Esta modulación está incluida dentro de la norma DVB-T que detallamos a continuación.

## 2.4 La norma DVB-T y el sistema de compresión MPEG-2

La televisión digital se basa en la norma DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial) que a su vez parte del formato de vídeo digital MPEG-2, al que incorpora una serie de cabeceras y métodos para añadir información adicional.

El sistema DVB-T es de los más complejos dentro de su familia de estándares, esto es debido a la hostilidad del medio al que se enfrenta. A parte de la utilización del sistema MPEG-2 otros elementos que la identifican son:

- Una modulación COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) que divide la información en un número de portadoras, el modo "2k" con 1075

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

portadoras y el modo "8k" con 6817. Ambos sistemas son compatibles entre sí. Cada una de las portadoras es modulada con una tasa binaria baja para que el tiempo de símbolo sea mayor que la dispersión temporal del canal.

- Se usa un código exterior Reed-Solomon y entrelazado (interleaving) al igual que con los otros estándares.
- Las portadoras de datos en el marco de COFDM pueden usar QPSK y diferentes niveles de modulación QAM y tasas de código.
- El sistema de modulación combina OFDM con QPSK/QAM. La mayor ventaja de OFDM es su buen comportamiento en propagación multitrayecto.
- El sistema DVB-T introduce un intervalo de guarda para protegerse contra ecos y evitar la interferencia intersimbólica. Las características del estándar DVB-T permiten que si el eco cae dentro del intervalo de guarda beneficie a la señal, además, posee un alto grado de inmunidad a interferencias de banda estrecha. Debido a que la señal de DVB-T tiene un gran ancho de banda, solo afectaría a la señal de TV analógica como ruido blanco. Esto permite la utilización de canales que hasta ahora no se podrían utilizar.

La técnica de compresión MPEG-2 se utiliza para reducir el caudal binario requerido la cual se basa en las siguientes propiedades de la señal digital:

- Redundancia temporal: Una secuencia de varios frames consecutivos tienen mucha información en común que puede ser reducida, un punto de la imagen suele repetirse en la imagen siguiente, por lo que se emplea la técnica de codificación DCPM con predicción inter-trama con técnica de compensación de movimiento. Con esta técnica se envían vectores de movimiento de macrobloques, de forma que si un macrobloque no cambia respecto a la trama de referencia, se indica que no hay cambio, si cambia de posición se envía el vector de posición, y si cambia entero se envía una nueva trama de referencia. En la figura 2.2 se ve más claro:

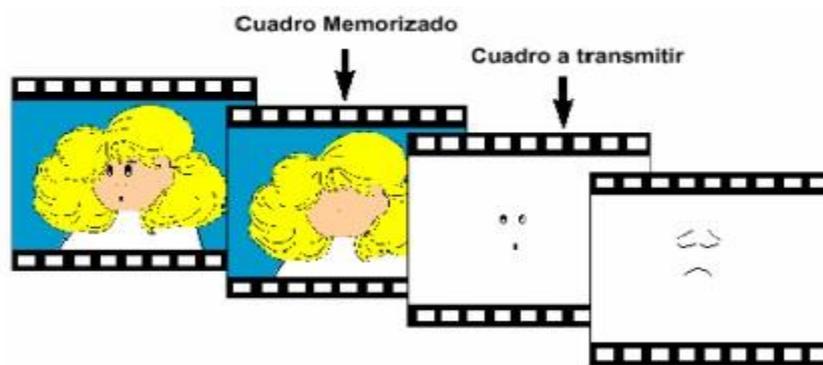


Figura 2.2 Redundancia Temporal

- Redundancia espacial: Se basa en que varios puntos adyacentes suelen ser muy parecidos (tienen la misma crominancia y luminancia). Por tanto, se puede reducir el número de bits a transmitir realizando una transformación de dominio y aplicando al resultado una cuantificación.

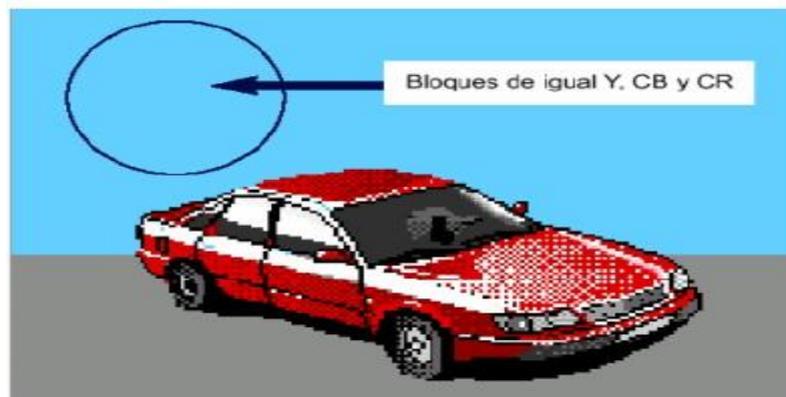


Figura 2.3 Redundancia espacial

- Redundancia estadística: Existen grupos de bits que se repiten continuamente, por lo que se puede reducir la tasa de transmisión con códigos de longitud de segmento y códigos de longitud variable, asignando a los códigos más cortos los símbolos más frecuentes. Para realizar esta codificación se utilizan los códigos Huffman.

En TV digital se ha adoptado este estándar, que es la continuación del primer estándar emitido MPEG-1. MPEG-2 está optimizado para transmisión de TV porque consigue velocidades entre 1,5 y 6 Mbits/s con baja degradación en la calidad de imagen. Además, soporta diferentes relaciones de aspecto (4:3, 16:9), formatos de vídeo

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

(barrido entrelazado y progresivo), mejoras de la señal, etc.

Como cualquier señal digital, el canal de transmisión puede compartirse con otros programas o señales de audio y vídeo. Por ello el MPEG-2 no sólo contempla la compresión de las señales de audio y vídeo de un programa, sino también la organización y empaquetado del múltiplex de uno o más programas, pudiendo ser separados en recepción. Una vez realizada la compresión de las señales de audio y vídeo, la trama binaria se organiza en paquetes de 188 bytes de longitud, de los cuales un byte es de sincronismo, 3 de cabecera y 184 de carga útil. A estos paquetes se les denomina paquetes de transporte MPEG-2 (MPEG-2 TS, por Transport stream). Dentro del MPEG-2 TS también pueden ir otros datos digitales que no correspondan a vídeo o audio.

Para ampliar y profundizar en el tema de La norma DVB-T y el sistema de compresión MPEG-2 podemos recurrir a [10].

### 2.5 Ganancia de una red de frecuencia única e intervalo de guarda

La posibilidad de crear una red de frecuencia única forma una de las grandes ventajas de un sistema basado en OFDM. Dado que la señal puede llegar a un receptor desde varios transmisores, dentro del intervalo del símbolo, se puede producir una suma de todas las señales de la red. Así, este efecto, produce una ganancia dentro de la red. Este concepto de ganancia de red tiene dos factores: factor aditivo y el factor estadístico.

El factor aditivo se basa simplemente en el hecho que hay más de una señal útil y todas las señales se suman de manera constructiva. La componente estadística (hay que recordar que los estudios de propagación estaban basados entre otros en factores estadísticos) se basa en que la desviación estándar de la suma de todas las señales es siempre menor que la suma de las desviaciones de cada señal. Por tanto es más fácil conseguir porcentajes mayores de probabilidad de cobertura.

La elección del intervalo de guarda es una situación crítica a la hora de diseñar nuestro sistema. Por un lado un mayor tiempo de guarda se traduce en una disminución de la tasa binaria disponible con lo que los servicios disponibles en la TDT se verían afectados, por otro lado un mayor tiempo de guarda redundaría en la mejora de la ganancia de nuestra red SFN dando así una alta probabilidad de cobertura.

Es esto por lo que se han definido distintas longitudes de guarda dependiendo de las

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

condiciones de implantación. Así por ejemplo, para difundir emisiones locales o regionales este tiempo de guarda podemos considerarlo más pequeño; mientras para grandes redes SFN se hace necesario un intervalo mayor.

Por ejemplo que un intervalo de guarda sea de  $T_g=224\text{ms}$  (sistema 8k-FFT), quiere decir que el máximo retardo que pueden llegar las señales de los otros transmisores ese si no queremos recibir interferencias, lo que traducido en distancia es  $d=c\cdot T_g=67.2\text{Km}$ , es decir la máxima distancia a la que podemos colocar un emisor de otro en una red de frecuencias única para evitar interferencias.

Vamos a ver cuáles son los principales parámetros que hay que tener en cuenta a la hora de evaluar la calidad de una señal de TDT.

### 2.6 Parámetros de calidad en TDT

Los principales parámetros para medir la calidad de la televisión digital terrestre son los siguientes:

- **Nivel de señal:** Es la señal de TDT que se recibe en la toma de la vivienda o local, la cual procede de la antena a través de un cable coaxial, se mide en  $\text{dB}\mu\text{V}$  o en  $\text{dBm}$ . El valor recomendable oscila entre 45 y 70  $\text{dB}\mu\text{V}$
- **El BER (Bit Error Ratio):** Es el parámetro fundamental que nos determina la calidad de la señal demodulada (trama de transporte) de los sistemas de televisión digital terrestre (se mide después del descodificador del Reed Solomon). Cuantifica el número de errores de bit de una trama sea cual fuere el origen del error (falta de nivel de señal, C/N pobre, distorsiones, etc.). Por lo tanto, midiendo tan solo este parámetro y manteniéndolo por debajo de los límites de decodificación correcta, aseguramos la calidad de la señal recibida. Dependiendo de cuántos bits erróneos lleguen, la señal se hará más o menos decodificable. Al ser el BER quien cuantifica los bits erróneos que están llegando al receptor, si esa cantidad de bits transformados sobrepasa una determinada cantidad, el receptor será incapaz de corregirlos. El valor mínimo que puede tomar el BER es  $1\cdot 10^{-11}$ . Cuando se utiliza un medidor de campo en TDT, normalmente se visualizan dos medidas de BER:
  - CBER: Medido a la salida del demodulador (Es la señal tal y como se recibe)
  - VBER: Medido después del descodificador de Viterbi (señal corregida)

de errores)

El VBER al ser una señal que ha sido corregida de errores, su valor máximo siempre va a ser  $1 \times 10^{-8}$  y se considera que la señal, está libre de errores. No es posible obtener un valor más alto puesto que todos los bits recibidos han sido corregidos sin problemas. Ha sí que la medida que se suele mirar más es el CBER. El CBER puede variar entre  $1 \times 10^{-1}$  y  $1 \times 10^{-5}$ . Este parámetro nos da la calidad de la señal a la entrada sin pasar por ningún tipo de filtro. El valor recomendable de CBER para que una instalación de TDT capte una señal recomendable según la normativa de ICT es de  $1 * 10^{-3}$ .

- **MER (Modulation Error Ratio):** define un factor que nos informa de la exactitud de una constelación digital. Esta es una herramienta cuantitativa que permite valorar cómo es de buena una señal modulada digital. Se puede expresar tanto en dB como en tanto por cien. Valores menores a 30 dB son deseables para moduladores digitales comerciales, cuando más elevado sea el valor del MER significa que se pueden interpretar mejor los símbolos recibidos por el demodulador y por consiguiente la interferencia entre símbolos (IES) será menor. Este parámetro también se puede llamar C/N o diagrama de constelaciones.

Todos estos parámetros se pueden calcular con un instrumento de medida muy utilizado llamado medidor de campo.

### 2.7 Medidor de campo

El medidor de campo es un equipo de medida diseñado para la instalación y mantenimiento de sistemas de recepción y distribución de señal de televisión, cuya principal función es la de medir el nivel de señal de TV en cualquier punto de una instalación, desde la entrada de antena hasta la toma de usuario.

El medidor de campo es un dispositivo preparado para cubrir los márgenes de frecuencia correspondientes a las bandas de difusión de TV terrestre así como la que corresponde a la salida de antena o FI en los sistemas TVSAT.

Existe en el mercado gran variedad de modelos con diferentes prestaciones que permiten su aplicación en los diferentes campos de los sistemas de TV terrestres, vía satélite, redes de TV por cable, radio FM, y la medida de señales de TV analógica o digital.

Las principales aplicaciones de medidor campo son:

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

- Conocer el nivel de señal que se recibe en la entrada de antena de una instalación de TV.
- Realizar el apuntamiento óptimo de una antena, tanto terrestre como parabólica.
- Localizar defectos y fallos en las instalaciones.
- Realizar diferentes medidas de evaluación de la calidad de la señal en una instalación. (BER y MER).

Para completar el análisis de la calidad de la señal algunos medidores de campo permiten las siguientes posibilidades:

- Análisis de espectro.
- Análisis de impulsos de sincronismo.
- Visualización de la imagen de la TV en la pantalla, previa demodulación de la imagen y del sonido.



Figura 2.4 Medidor de campo para TDT y Satélite Promax Explorer Prodig 5

Después de la explicación del medidor de campo y sus características nos vamos a centrar ahora en la historia de la TDT de nuestro país hasta día de hoy así como la asignación de frecuencias y canales que hay actualmente.

## 2.8 La Televisión digital terrestre en España

La transición a la TDT se enmarca en un proceso comunitario que ha establecido un conjunto de decisiones clave y vinculantes para todos los países miembros. En términos sencillos, la Unión Europea está comprometida con un proceso de cese de las emisiones de televisión analógica terrestre y de sustitución de ésta por la televisión digital, tomando como referencia el 2012 como fecha tope para completar esta transición.

En España, el planteamiento elegido inicialmente para impulsar la TDT fue conceder en 1999 la primera licencia de explotación a Onda Digital S.A. que empezó a emitir en el año 2000 bajo la modalidad de pago y la marca Quiero TV, concediéndole el papel de promoción de la TDT. Posteriormente, en noviembre del 2000, el Gobierno adjudicó dos programas en abierto, a Veo TV y Net TV, que iniciaron sus emisiones en junio del 2002. Adicionalmente se dividió un canal múltiple en cinco programas que se repartieron entre los operadores estatales analógicos existentes, dos para RTVE y uno para cada uno de los emisores privados (Antena 3, Tele 5 y Sogecable). El fracaso comercial sufrido por Quiero TV hace replantearse la situación y durante el 2003 se flexibilizan las condiciones de concesión a los operadores que emitían exclusivamente en TDT (NetTV y VeoTV ).

El relanzamiento de la TDT en España se realizó el 30 de Noviembre de 2005, con la asignación de las frecuencias de ámbito nacional que estaban disponibles desde el cierre de QuieroTV y el inicio de emisiones de los canales que se sumaban a los que ya estaban emitiendo desde el 2002, para totalizar una oferta de 20 canales nacionales en TDT (5 de RTVE, 3 de Telecinco, Antena 3 y Sogecable y 2 de Veo TV, Net TV y La Sexta ).

Por medio del *Plan Técnico Nacional de la Televisión Digital Terrestre*, aprobado por Real Decreto 944/2005 de 29 de julio, se fija el 3 de abril de 2010 como fecha de cese de las emisiones de televisión analógica terrestre.

Según la Orden ITC/1998//2005 de 22 de junio del CNAF (Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias), la única banda en la que pueden autorizarse nuevas estaciones de televisión es la de UHF (bandas IV y V). Esta se extiende desde 470 a 862 MHz, con un total de 49 canales de 8 MHz de ancho de banda cada uno.

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

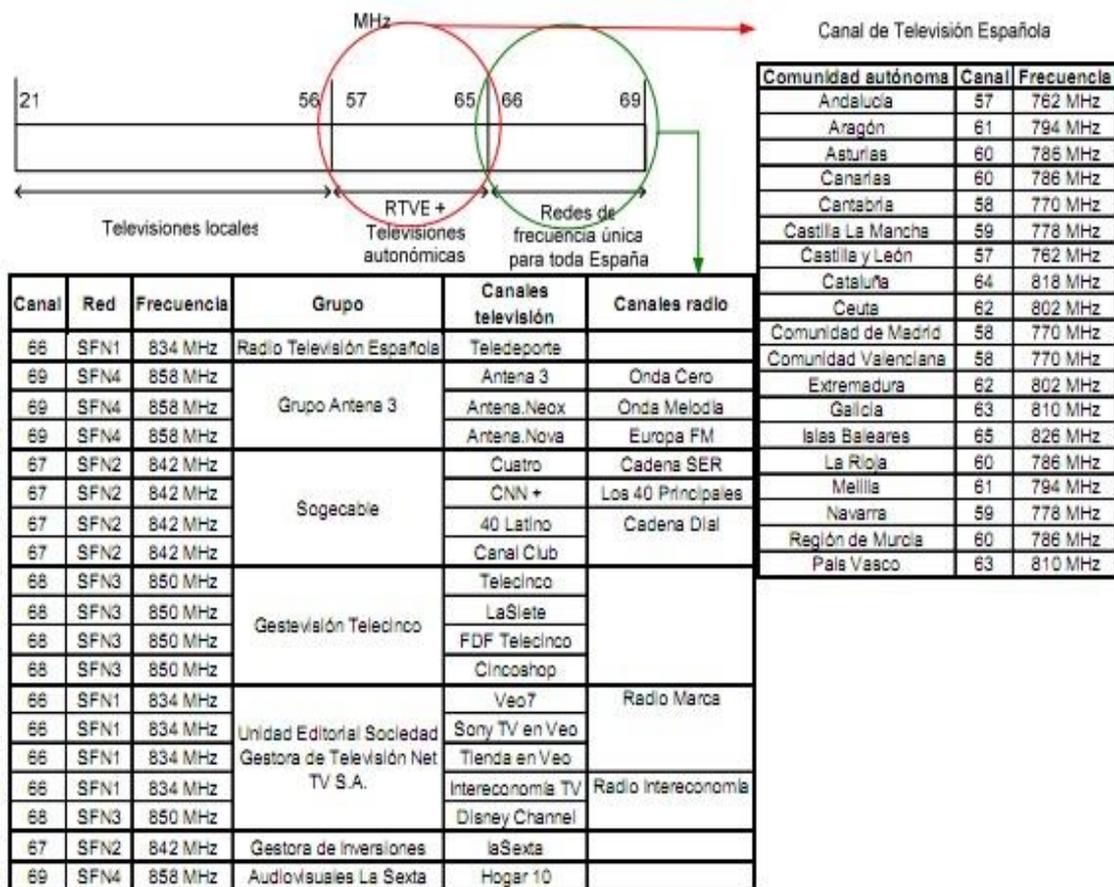


Figura 2.5 Asignación de frecuencias y canales

Estas tablas recogen las frecuencias que se utilizaron antes de la reasignación de frecuencias que se está realizando actualmente. Donde a partir del 1 de enero de 2015 la banda de frecuencias comprendida entre 790 y 862 MHz quedará reservada para servicios distintos al de televisión. Esta decisión permite aumentar la competencia en el mercado de los servicios móviles.



## 2.9 La Televisión digital terrestre en la Comunidad Valenciana

1	Mont Bartolo
2	Pina
3	Monte Picayo
4	Valencia 1
5	Valencia 2
6	Montdúver
7	El Mugerón - Almansa
8	Aitana
9	Carrasqueta
10	Huelva – Puntua Umbría
11	Chaparrales
12	Monóvar
13	Castillo Sta. Bárbara-Alicante

Tabla 2.1 Repetidores activos en la C.V



Figura 2.7 Repetidores operativos en la Comunidad Valenciana

### 2.10 Zonas de sombra en la TDT en la Comunidad Valenciana

A día de hoy las principales zonas críticas en recepción de señales de TDT en la comunidad son las siguientes:

#### **Denia**

Fue la primera ciudad de Alicante a la que llegó el apagón analógico (el pasado 8 de febrero), en la actualidad todavía hay zonas de sombra en la señal de la TDT. En lo más alto del castillo, sin tener en cuenta el impacto visual ni arqueológico en el principal monumento de la ciudad, se colocó un repetidor que mejoró bastante la señal. Sin embargo, se ha continuado sin llegar nítida a puntos de les Marines, les Rotes y a las urbanizaciones de la falda del Montgó. Incluso en algunas zonas del centro urbano, sobre todo en las casas de les Roques, la recepción sigue sin ser del todo buena. Además, la señal del repetidor del Montdúver (Gandia), cuya potencia se quintuplicó, sigue provocando interferencias. Los técnicos han llegado a recomendar a algunos usuarios que instalen antenas parabólicas si quieren ver la televisión sin que se interrumpa la señal. Además, en verano, el calentamiento del agua del mar provoca interferencias.

Los problemas de recepción tampoco se han solucionado del todo en el interior de la Marina Alta que, por ser una zona montañosa y de accidentada orografía, mantiene muchas zonas de sombra. En los núcleos urbanos sigue sin llegar la señal con total nitidez. En Castell de Castells, según vecinos consultados por este diario, la señal se corta y a menudo se queda congelada. Mientras, en la Vall d'Ebo y la Vall de Gallinera, que reciben la señal desde el repetidor del Misserà, en Pego, la mayor parte de canales llegan con interferencias. Diversos vecinos comentaron que las únicas cadenas que se ven perfectas son Canal 9 y Punt 2.

#### **L'alcoià y El Comtat**

La orografía montañosa de las comarcas de l'Alcoià y El Comtat ha originado un cúmulo de problemas en la instalación de la TDT, con dificultades técnicas difíciles de solventar y que, además, se están intensificando con la ampliación de la red de repetidores. Poblaciones como Beniarrés, Gaianes, Alcolecha y Benasau, que han instalado repetidor, tienen una señal decente, pero hay otros lugares como las urbanizaciones de Alcoy en Mariola, el Estepar o núcleos de población pequeños en los que no se ha puesto repetidor y los vecinos han tenido que hacer una inversión económica importante. En Benifallim, la señal es buena en medio pueblo y en la otra mitad no, al igual que en Quatretondeta; en Cocentaina está bien, como en Benilloba o en Alcoy,

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

pero luego hay grandes problemas en l'Alqueria d'Asnar, que está en una zona hondonada y la señal llega en muy mala calidad.

Además, con la ampliación de la red de repetidores, cambia en ocasiones la señal de procedencia, lo que obliga a reajustar todas las instalaciones y los vecinos tienen que volver a invertir. En l'Alqueria, por ejemplo, según días la señal llega de Beniarrés, Aitana o Margerida. En la Foia de Castalla hay repetidores en Ibi y Castalla, por lo que en general la recepción es buena, aunque en algunos barrios de Ibi se registran problemas con la señal, que provoca en algunos días la reducción de los canales disponibles.

### **Marina Baixa**

En la Marina Baixa, los municipios costeros siguen siendo los que más problemas sufren para recibir la señal de la TDT un año después del apagón analógico. En La Vila Joiosa, el Ayuntamiento instaló una antena receptora para mejorar la señal que reciben los vecinos del casco antiguo, que tuvieron que costear de su propio bolsillo el enganche a dicha antena para poder ver la televisión en condiciones más o menos óptimas. Sin embargo, en la mayoría de los casos la misma sigue siendo algo defectuosa y sólo permite ver poco más de una decena de canales. Benidorm, que recibe la señal de tres repetidores distintos, registra en general menos problemas que La Vila en cuanto a la recepción de canales, aunque en ocasiones puntuales, fundamentalmente en días de lluvia o viento, ésta sigue siendo defectuosa al impedir temporalmente la visualización, bien de cadenas puntuales o bien de toda la parrilla televisiva, dependiendo de barrios. Por contra, municipios como Altea, l'Alfàs del Pi o Finestrat reciben la señal de forma bastante óptima, gracias a que, por ejemplo en el caso de esta última, disponen de un repetidor muy próximo al municipio, en la Sierra Cortina, que fue instalado por la Generalitat cuando se produjo el cambio a la TDT.

Para más detalle de la TDT se puede consultar el texto [7].

## 3 Antenas para la transmisión y recepción de TDT

En este capítulo se va a realizar una revisión de los conceptos básicos de antenas y sus parámetros principales.

### 3.1 Antenas y sus diferentes parámetros

#### Concepto de Antena:

La definición formal de una antena es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas de radio. Convierte la onda guiada por la línea de transmisión (el cable o guía de onda) en ondas electromagnéticas que se pueden transmitir por el espacio libre.

En realidad una antena es un trozo de material conductor al cual se le aplica una señal y esta es radiada por el espacio libre.

Las antenas deben de dotar a la onda radiada con un aspecto de dirección. Es decir, deben acentuar un solo aspecto de dirección y anular o mermar los demás. Esto es necesario ya que solo nos interesa radiar hacia una dirección determinada.

Las antenas también deben dotar a la onda radiada de una polarización. La polarización de una onda es la figura geométrica descrita, al transcurrir el tiempo, por el extremo del vector del campo eléctrico en un punto fijo del espacio en el plano perpendicular a la dirección de propagación.

Para todas las ondas, esa figura es normalmente una elipse, pero hay dos casos particulares de interés y son cuando la figura trazada es un segmento, denominándose linealmente polarizada, y cuando la figura trazada es un círculo, denominándose circularmente polarizada.

Los principales parámetros de una antena son los siguientes:

## Densidad de potencia radiada:

Es la potencia por unidad de superficie en una determinada dirección. Las unidades son vatios por metro cuadrado.

## Diagrama de radiación:

Se define como la representación gráfica de las características de radiación en función de la dirección angular. La onda electromagnética radiada se compone de un campo eléctrico  $E$  (V/m) y uno magnético  $H$  (A/m) los cuales son perpendiculares entre sí y a su vez son perpendiculares a la dirección de propagación que es radial, desde la fuente hacia el infinito. En la figura se muestran algunos diagramas de radiación típicos.

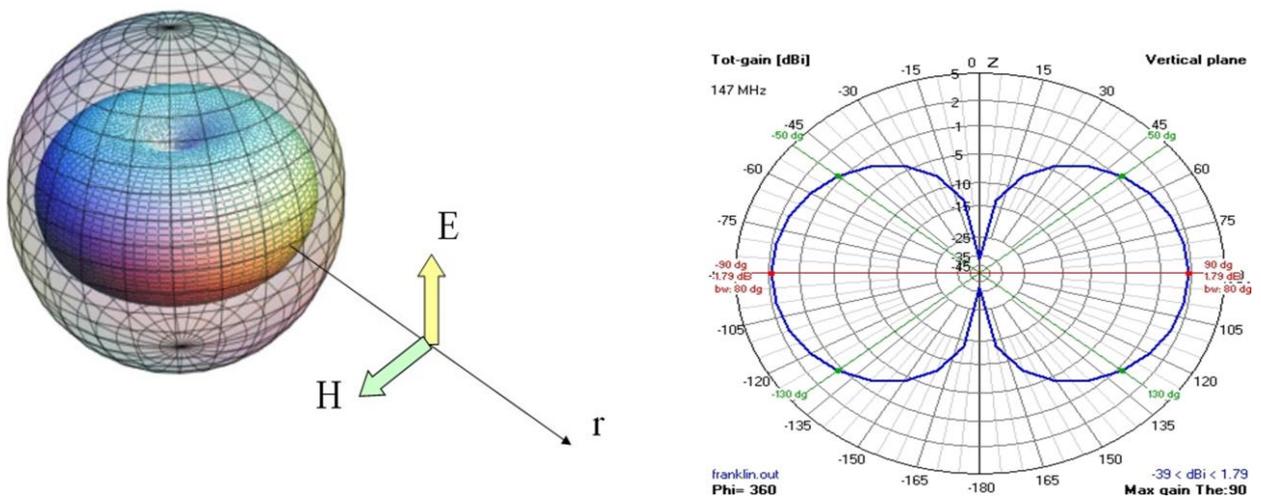


Figura 3.1 Diagrama de radiación en 3D o en polares.



Figura 3.2 Diagramas típicos de radiación

**Directividad:**

Se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia, y la densidad de potencia que radiaría a la misma distancia una antena isotrópica, a igualdad de potencia total radiada como se muestra en la Figura 3.3.

Si no se especifica ninguna dirección angular, se sobreentiende que la directividad se refiere a la dirección de máxima radiación. Una antena isotrópica tiene directividad igual a 1 ( $D=1$ ). En la Figura 3.3 también se indica su expresión matemática.

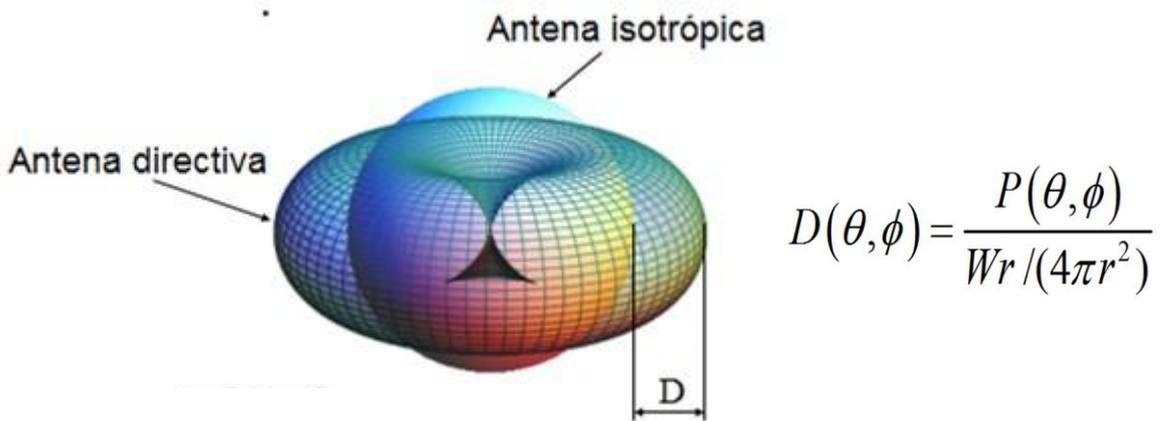


Figura 3.3 Directividad y su expresión matemática

Para antenas directivas, con un solo lóbulo principal y lóbulos secundarios de nivel despreciable, se puede obtener una directividad aproximada considerando que se produce radiación uniforme en el ángulo sólido definido a partir de los anchos de haz a  $-3\text{dB}$  en los dos planos principales del diagrama de radiación.



Figura 3.4 Directividad y aproximada

## Ganancia:

Es la relación entre la potencia recibida o suministrada a un circuito de carga conectado a la antena y la potencia recibida o suministrada al mismo circuito de carga conectado ahora a una antena de referencia orientada de la misma forma al caso anterior.

Las antenas de referencia utilizadas son el dipolo  $\lambda/2$  y el radiador isotrópico (antena que radia igual en todas las direcciones del espacio). En este último caso la ganancia se dará en dBi (dB respecto a la ganancia de la antena isotrópica) La diferencia entre ambas antenas es que el dipolo  $\lambda/2$  tiene una ganancia de 2,15 dBi. Su expresión matemática es ve en la Figura 3.5.

$$G(\theta, \phi) = \frac{P_{rad}(\theta, \phi)}{\frac{W_{ent}}{4\pi r^2}}$$

Figura 3.5 Expresión matemática de la ganancia

## Ancho de haz:

Es el ángulo formado por los dos ejes imaginarios de unión de la antena con los puntos donde la ganancia ha caído 3 dB respecto del punto máximo de radiación.

## El ancho de haz entre ceros:

Es la separación angular de las direcciones del espacio en las que el lóbulo principal toma el valor mínimo. En la Figura 3.6 se reflejan estos son los 2 últimos casos.

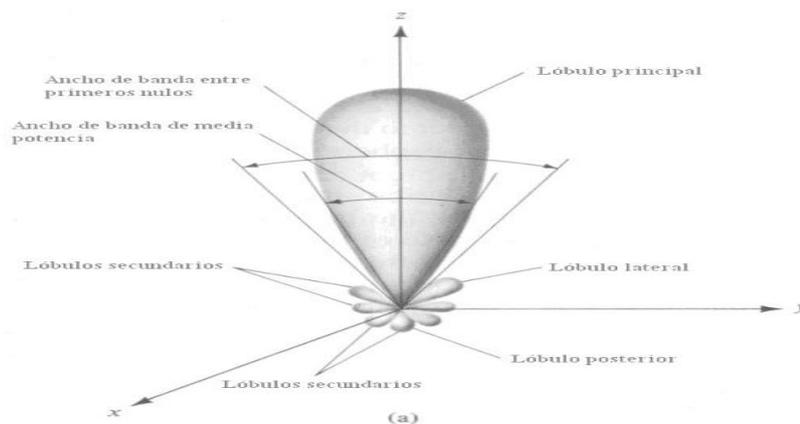


Figura 3.6 Ancho de haz entre caídas de 3dB y ancho de haz entre nulos

### La relación de lóbulo principal a secundario (NLPS):

Es el cociente, expresado en dB, entre el valor del diagrama en la dirección de máxima radiación y en la dirección del máximo del lóbulo secundario. Normalmente dicha relación se refiere al lóbulo secundario de mayor amplitud, que suele ser adyacente al lóbulo principal.

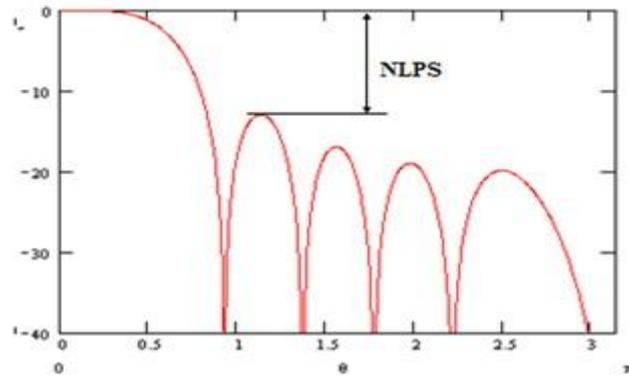


Figura 3.7 Nivel lóbulo principal a secundario

### Relación Delante-Atrás:

Es la relación entre la ganancia de la antena en la dirección de máxima radiación y la ganancia de la antena en cualquier otra dirección comprendida entre  $90^\circ$  y  $270^\circ$  de la dirección de máxima radiación.

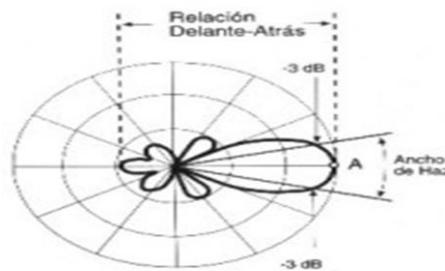


Figura 3.8 Relación Delante- Atrás

# Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

## Polarización:

La polarización de una antena es la polarización de la onda radiada por dicha antena en una dirección dada.

La polarización de una onda es la figura geométrica determinada por el extremo del vector que representa al campo eléctrico en función del tiempo, en una posición dada. Para ondas con variación sinusoidal dicha figura es en general una elipse. Hay una serie de casos particulares.

Si la figura trazada es una recta, la onda se denomina linealmente polarizada, si es un círculo circularmente polarizado.

El sentido de giro del campo eléctrico, para una onda que se aleja del observador, determina si la onda está polarizada circularmente a derechas o a izquierdas. Si el sentido de giro coincide con las agujas del reloj, la polarización es circular a derechas. Si el sentido de giro es contrario a las agujas del reloj, la polarización es circular a izquierdas. El mismo convenio aplica a las ondas con polarización elíptica.

Se define la relación axial de una onda polarizada elípticamente, como la relación entre los ejes mayor y menor de la elipse de polarización. La relación axial toma valores comprendidos entre 1 e infinito. En la Figura 3.9 se ven los distintos tipos de polarización.

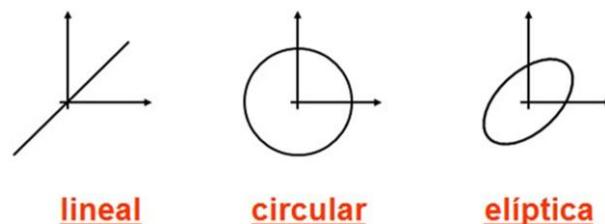


Figura 3.9 Tipos de polarización

## Impedancia

Se define como la relación entre la tensión y la corriente en sus terminales de entrada. Dicha impedancia es en general compleja. La parte real se denomina resistencia de antena y la parte imaginaria, reactancia de antena. En TV, se trabaja con impedancias de 75  $\Omega$ . Si la impedancia no presenta parte reactiva a una frecuencia se dice que es una *antena resonante*.

Se define la **resistencia de radiación (R<sub>r</sub>)** como la relación entre la potencia total radiada por una antena y el valor eficaz de la corriente en sus terminales de entrada, elevada al cuadrado.

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

Se refine la **resistencia óhmica ( $R_{\Omega}$ )** de una antena como la relación entre la potencia disipada por efecto de pérdidas resistivas y la corriente en sus terminales al cuadrado. Por lo tanto la resistencia de antena ( $R_a$ ) la podemos considerar como la suma de la resistencia de radiación y la resistencia óhmica.

En la figura 3.10 se muestra un esquema con la ecuación de la impedancia.

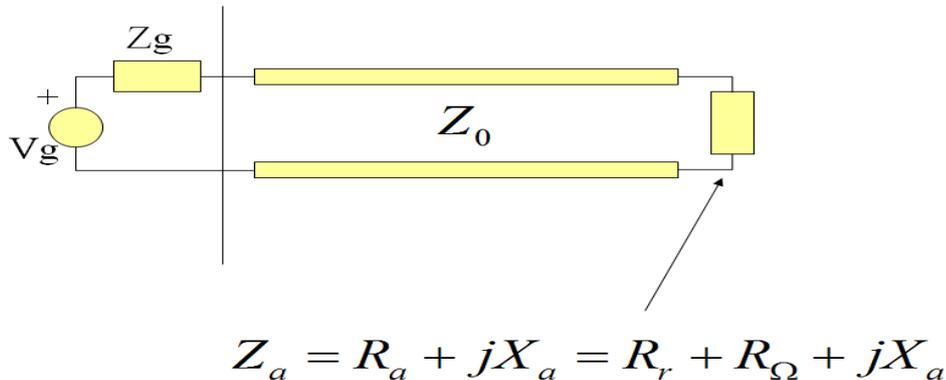


Figura 3.10 Impedancia

### R.O.E (relación de onda estacionaria):

Es una medida del grado de adaptación entre la antena (carga del circuito) y la impedancia del propio circuito.

### Coficiente de Adaptación

Las antenas receptoras tienen un circuito equivalente de Thevenin, con una impedancia de antena y un generador de tensión. La transferencia de potencia entre la antena y la carga es máxima cuando ambas impedancias son complejas conjugadas.

Se define el coeficiente de adaptación como la relación entre la potencia recibida y la potencia que se recibiría en el caso de máxima transferencia de potencia. Toma valores entre 0 y 1.

### Ancho de Banda:

Es el margen de frecuencia dentro del cual la antena mantiene sus características de ganancia, directividad, etc. Para televisión tenemos antenas en la banda de VHF y en la banda de UHF. Normalmente, las de VHF se optimizan para uno o dos canales. Las de UHF cubren toda la banda en general, aunque se pueden encontrar antenas especialmente concebidas para los canales altos de UHF (en estos canales se ubicó primeramente la televisión digital terrestre)

## El área efectiva:

Se define como la relación entre la potencia recibida y la densidad de potencia incidente en una antena (Fig. 3.11). La antena debe estar adaptada a la carga, de forma que la potencia transferida sea la máxima. La onda recibida debe estar adaptada en polarización a la antena.

$$A_{ef} = \frac{W_r}{P_{in}}$$



Figura 3.11 Expresión del Área efectiva

## La longitud efectiva:

Se define como la relación entre la tensión inducida en una antena en circuito abierto y el campo incidente en la misma (Fig. 3.12).



$$l_{ef} = \frac{V_{ca}}{E_{in}}$$

Figura 3.12 Expresión de la Longitud efectiva

## Carga al viento:

Evalúa la resistencia de la antena al viento.

## 3.2 Antenas empleadas para la transmisión de TDT

La mayoría de estas antenas se suelen usar en los repetidores.

El repetidor es un dispositivo electrónico que recibe una señal débil o de bajo nivel y la retransmite a una potencia o nivel más alto, de tal modo que se puedan cubrir distancias más largas sin degradación o con una degradación tolerable. En TDT Un dispositivo digital que amplifica, conforma, retemporiza o lleva a cabo una combinación de cualquiera de estas funciones sobre una señal digital de entrada para su retransmisión.

Se utilizan repetidores en los enlaces de telecomunicación punto a punto mediante radioenlaces que funcionan en el rango de las microondas, como los utilizados para distribuir las señales de televisión entre los centros de producción y los distintos emisores



Figura 3.13 Repetidor del Mondúver (Gandía)



Figura 3.14 Elementos de transmisión de la TV

### 3.3 Antenas empleadas para la recepción de TDT

Hay tanto exteriores como interiores. Una antena de TV digital debe cumplir básicamente las siguientes características:

- Tener una buena captación de la señal, sobre todo en zonas de señal débil.
- Evitar la captación de señales reflejadas en edificios, montañas u otros obstáculos causantes de las dobles imágenes o imágenes fantasma.
- Evitar también reflexiones de señal en el propio sistema
- Ser afectada por el mínimo posible de interferencias.
- Ser adecuada para el mayor número de canales posible.

### 3.4 Antenas exteriores

Son las antenas que típicamente se colocan en la fachada de los edificios o en la cubierta. Las antenas que se suelen utilizar son las Yagi para UHF, aunque debemos prestar atención a su comportamiento para las frecuencias altas de UHF, donde se ubican los canales digitales, aunque poco a poco esto irá cambiando cuando la banda de 790 a 862 MHz quede libre. Aquí describimos varias de estas antenas partiendo de las más sencillas:

#### Dipolo

El dipolo consiste en dos elementos conductores rectilíneos colineales de igual longitud, alimentados en el centro, y de radio mucho menor que el largo. La longitud del dipolo es la mitad de la longitud de onda de la frecuencia de resonancia del dipolo y en general la impedancia del dipolo simple es de  $73\Omega$



Figura 3.15 Dipolo

### Dipolo doblado

Es un dipolo cuyos brazos han sido doblados por la mitad y replegados sobre sí mismos. Los extremos se unen. La impedancia del dipolo doblado es de 300 Ohm, muy superior a la impedancia del dipolo simple.



Figura 3.16 Dipolo doblado

### Monopolo

El monopolo es una antena derivada del dipolo, la diferencia es que sólo tiene un brazo y el otro es sustituido por un plano de masa. Los monopolos se emplean en bajas frecuencias ya que los dipolos a esas longitudes de onda son demasiado grandes.

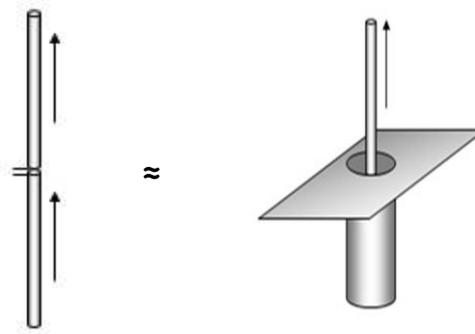


Figura 3.17 Equivalencia de un dipolo y un monopolo



Figura 3.18 Fotos de distintos monopolos

### Monopolos planos

Es la evolución del monopolo de hilo, y puede ser considerado como dos placas planas cuadradas unidas mediante una pequeña tira metálica. En el texto [6] podemos encontrar diversos diseños de monopolos planos.

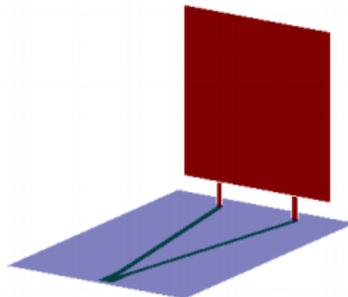


Figura 3.19 Monopolo cuadrado alimentado en dos puntos a través de una red de alimentación en Y.

## Antena Yagi

Una antena Yagi está constituida por varios elementos paralelos y coplanarios que suelen ser dipolos. Estos dipolos pueden actuar como elemento activo, directores o reflectores.

Esta antena es utilizada para la recepción de señales de televisión desde los inicios de la misma. Los elementos directores dirigen el campo eléctrico, los activos radian el campo y los reflectores lo reflejan.

Los elementos no activos se denominan parásitos, la antena yagi puede tener varios elementos activos y varios parásitos. Su ganancia está dada por:

$G = 10 \log n$  (Donde  $n$  es el número de elementos por considerar).

Para obtener una antena Yagi de banda ancha es necesario hacer ajustes en la distancia entre los elementos para obtener, junto con el ancho de banda deseado, la ganancia óptima. Las configuraciones de antena Yagi en las que el elemento activo es un dipolo doblado, como la mostrada en la Fig. 3.20 suelen proporcionar las mejores prestaciones de ancho de banda.



Figura 3.20 Antena Yagi

## Panel de dipolos:

Son una agrupación de dipolos que tienen un amplio grado de recepción de señal, además tienen un rendimiento muy superior a una antena tipo Yagi, resiste fuertes vientos y nieve, en la Figura 3.21 se aprecia su diseño.

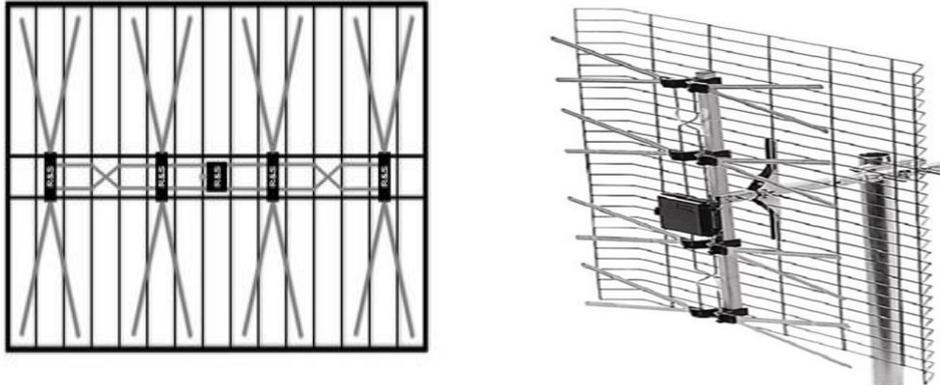


Figura 3.21 Ejemplos de paneles de dipolos

### **Antena Log.periódica:**

Una antena de tipo logarítmica periódica es una antena cuyos parámetros de impedancia o de radiación son una función periódica del logaritmo de la frecuencia de operación.

Con una construcción similar a la de la antena Yagui, solo que las diferencias de longitudes entre los elementos y sus separaciones siguen una variación logarítmica en vez de lineal.

La ventaja de la antena logarítmica sobre la Yagui es que aquélla no tiene un elemento excitado, sino que recibe alimentación en todos sus elementos. Con esto se consigue un ancho de banda mayor y una impedancia pareja dentro de todas las frecuencias de trabajo de esta antena.

Estas antenas pueden proveer hasta 10 dB más de ganancia que una antena de  $1/4$  de onda, a la vez que pueden atenuar hasta 30 dB fuentes de interferencia provenientes de otras direcciones. La longitud del elemento horizontal y el número de elementos transversales determinan el ancho de banda y la direccionalidad de la antena.

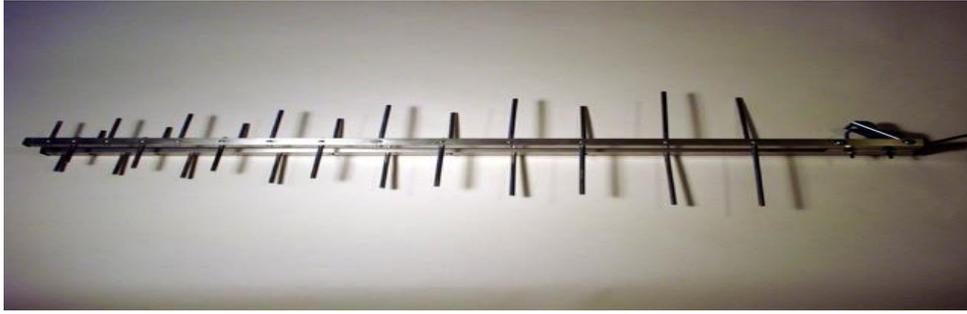


Figura 3.22 Antena Log.periódica

### 3.5 Antenas interiores

Existen varias antenas receptoras de TDT en el mercado, que se pueden colocar en un coche, en una vivienda o en un portátil. En general las antenas interiores son menos eficientes que las exteriores debido a que captan menos señal y es más recomendable usar estas antenas si son para una vivienda cerca de un balcón o una ventana ya que se pueden colocar en cualquier lugar de la casa (siempre que haya una señal medianamente aceptable).

Aquí mostramos las características más básicas de las antenas TDT, hay muchos tipos pero nuestro proyecto no engloba este tipo de antenas

→ Son capaces de captar tanto la banda VHF (170MHz a 230MHz) como la UHF (470 a 872MHz)

→ Suelen tener una Ganancia de 20 a 30 dB

→ Generalmente necesitan un decodificador de TDT

→ Son omnidireccionales, ya que suelen ser simples dipolos lo que no permite encarar directamente la antena a un repetidor y por este motivo no son tan eficaces.

→ Para que sea eficiente conviene estar en un lugar alto y donde haya suficiente nivel de señal.

→ Son económicas

En las figuras 3.23, 3.24 y 3.25 hay varios ejemplos de antenas interiores.



Figura 3.23 Antena interior de una vivienda



Figura 3.24 Antena de un portátil



Figura 3.25 Antena de un coche

## 3.6 Antenas Microstrip

Aunque en la recepción de señales de Televisión digital terrestre se suelen usar antenas de dipolos y sus variantes. En este proyecto se va a diseñar una antena plana que haga la misma función que las antenas mencionadas.

Esta antena plana se va a crear mediante tecnología microstrip y va a poder abarcar toda la banda de frecuencias que conforman los canales de TDT al mismo tiempo que tendrá la capacidad de filtrar las interferencias producidas por los sistemas de comunicaciones móviles que trabajan en las frecuencias cercanas.

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

Ahora vamos a describir un poco el funcionamiento de las antenas tipo parche.

Las antenas tipo parche también conocidas como antenas microstrip tienen múltiples aplicaciones en campos donde el reducido tamaño de estas es importante.

Ejemplos como la aeronáutica, la aviación, satélites, aplicaciones en misiles, dispositivos móviles y en general comunicaciones móviles y para frecuencias elevadas principalmente en los rangos de ondas milimétricas y microondas.

Una de sus principales ventajas que este tipo de antenas puede ofrecer es su tendencia a ser cada vez más pequeñas, ya que cada vez se miniaturizan más y los componentes usados para su fabricación son cada vez más livianos, fáciles de integrar tanto en superficies planas como no planas. Además su producción es muy sencilla y por tanto se fabrican en masa.

Estas antenas son fáciles de adaptar en circuitos integrados de microondas, versátiles en términos de impedancia, polarización y frecuencia de resonancia. En la Figura 3.26 se muestran varios tipos.

Ahora bien, también presentan algunos inconvenientes como su baja potencia de radiación (esto es debido a su estructura, no se puede soportar altas potencias en los componentes que la forman). Baja eficiencia, ancho de banda estrecho, considerables pérdidas y son fácilmente afectadas por el factor térmico (son más afectadas aún si se trabaja sobre substratos que son flexibles)

Ahora vamos a mencionar brevemente los conceptos básicos a considerar para las antenas microstrip.

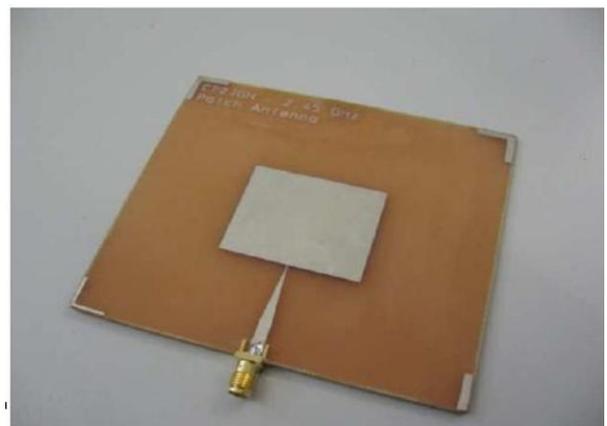
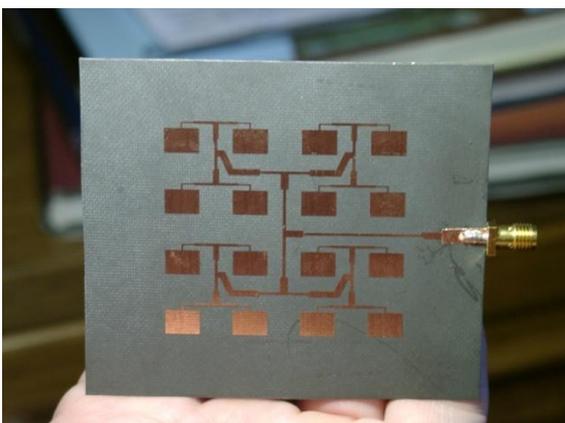


Figura 3.26 Ejemplos de antenas microstrip

## 3.7 Características de las antenas microstrip

Este tipo de antenas se pueden diseñar a partir de líneas de transmisión o resonadores sobre sustrato dieléctrico. Es importante elegir el tamaño de la misma para que la estructura convierta la potencia de la señal en forma de radiación electromagnética.

Normalmente, la estructura consiste en un parche metálico (las dimensiones están muy relacionadas con el parámetro  $\lambda$ ) sobre un sustrato dieléctrico sin pérdidas o con pérdidas mínimas. El grosor oscila entre  $0.003\lambda$  y  $0.05\lambda$  y la constante dieléctrica relativa  $\epsilon_r$  suele tomar valores entre 3 y 10. En la parte inferior del sustrato se tiene un plano conductor perfecto que hace función de plano de masa.

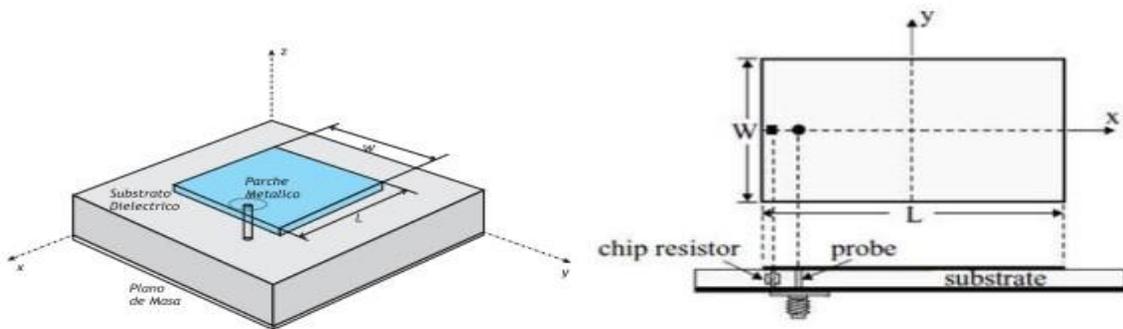


Figura 3.27 Geometría básica de una estructura tipo parche

Los rangos de medidas y características de los parámetros de una antena microstrip son los siguientes:

→ El valor de  $t$  debe ser muy delgado:  $t \ll \lambda_0$  ( $\lambda_0$  es la longitud de la onda de la señal en el espacio libre)

→ El valor  $L$  puede variar dependiendo de la estructura. Para el caso más típico que es el de un parche rectangular comprende el siguiente rango:  $\lambda_0/3 < L < \lambda_0/3$

→ El ancho del sustrato debe ser más grueso  $h$  y en general debe tomar valores de  $h \ll \lambda_0$ .

→ La permeabilidad eléctrica  $\epsilon_r$  del sustrato dieléctrico por lo general se encuentra dentro de los rangos:  $3 < \epsilon_r < 10$ . Se debe intentar que la permitividad sea lo menor posible para que la eficiencia de la antena sea mayor, debido a que a mayor constante dieléctrica, menor ancho de banda, lo que hace que también disminuya el factor  $Q$  y por tanto la impedancia de ancho de banda.

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

Este tipo de antena tiene como ventaja frente al dipolo convencional que no le afecta la radiación trasera (por el plano de masa que llevan detrás del dieléctrico) y es posible colocarlas en una pared o en un cilindro como es nuestro caso. También ofrecen mayor directividad y ganancia pero como contraposición poseen menos ancho de banda. Se pueden alimentar con líneas impresas, a través de las ranuras, con sondas coaxiales, por acoplamiento de cavidades o de la forma más fáciles y comunes mediante una línea de transmisión en el mismo plano del parche. Para profundizar en las características de las antenas microstrip podemos recurrir a [3], [4] y [5].

Estas antenas suelen tener varios tipos configuraciones diferentes.

Los más comunes son el dipolo (tanto en su forma de media onda como de onda completa), una antena cuadrada, de tipo rectangular, pentagonal, triangular, circular , disco con ranura, anillo, sector de disco, semi-disco, anillo elíptico o espiral.

## 4 Diseño de un monopolo impreso conformado

### 4.1 Antena de partida

A la hora de diseñar una antena para captar señales de TDT se tienen en cuenta, entre otras, las siguientes características: influencia del usuario sobre ella, el nivel de compactación y tamaño, la eficiencia total debe ser lo más alta posible y un diseño que cumpla las especificaciones de ancho banda requerido.

Hay que tener en cuenta, que en general, existe un alto compromiso entre ellas y que al optimizar una de estas características supone un deterioro de las otras.

La antena de partida, que vamos a tomar como referencia, es una antena de tipo monopolo plano que fue diseñada en un proyecto anterior para la recepción TV analógica y digital. El margen de frecuencias en que trabaja esta antena de referencia en la banda de UHF se extiende de 470MHz a 862MHz. Esta antena presenta un comportamiento radiante de tipo omnidireccional, de forma que en caso de ser colocada sobre una fachada desperdicia parte de su potencia de recepción. No obstante, se puede colocar un plano de masa trasero para aumentar la directividad de la antena y maximizar la relación delante-atrás de la misma.

Puesto que la idea original era instalar la antena en una fachada, era importante conseguir un diseño con pequeñas dimensiones, estructura compacta y bajo peso.

El diseño tomado como referencia se presenta en la Figura 4.1.

Para adquirir conocimientos básicos sobre diseño de distintos tipos de antenas se puede consultar el texto [12].

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

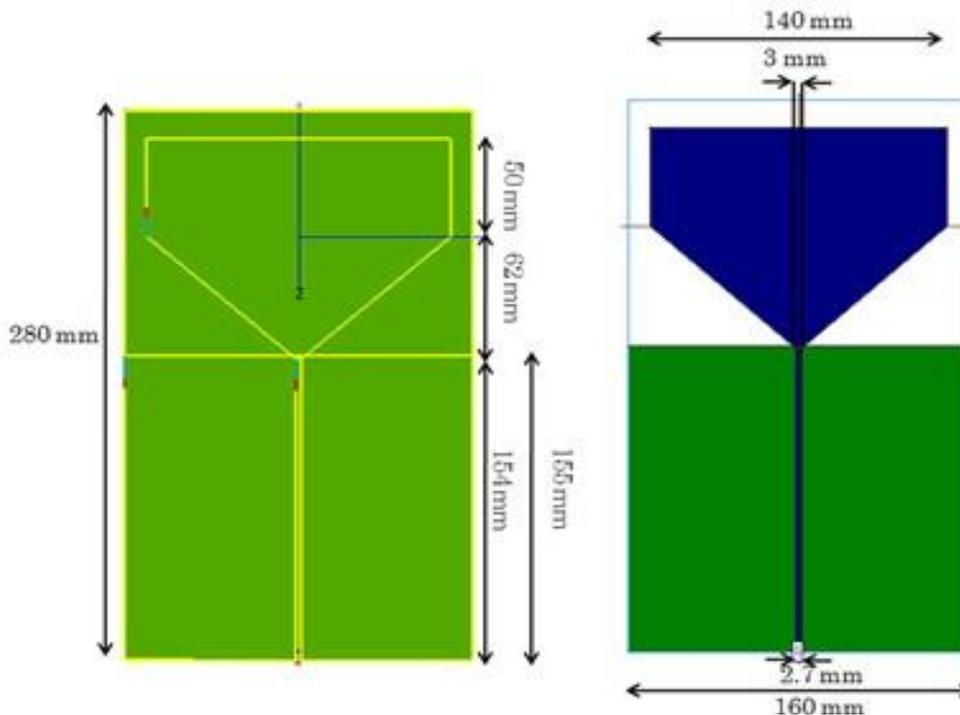


Figura 4.1 Dimensiones de la antena plana de partida.

Como se aprecia las máximas dimensiones que adquiere son de 280x160 (mm). En la capa superior (de color azul) encontramos el monopolo o elemento radiante que presenta forma pentagonal, así como la línea de transmisión microstrip que nos permitirá excitar el monopolo. En la parte inferior (de color verde) tenemos el plano de masa de la línea microstrip.

El dieléctrico (de color blanco) está en medio de las dos capas y presenta las siguientes características: Un grosor de 1.5 mm, tangente de pérdidas  $\tan \delta = 0.016$  y permitividad  $\epsilon_r = 4.6$ .

El ancho de la línea de transmisión es de 2.7 mm. Este valor ha sido elegido en base a las especificaciones del sustrato, con el objetivo de obtener una impedancia de entrada de  $50 \Omega$  a la entrada de la línea microstrip.

Por tanto, la alimentación de la antena se sitúa en el extremo de la línea microstrip y se implementa de forma práctica con un conector tipo SMA de  $50 \Omega$ .

Esta antena de partida ha sido simulada con dos programas comerciales diferentes el Zeland IE3D y el FEKO. En la Fig. 4.2 se puede comparar los parámetros  $S_{11}$  obtenido para la antena con cada uno de los programas. Como se aprecia, la banda de frecuencias de adaptación va desde los 300 MHz hasta los 900 MHz. Esta era la banda de frecuencias que interesaba conseguir en el momento en el que fue diseñada la antena, puesto que coexistían la televisión analógica y la digital (ubicada esta última en

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

los canales 66 a 69). Se considera una buena adaptación cuando el parámetro  $S_{11}$  toma valores por debajo de  $-10\text{dB}$ . En este caso se observa que esto ocurre desde  $470\text{ MHz}$  hasta  $880\text{ MHz}$ , cumpliéndose por los pelos este requisito en la zona intermedia. Se puede apreciar el parecido de las dos simulaciones. Las dos gráficas tienen la misma forma pero están un poco desplazadas entre sí.

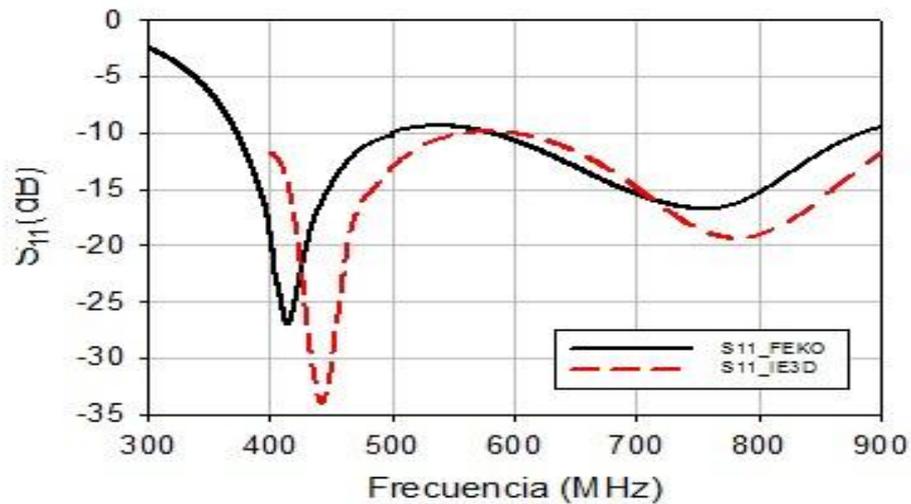


Figura 4.2 Parámetro  $S_{11}$

En los diagramas de radiación mostrados en la Fig. 4.3 se aprecia la omnidireccionalidad de la antena en tres frecuencias elegidas al inicio, en mitad y al final de la banda de interés:  $475$ ,  $650$  y  $850\text{ MHz}$

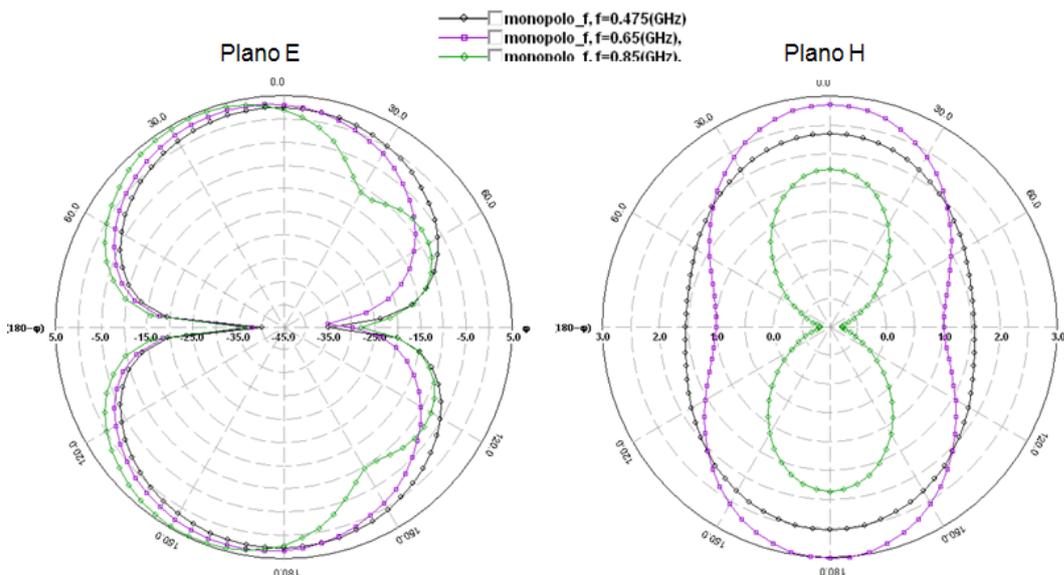


Figura 4.3 Diagramas de radiación E y H obtenidos con el simulador IE3D

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

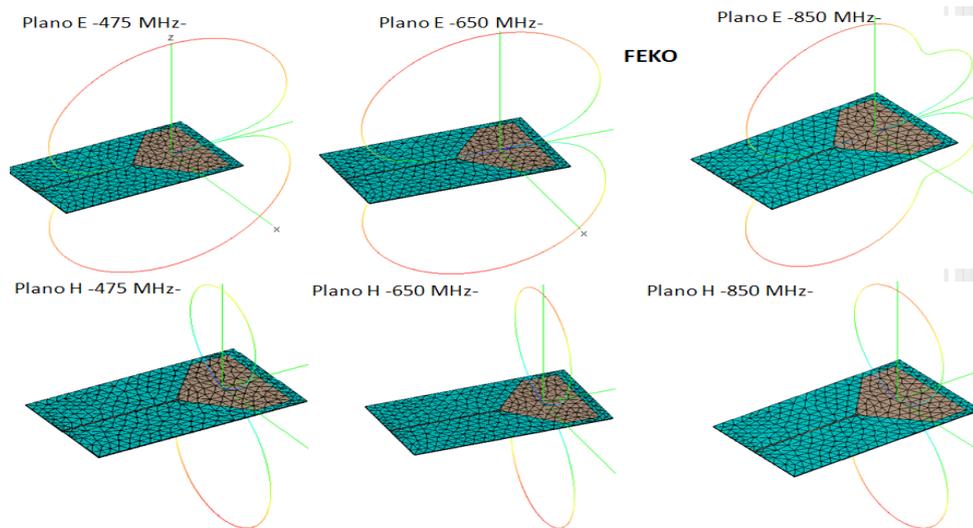


Figura 4.4 Diagramas de radiación E y H obtenidos con el simulador FEKO

En la Tabla 4.1 se muestra la Directividad y la Ganancia para las frecuencias antes mencionadas.

Simulador	Frecuencias (MHz)	Directividad máxima (dB)	Ganancia máxima (dB)
IE3D	475	2.6	2.2
	650	3.4	2.8
	850	4.5	4

Simulador	Frecuencias (MHz)	Directividad máxima (dB)	Ganancia máxima (dB)
FEKO	475	2.7	1.2
	650	3.4	1.9
	850	4.8	3

Tabla 4.1 Directividad y Ganancia para 475,650 y 850 MHz

### 4.1.1 Problemática de la antena de partida y soluciones

Debido a la nueva regulación del Dividendo Digital por parte del gobierno, donde se establece que a partir del 1 de enero de 2015 la banda de frecuencias comprendida entre 790 MHz y 862 MHz quedará en desuso para los servicios de televisión digital terrestre (TDT) y pasará a emplearse en servicios de telefonía móvil. Este cambio de frecuencias nos obliga a rediseñar la antena de partida explicada anteriormente para adecuarla al nuevo ancho de banda empleado en la TDT, suprimiendo la banda alta de UHF que puede ser una importante fuente de interferencias en un futuro.

Además, otro inconveniente de la antena plana de partida es la dificultad de orientarla hacia un repetidor, al estar obligatoriamente colocada en la fachada de un edificio y limitado su apuntamiento a la orientación de dicha fachada. El problema podría ser resuelto colocando el monopolo plano en un mástil, como en una Yagi, sin embargo esta no es una solución viable dada la gran resistencia al viento que ofrecería.

Por último, la antena de partida fue concebida para ser conectada a un amplificador previo que aumentara el nivel de señal recibida. La impedancia de salida de dicho amplificador era de  $50 \Omega$ , por lo que la línea microstrip de alimentación de la antena fue diseñada para dicha impedancia, frente a los  $75 \Omega$  comúnmente empleados en los conectores y cables destinados a televisión.

La solución propuesta en este proyecto para superar las limitaciones ya expuesta de la antena de partida se basa en los siguientes pasos:

1. Reescalar la antena y cambiar sus dimensiones para acortar la banda alta, hasta los 780 MHz así evitar interferencias con los servicios de comunicaciones móviles que la utilicen en un futuro.
2. Obtener una buena adaptación a  $75 \Omega$  en la banda de interés ya comentada.
3. Conformar el monopolo impreso sobre una tubería cilíndrica de PVC que será colocada sobre una junta rotatoria para solucionar el problema de la orientación.

En el siguiente apartado se describen los criterios seguidos para obtener el nuevo diseño.

## 4.2. Monopolo plano diseñado sobre PVC

En este proyecto trabajamos con el simulador electromagnético comercial CST Microwave Studio. Empleando la herramienta de dibujo tipo CAD de que dispone este programa, haremos los diferentes diseños y simularemos los resultados de los mismos.

Hay que tener en cuenta que el tamaño de la antena influirá en la banda de recepción, como se ha comentado anteriormente nos interesa que la banda comprenda las frecuencias entre 470 a 780 MHz. Además la estructura debe presentar pequeñas dimensiones para ser lo menos visible posible y poder ser conformada con facilidad sobre las tuberías de PVC disponibles en el mercado. Antes vamos a comentar como funciona básicamente el CST

### 4.2.1 Aspectos básicos del CST Microwave studio

El CST Microwave Studio ofrece rápidamente un vistazo del comportamiento electromagnético de los diseños de alta frecuencia y brinda una gran flexibilidad a los usuarios mediante un rango de aplicación muy amplio, gracias a la variedad de tecnologías disponibles. Dicho programa posibilita un análisis rápido y preciso de antenas, estructuras resonantes, conectores, filtros y muchos otros dispositivos. Éste simulador utiliza algoritmos que resuelven las problemáticas habituales en éste tipo de simulaciones consiguiendo resultados muy preciso. Dispone de 5 módulos de cálculo: 'Transient Solver', 'Eigenmode Solver', 'Frequency Domain Solver', 'Resonant: Fast SMPParameter solver' y 'Resonant SMPParameter Fields solver'.

El módulo 'Transient Solver' ha sido el utilizado en las simulaciones efectuadas. Es la herramienta más flexible del programa y permite simular la mayoría de problemas electromagnéticos. Dispone de una interfaz gráfico muy potente que permite generar todo tipo de superficies y volúmenes, pudiéndose combinar de forma booleana para generar nuevas formas según convenga.

Una vez generada la estructura el programa nos genera un fichero .cst y al simular nos crea una carpeta con los resultados de estas simulaciones. A la hora de diseñar se definen las unidades en las que trabajamos, MHz para la frecuencia así como mm para las dimensiones. El material que forma nuestro diseño se puede escoger entre un conductor eléctrico perfecto (PEC) y un material normal con su permitividad y sus pérdidas. Otro aspecto importante es elegir el rango de frecuencias con el que se trabaja.

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

Para poder simular se debe situar un Puerto por donde alimentar la antena, para ello se selecciona la opción discrete port y se eligen las dimensiones teniendo en cuenta el sentido del puerto.

Una vez esté todo preparado se activa la opción 'transient solver' y el programa abre una ventana para fijar el puerto con el cual se va a estimular la antena, la impedancia y elegir entre un mallado automático o una más adaptado a la forma de la antena. También se puede optimizar la antena modificando los parámetros de forma independiente hasta conseguir un cierto objetivo.

Una vez terminada la simulación podemos ver en gráficas, la adaptación de la antena, la parte real e imaginaria de la impedancia, el diagrama de radiación de campo eléctrico, magnético, directividad, ganancia...entre otros muchos otros parámetros.

Para familiarizarse con el programa, se recomienda empezar probando diseños sencillos, como dipolos, para ver las posibilidades del programa. También es recomendable la lectura de tutoriales de CST en internet o en apuntes específicos para trabajar en este programa.

Al principio lo más importante es saber construir una antena y conocer las herramientas básicas de diseño, y después centrarse en la simulación y saber interpretar los resultados que da el programa. Las medidas analizadas en las simulaciones son generalmente las de adaptación que nos da la idea de la transferencia de potencia entre la antena y la alimentación, y el diagrama de radiación de Ganancia.

El programa en si es sencillo de utilizar, pero para poder simular los diseños es necesario definir una serie de parámetros y características del entorno en CST. Hace falta fijar las unidades en que vamos a trabajar, y hay que definir el espacio en el que se encuentra la antena, es decir, asignar un material al espacio indefinido dentro de los límites (background properties), pudiendo elegir entre un conductor eléctrico perfecto (PEC) y un material normal libre de pérdidas definido por su constante dieléctrica y permeabilidad. También es importante fijar el rango de frecuencias en el que se simulará el proyecto. Es necesario asimismo colocar un puerto por donde alimentar la antena.

En la Figura 4.5 se muestran algunos diseños realizados con el CST.

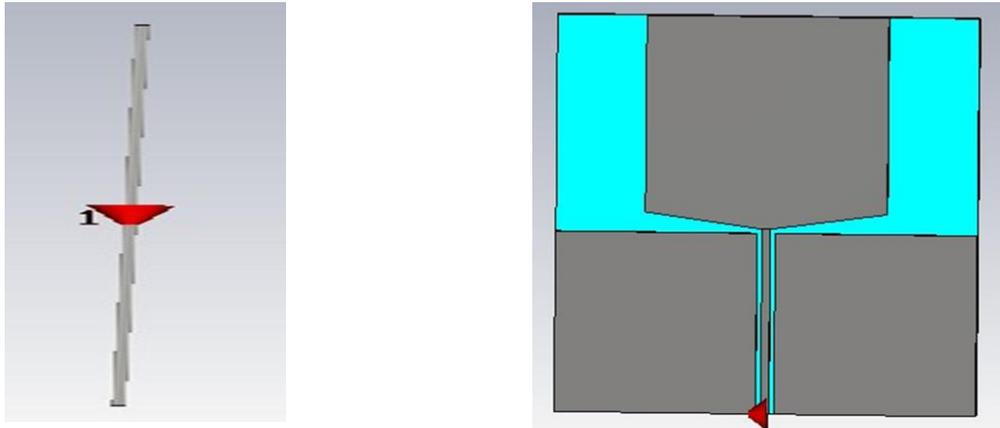


Figura 4.5 Diseños de antena tipo dipolo y monopolo coplanar con alimentación CPW realizados con CST.

### 4.2.2 Adaptación de la antena de partida a los nuevos materiales

Como se ha explicado anteriormente, en este proyecto se va a emplear como sustrato una tubería de PVC convencional que según las especificaciones extraídas de Internet presenta una permitividad de aproximadamente 3.3 y un grosor de 3.2. Por tanto, es necesario reescalar la antena de partida para ajustarla al nuevo material y a la nueva banda de trabajo deseada.

Para conseguir este objetivo, se llevaron a cabo varias pruebas reduciendo la altura de la antena, aumentando el grosor del sustrato y reduciendo la permitividad para ver el efecto de cada uno de estos parámetros sobre la adaptación de la antena. Tras estas pruebas se obtuvo la geometría mostrada en la Figura 4.6 que proporciona el parámetro S11 presentado en la Figura 4.7.

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

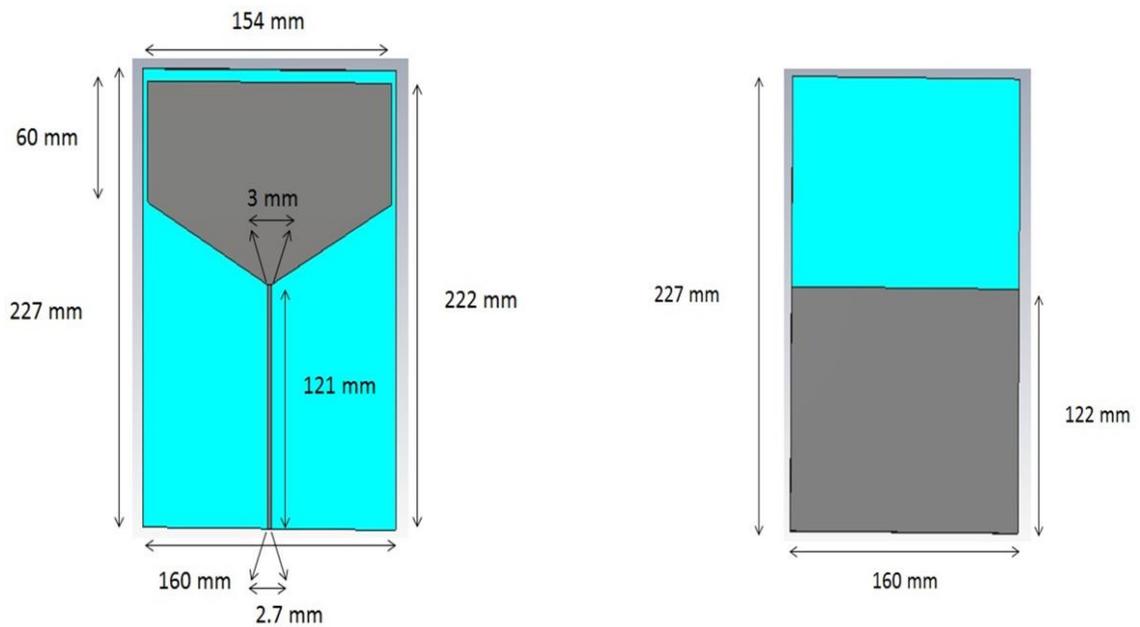


Figura 4.6 (a) Parte frontal del monopolo plano; (b) Parte trasera del monopolo plano

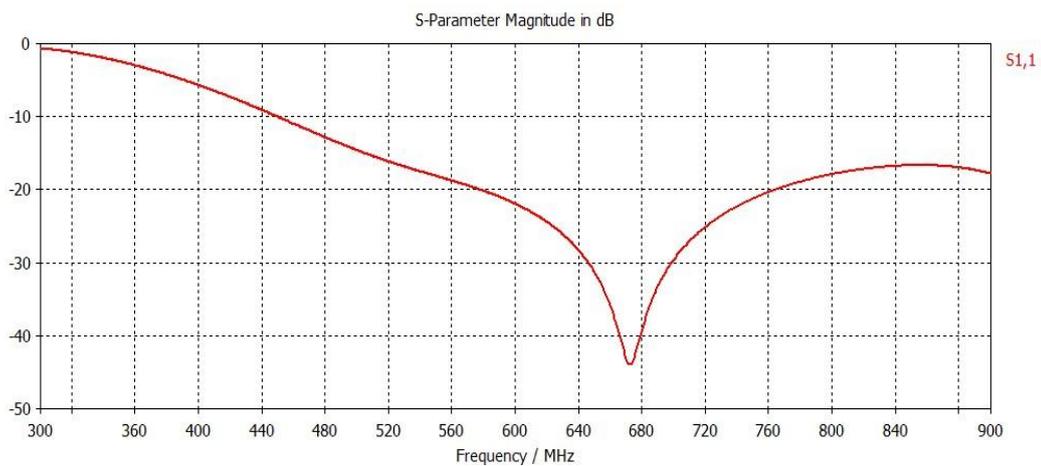


Figura 4.7 Parámetro S11 correspondiente a la antena mostrada en la Figura 4.6

La antena está adaptada en un rango de frecuencias mucho más grande que el que nos interesa, por lo que habría que emplear un filtro para poder sintonizar correctamente la banda de TDT y así evitar posibles interferencias en la banda alta.

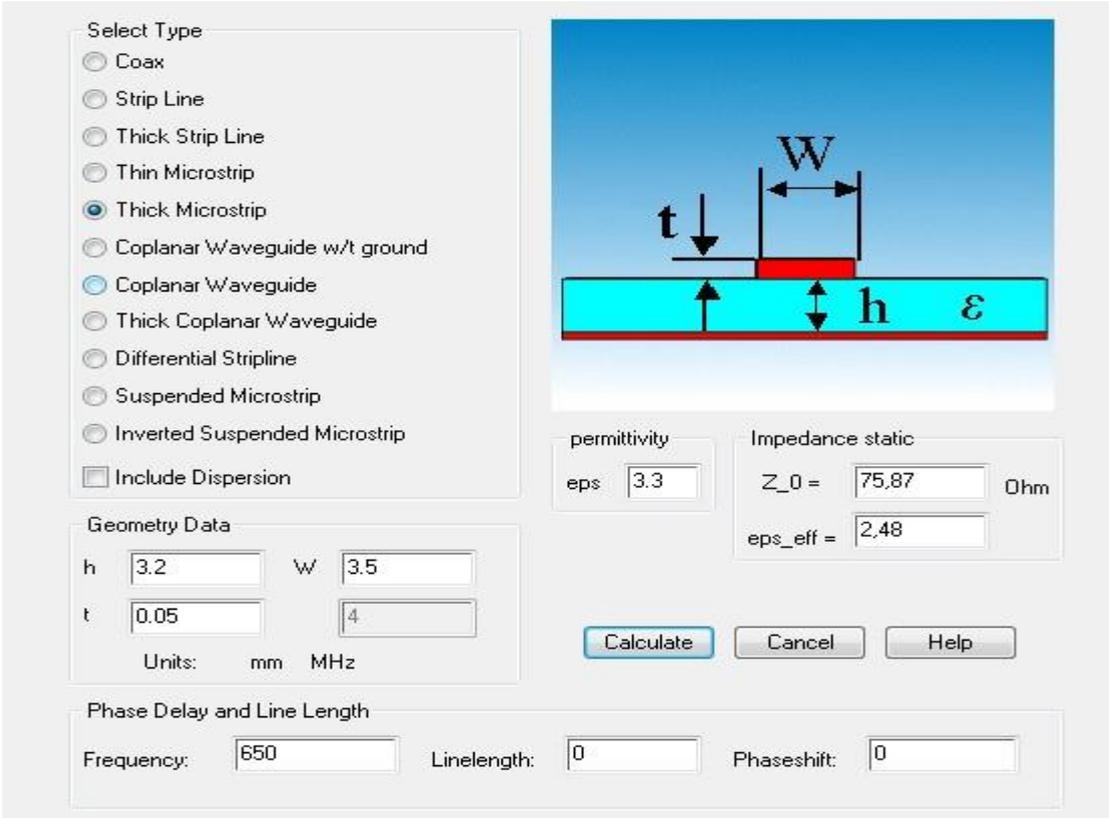
A partir de aquí intentamos ajustar la adaptación a un rango más reducido para evitar el uso de filtros.

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

A la hora de diseñar es interesante utilizar la herramienta incluida en el CST *Impedance Calculation*, que permite sintetizar y analizar líneas de transmisión microstrip, es decir, con ella podemos saber para qué dimensiones de la línea de transmisión podemos obtener la impedancia característica que nos interesa.

Suponiendo que vamos a utilizar la tubería de PVC como substrato, como hemos comentado antes, esta herramienta nos indica (eligiendo previamente la opción *Thick Microstrip* que es nuestro caso) que con un ancho de línea de 3.5 mm obtenemos una impedancia de línea  $75\Omega$ , aunque hay que tener en cuenta que estos resultados son teóricos y no corresponden al 100% con la realidad, ya que luego la simulación con este diseño no es la más óptima.

Otro aspecto útil en el CST es observar la parte real e imaginaria de la impedancia de entrada, con el fin de obtener una parte imaginaria que esté alrededor de cero en las frecuencias de trabajo, y una parte real con comportamiento más o menos estable entorno a  $75\Omega$ . Cuando se cumplen estas dos condiciones se logra una máxima transferencia de potencia entre la línea de transmisión y el conector de alimentación.



The screenshot displays the CST Impedance Calculation tool interface. On the left, the 'Select Type' section has 'Thick Microstrip' selected. Below it, the 'Geometry Data' section contains input fields for h (3.2), W (3.5), t (0.05), and 4. The 'permittivity' section shows eps (3.3). The 'Impedance static' section shows Z<sub>0</sub> (75.87 Ohm) and eps<sub>eff</sub> (2.48). The 'Phase Delay and Line Length' section shows Frequency (650), Linelength (0), and Phaseshift (0). A diagram on the right illustrates a thick microstrip on a substrate with parameters W, t, h, and ε.

Figura 4.8 Herramienta Impedance Calculation del CST para calcular la impedancia característica

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

Modificando diferentes parámetros de la antena como la longitud de la línea de transmisión, el ancho del elemento radiante, o el grosor de la metalización, hemos logrado el diseño más óptimo para nuestros intereses, que se muestra en la Fig. 4.8 y que describimos detalladamente a continuación.

Las dimensiones de este nuevo diseño optimizado han disminuido respecto la antena de partida a 250x160, mientras que el ancho del elemento radiante pentagonal se ha aumentado a 154 mm.

La anchura de la línea de transmisión se mantiene en 2.7 mm y su longitud es de 121mm. La base del elemento radiante es de 3 mm, y como se muestra en la Fig. 4.8, este es el punto de unión con la línea microstrip, que es un poco más fina. El plano de masa ubicado en la cara inferior sobrepasa en 1 mm la base del elemento radiante, es decir, presenta una longitud 122 mm. De esta manera se consigue evitar cambios bruscos en la corriente en el punto de conexión de la línea de transmisión con el elemento radiante. Las otras medidas están descritas en la Fig. 4.9.

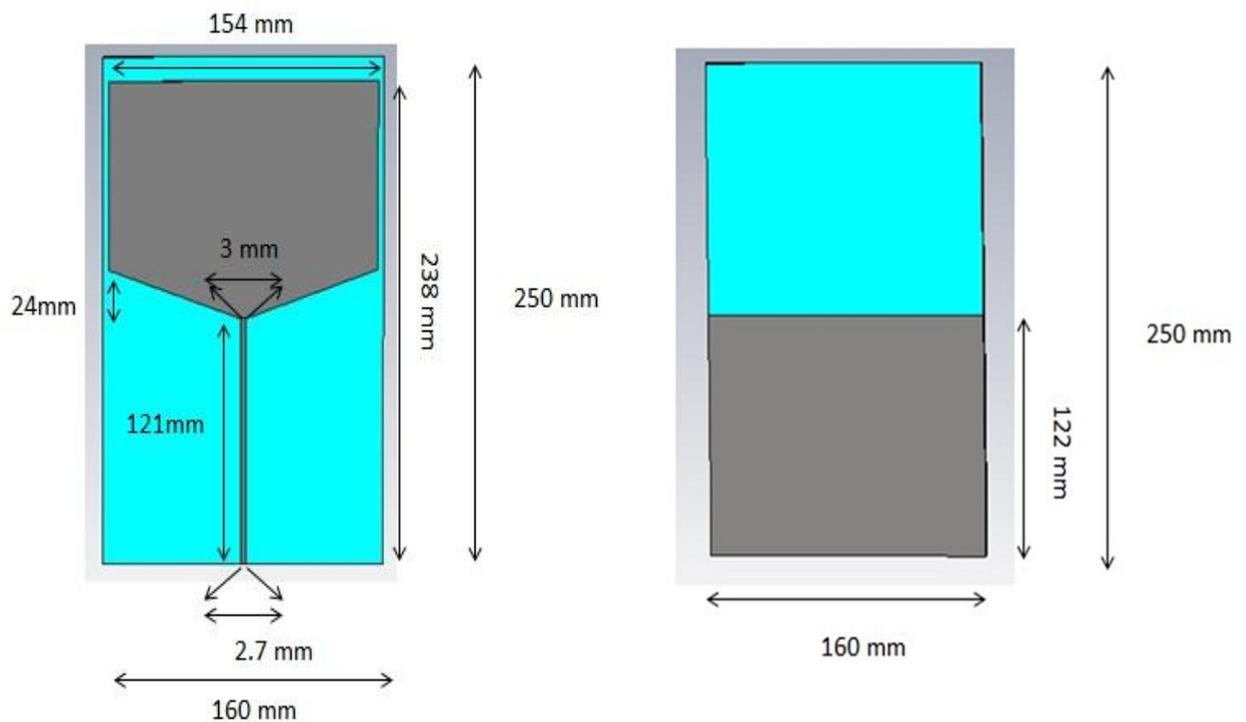


Figura 4.9 (a) Parte frontal del monopolo plano; (b) Parte trasera del monopolo plano

El grosor del sustrato es de 3.2 mm (grosor típico de las tuberías de PVC de calibre superior a 90mm) y finalmente, la permitividad eléctrica del sustrato de 3.3. En la parte inferior de la línea de transmisión se ha colocado un puerto a  $75 \Omega$

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

La Fig. 4.10 muestra el coeficiente de reflexión a la entrada de la antena para esta nueva configuración. Como se observa, la antena está adaptada de 470 a 790 MHz que es lo que nos interesa después de realizar tantos ajustes.

El siguiente es conocer el diagrama de radiación de esta nueva configuración para ver su comportamiento radiante. Puesto que se trata de un monopolo plano es de suponer que radiará en todas las direcciones, presentando comportamiento omnidireccional.

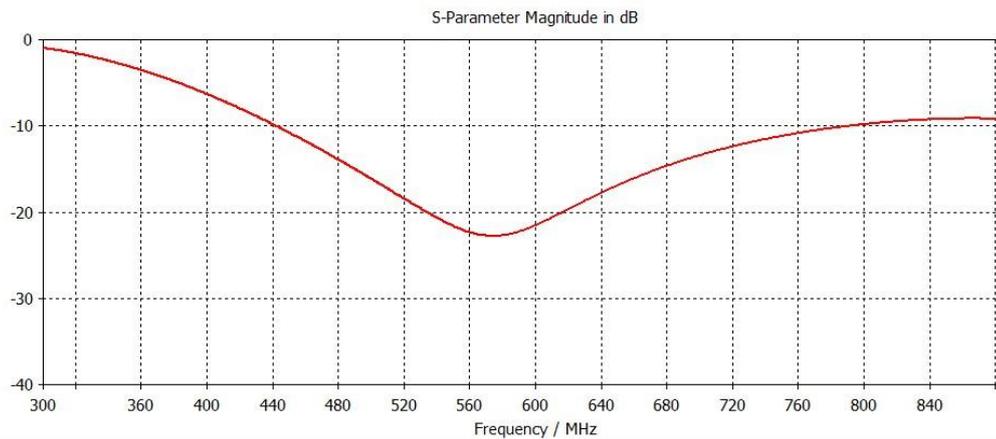


Figura 4.10 Parámetro S11 de la antena mostrada en la Fig. 4.8

Para ver la Ganancia de la antena se define un monitor de campo lejano en tres frecuencias distintas: 475, 650 y 760 MHz y se repite la simulación obteniendo un diagrama de radiación en 3 dimensiones que nos indica que la antena radia por igual en todas direcciones del plano del sustrato hacia arriba y hacia abajo, también se puede realizar un corte en el plano que se desee y ver el diagrama en polar en 2 dimensiones. Es lo que obtendremos a continuación.

Hay que tener en cuenta que se considera que la antena está en el plano XY como se aprecia en la figura 4.11

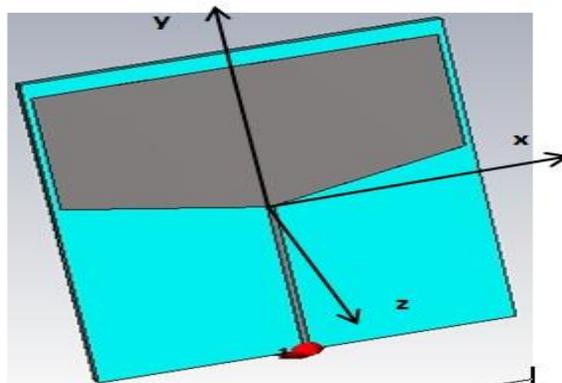


Figura 4.11 La antena se encuentra en el plano XY

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

Los sistemas de coordenadas empleados en CST para el cálculo de los diagramas de radiación son los de la figura 4.12

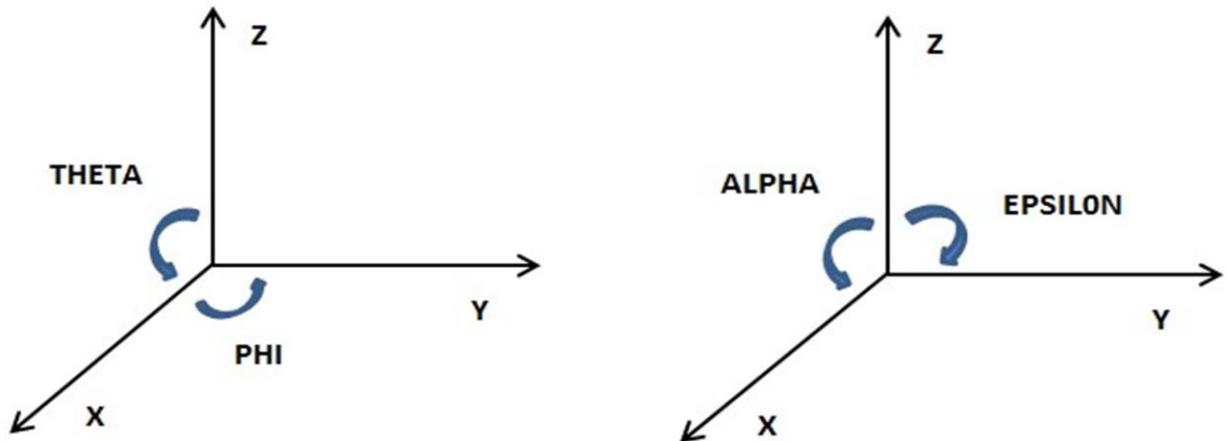


Figura 4.12 Coordenadas

Con estos sistemas podemos obtener los distintos planos

- PLANO XY  $\rightarrow$  THETA = 90 grados, PHI de 0 a 360 grados.
- PLANO XZ  $\rightarrow$  PHI = 0 grados, THETA de 0 a 360 grados.
- PLANO YZ  $\rightarrow$  ALPHA = 0 grados, EPSILON de 0 a 360 grados.

Los diagramas de Ganancia en los planos XY, XZ, YZ para las frecuencias 475, 650 y 760 MHz se pueden visualizar en las figuras 4.13, 4.14 y 4.15.

Las máximas ganancia para estas frecuencias son respectivamente: 2.1617dB, 3.509dB, 4.062 dB

# Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

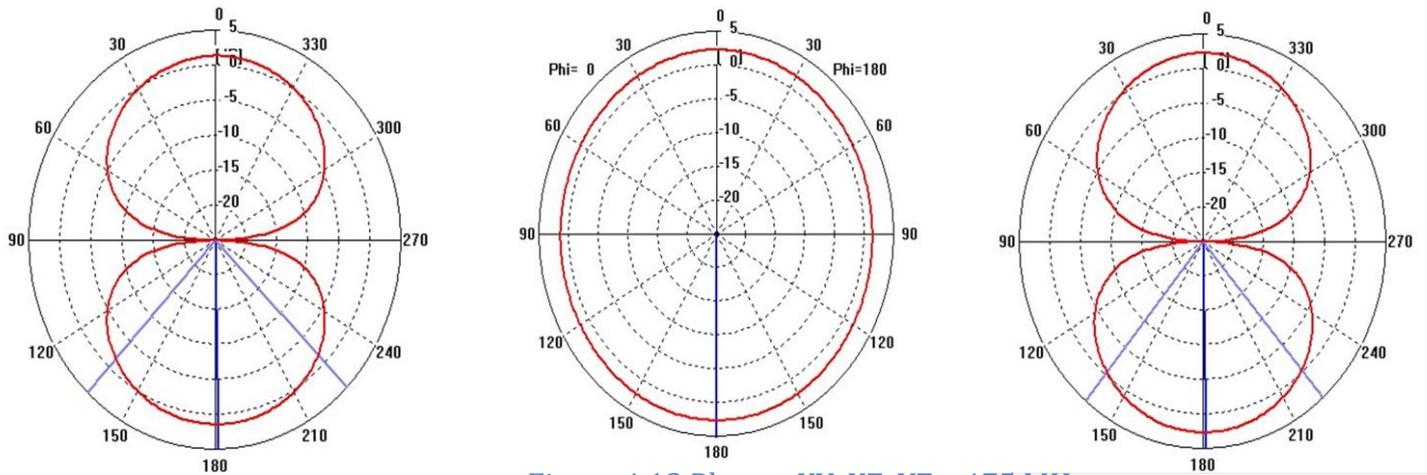


Figura 4.13 Planos: XY, XZ, YZ a 475 MHz

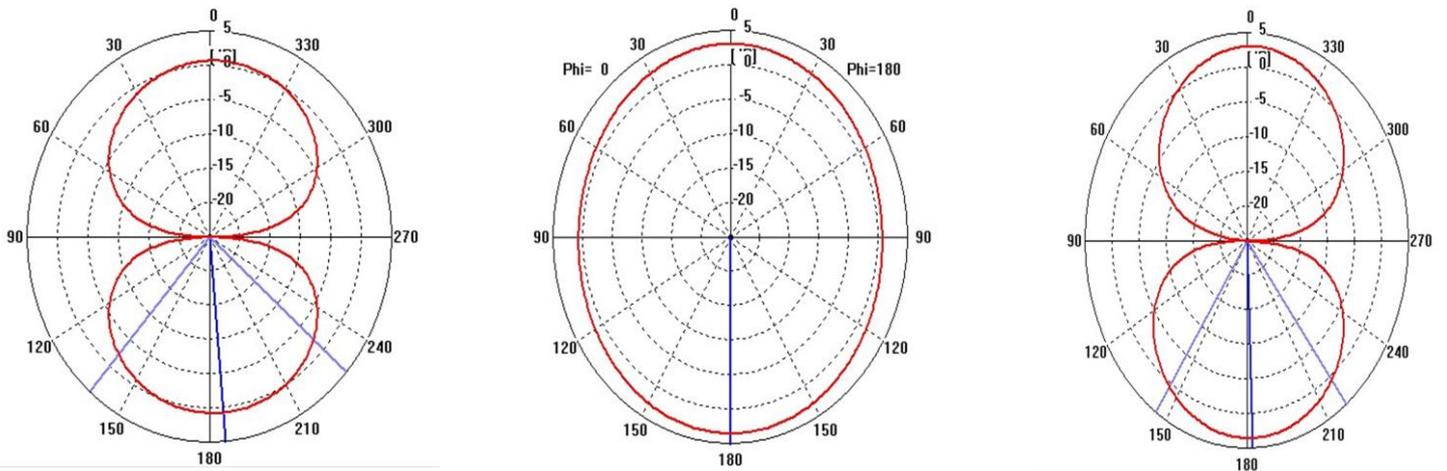


Figura 4.14 Planos: XY, XZ, YZ a 650 MHz

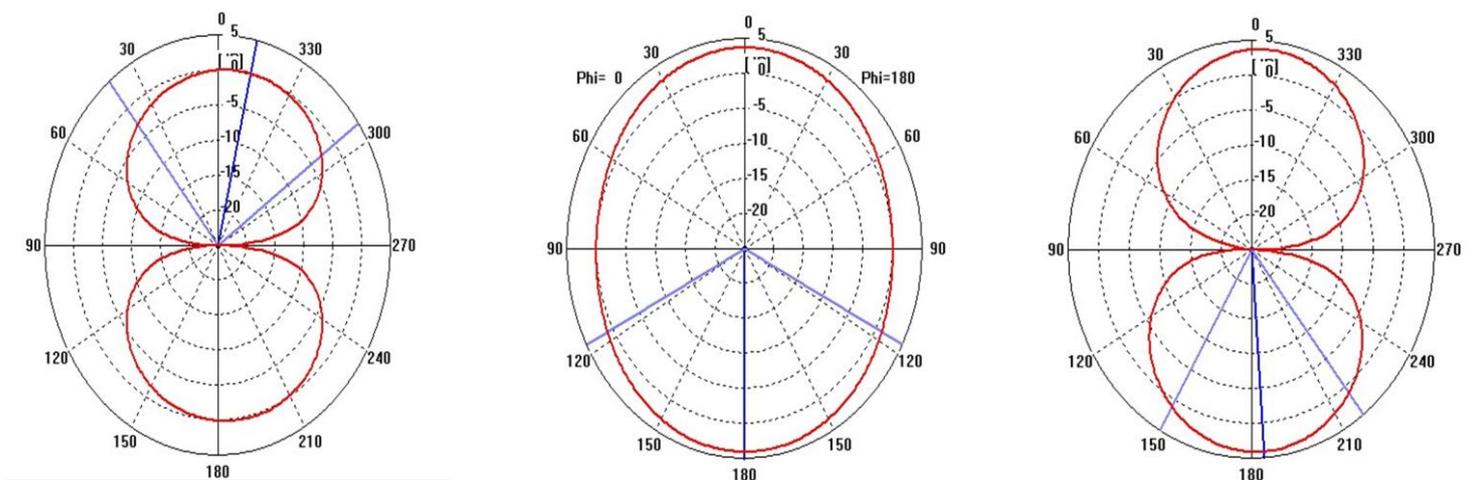


Figura 4.15 Planos: XY, XZ, YZ a 760 MHz

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

En cuanto a los diagrama de radiación (Figuras 4.13, 4.14 y 4.15), puede verse que presentan un patrón típico de monopolo en las 3 frecuencias... En el plano XZ, la antena radia en todas las direcciones aunque existe una mínima diferencia de dB entre el máximo (180 grados) y el mínimo (90 grados). En cuanto al plano XY, se tienen dos máximos a 0 grados y 180 grados y dos mínimos en 90 grados y 270 grados en la simulación. El plano YZ es muy similar al plano XY . Respecto la ganancia máxima puede verse que, a bajas frecuencias, su valor se encuentra en torno a 2 dB y según aumenta la frecuencia, la ganancia máxima aumenta hasta los 4dB. Este incremento se tiene a costa de que desaparezca un poco la omnidireccionalidad en el plano XZ.

En la figura 4.16 se presenta el diagrama de radiación de la Ganancia para la frecuencia intermedia en 3D.

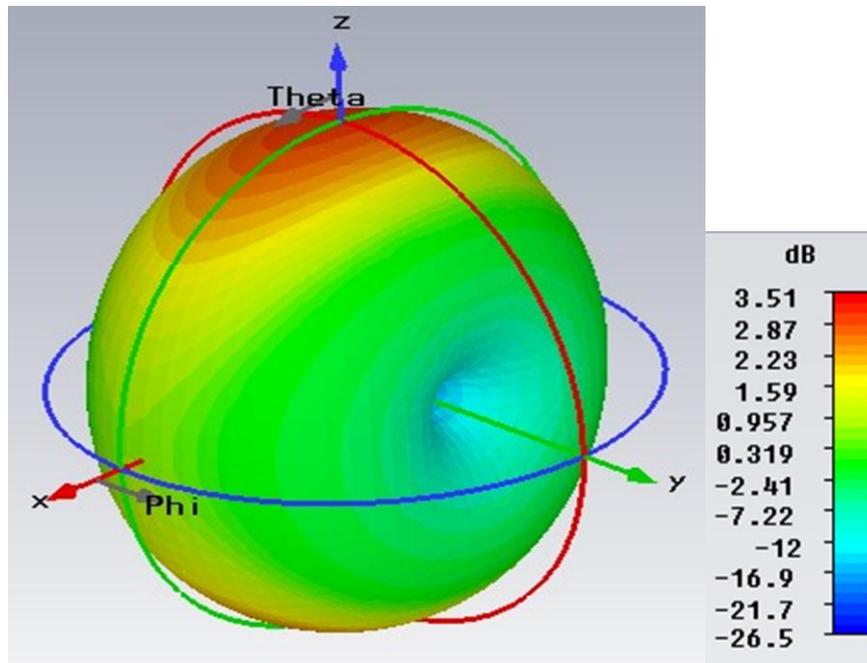


Figura 4.16 Diagrama de radiación de la Ganancia en 3D

## 4.3 Monopolo plano conformado sobre tubo de PVC

Ahora que hemos obtenido el monopolo plano vamos a seguir el 3º paso del punto 4.1.2, es decir, conformar el monopolo impreso sobre una tubería de PVC.

Antes de empezar el diseño, el interés es precisar que la antena esté adherida ocupando solamente media cara de la estructura cilíndrica, así la curvatura de la propia antena no dista mucho de la estructura plana de la antena diseñada y con ello no cambiar de forma excesiva sus características electromagnéticas.

Uno de las preguntas es decidir si el sustrato cilíndrico empleado tiene la forma de cilindro completo o se le practica un corte longitudinal aproximadamente por la mitad para que solo comprenda la antena. En un primer momento se trabaja en el 2º caso.

Como se ha explicado, en este proyecto se va a utilizar como sustrato una tubería de PVC que presenta una permitividad de 3.3, un grosor de 3.2 y un diámetro de 160 mm que permite contener el monopolo conformado en media cara de la estructura cilíndrica.

A continuación se explica detalladamente el proceso de conformación de la antena.

Para empezar el diseño se crea un cilindro hueco con un radio exterior de 80 mm y un radio interior de 76.8 mm dando lugar a un grosor de 3.2 mm. La altura del cilindro es de 160 mm, mayor que la anchura del monopolo plano y la permitividad es de 3.3. En la Figura 4.17 se muestra su diseño.

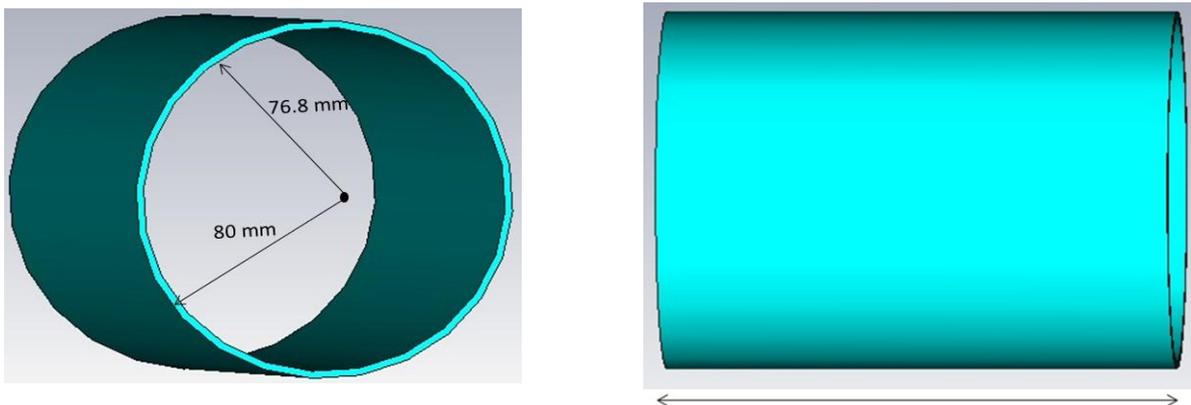


Figura 4.17 Sustrato cilíndrico

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

El siguiente paso es seleccionar el diseño del monopolo plano y prescindir del dieléctrico y del plano metálico que actúa como plano de masa y quedarse solamente con la línea microstrip y el elemento radiante. Figura 4.18

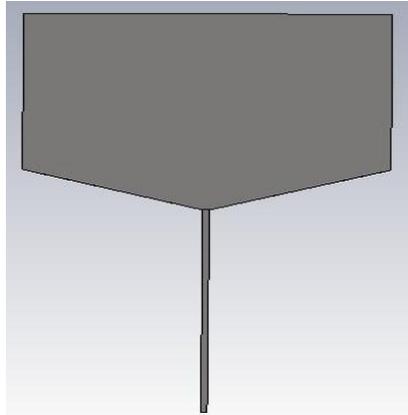


Figura 4.18 Monopolo plano sin sustrato ni plano de masa

Seguidamente hay que reducir el grosor de la línea de transmisión y el elemento radiante a una fina lámina de metal de 0 mm y aproximar esta estructura al cilindro con el fin que intersecten al menos en un punto. Fig. 4.19.

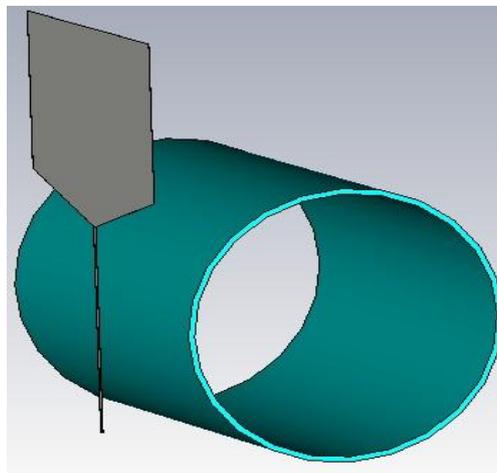


Figura 4.19 Monopolo plano y cilindro

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

En el paso siguiente hay que emplear la opción *Bend sheet* del programa CST que permite conformar cualquier superficie plana de grosor despreciable sobre una superficie curva. En la Figura 4.19 se muestra un ejemplo ilustrativo.



Figura 4.19 Ejemplo de la aplicación *Bend Sheet*.

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

Utilizando está opción se logra conformar el monopolo plano sobre la estructura cilíndrica. Fig. 4.20.

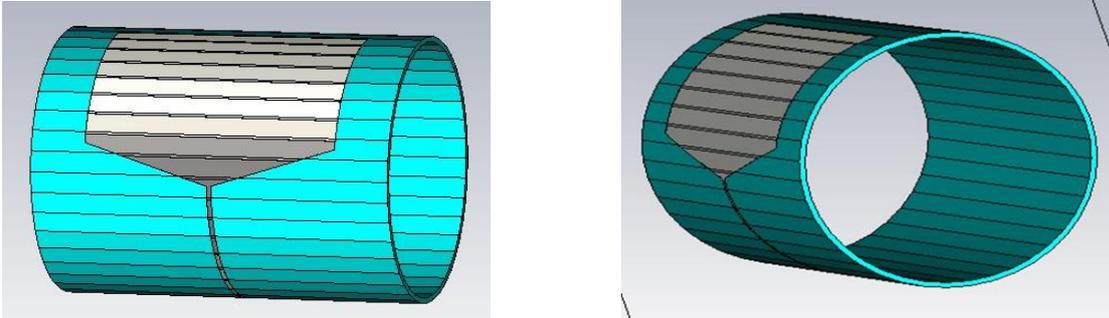


Figura 4.20 Monopolo plano conformado.

El siguiente paso es colocar un plano de masa cilíndrico en la parte interior del sustrato, para ello se crea un cilindro hueco de metal de radio 76.8 mm, altura 160 mm y grosor aleatorio. Mediante la opción translación se extrae el cilindro como se muestra en la Figura 4.21

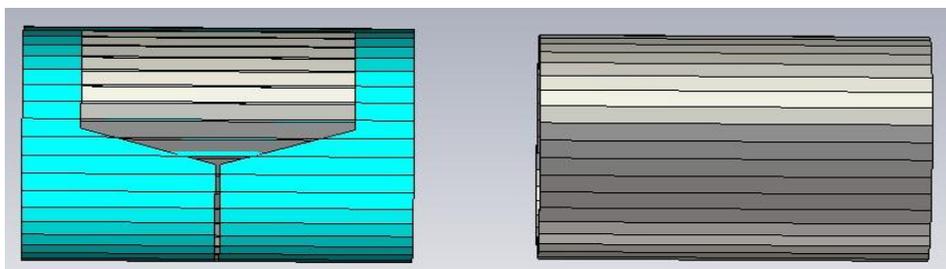


Figura 4.21 Cilindro metálico que hará de plano de masa.

Luego se crea un bloque sólido con el objetivo de seccionar longitudinalmente el cilindro con el fin de adecuarlo a la zona donde se coloca la línea microstrip. Fig. 4.22.

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

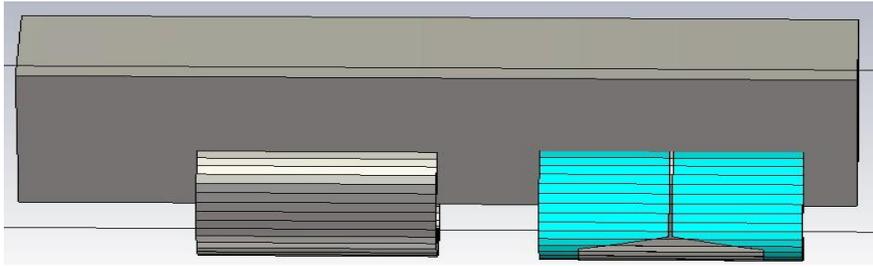


Figura 4.22 Como se aprecia la intersección coincide con la entrada de la línea microstrip.

Con la función booleana *boolean subtract* que ofrece el CST se elimina el bloque sólido y la zona que interseca el cilindro metálico con él. Fig. 4.23.

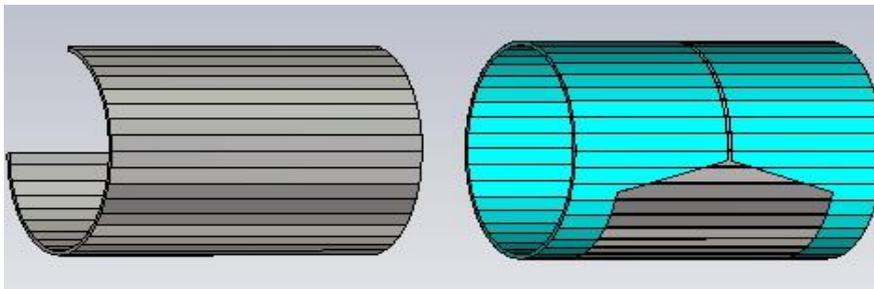


Figura 4.23 El resultado del comando *boolean subtract*.

De nuevo hay que practicar un nuevo corte longitudinal en el cilindro metálico 1 mm por encima del punto de unión entre la línea microstrip y el elemento radiante para finalizar la estructura del plano de masa. En las Figura 4.24 se describe este procedimiento.

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

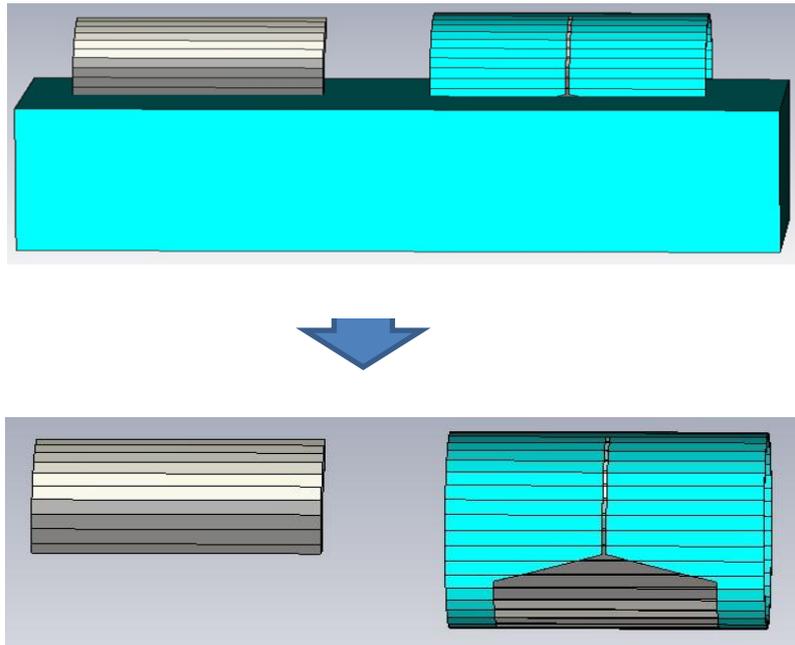


Figura 4.24 Con el corte el cilindro metálico sobrepasa 1 mm la base del elemento radiante.

Finalmente el plano de masa queda ubicado como se aprecia en la Figura 4.25

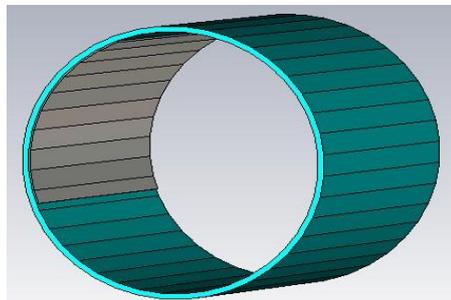


Figura 4.25 Plano de masa conformado sobre el sustrato cilíndrico.

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

Uno de los pasos que se realizan posteriormente es reducir el ancho del sustrato y el plano de masa a 160 mm para adecuarlos a la estructura del monopolo debido a que las dimensiones anteriores eran un poco grandes.

Otro cambio importante es otorgar un grosor a la línea microstrip y al elemento radiante debido a que el programa no permitía activar la opción *bend sheet* si el grosor de la metalización no era cero .

Asimismo para realizar las primeras simulaciones y evitar el efecto del sustrato sobrante ( el que no contiene el monopolo) en la radiación, se secciona el sustrato cilíndrico longitudinalmente aproximadamente por la mitad de forma que coincida uno de los cortes con la parte inferior de la línea de transmisión, con el objetivo de alimentar la antena.

La alimentación de la antena se ubica en el extremo de la línea microstrip con un puerto a  $75\Omega$

Con el diseño terminado presentado en la Fig. 4.26, el interés es simular la nueva geometría para averiguar los cambios de adaptación producidos por la conformación de la antena. El parámetro S11 proporcionado por el CST es el de la Fig. 4.27.

Como se observa la antena está adaptada a un rango de frecuencias más pequeño al que nos concierne con lo que habrá que efectuar varios ajustes en las dimensiones con la intención de obtener un coeficiente de reflexión similar al que obtuvimos en la Figura 4.10.

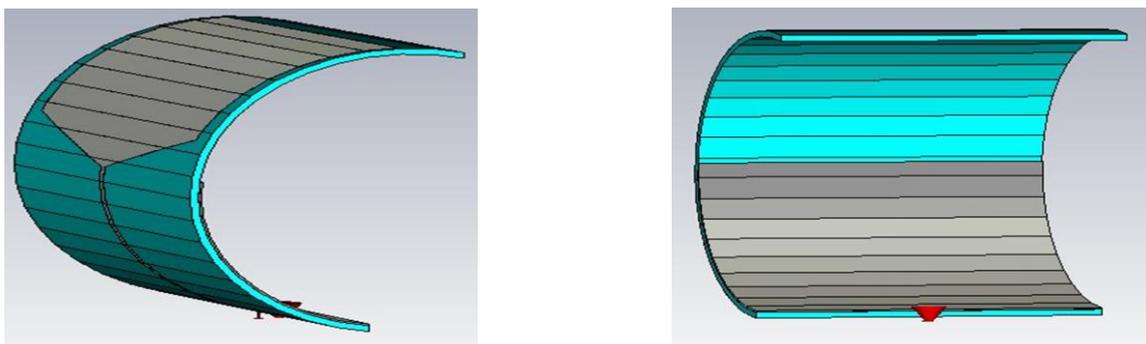


Figura 4.26 (a) Parte frontal del monopolo plano; (b) Parte trasera del monopolo plano.

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

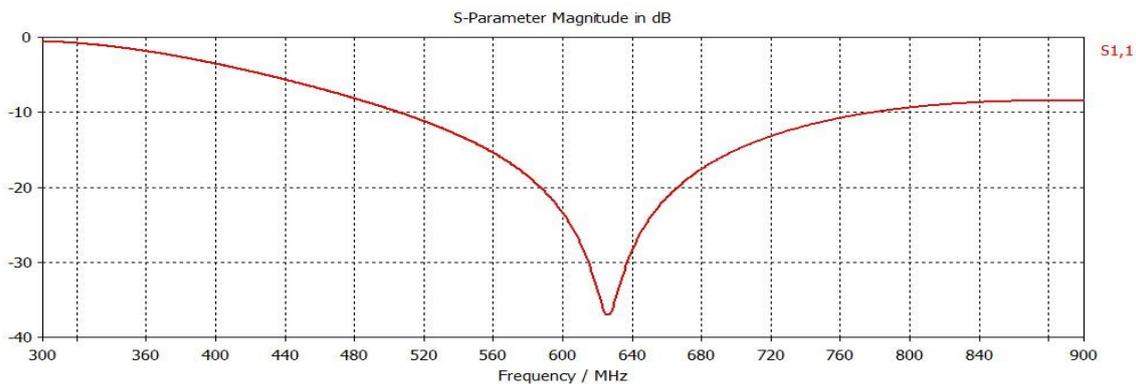


Figura 4.27 Parámetro S11 correspondiente a la antena mostrada en la Figura 4.26.

Realizando distintos ajustes de la antena, modificando el ancho y el alto del elemento radiante pentagonal, la posición de sus vértices, el grosor de la metalización conseguimos un diseño más óptimo y más parecido a lo que buscábamos.

Las características del nuevo diseño son las siguientes:

La anchura de la línea de transmisión es de 3.2 mm y su longitud se mantiene en 121 mm. La base del elemento radiante es la misma que la línea de transmisión, así se evitan transiciones bruscas en la corriente. La altura total del conjunto elemento radiante-línea microstrip es de 239 mm. El plano de masa ubicado en la cara inferior del sustrato excede 1 mm la longitud de la línea, es decir, posee una longitud de 122 mm. Para la simulación se ha supuesto un grosor de plano de masa de 1 mm y un grosor de la metalización de la cara superior del sustrato de 0.05 mm. En la Fig. 4.28 están descritas otras medidas. En la Fig. 4.29 se muestra el parámetro S11 para el nuevo diseño y como se observa la antena está adaptada en el rango de frecuencia que nos interesa.

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

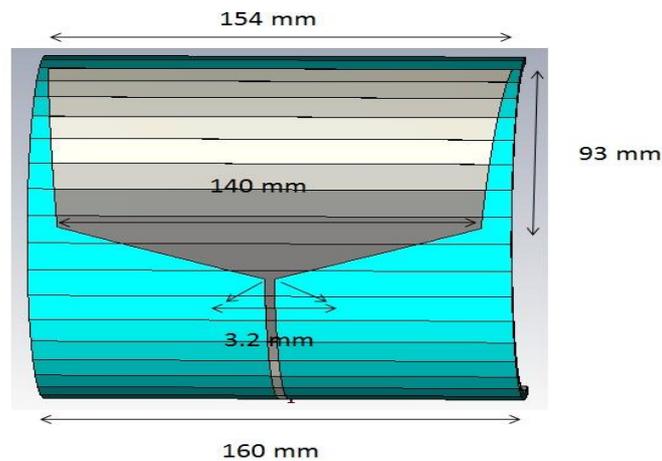


Figura 4.28 Dimensiones del nuevo diseño.

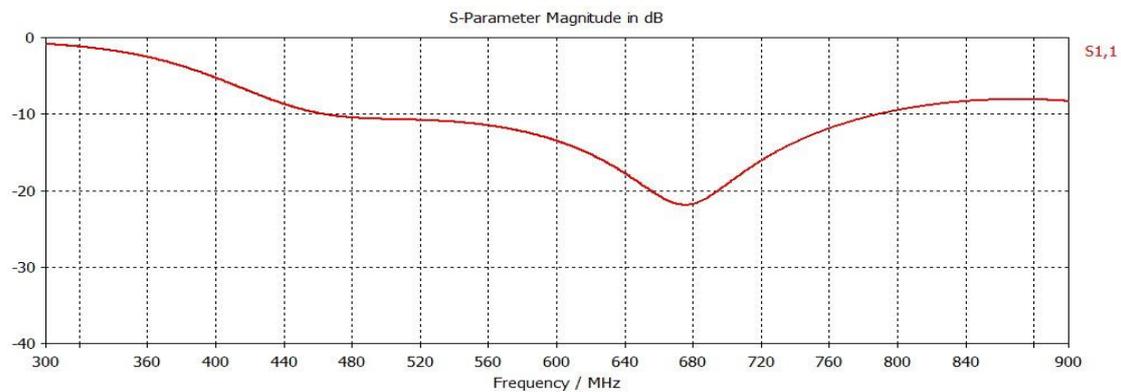


Figura 4.29 Parámetro S<sub>11</sub> correspondiente a la antena mostrada en la Figura 4.28.

Con el objetivo de finalizar el diseño, se decide simular la misma antena con el sustrato cilíndrico íntegro simplemente con una pequeña ranura que facilite situar la alimentación de la antena.

Además de ser más estética con la nueva estructura cilíndrica se obtiene una antena más robusta capaz de tolerar factores externos a ella (cambios climatológicos...).

Los resultados obtenidos con el CST son substancialmente diferentes a los anteriores como se aprecia en la Fig. 30.

La adaptación es buena sólo de 458 MHz a 769 MHz debido al efecto del sustrato en la cara interior del monopololo lo que obliga a reajustar el diseño del elemento radiante con el fin de obtener un coeficiente de reflexión muy similar a la Fig. 4.28.

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

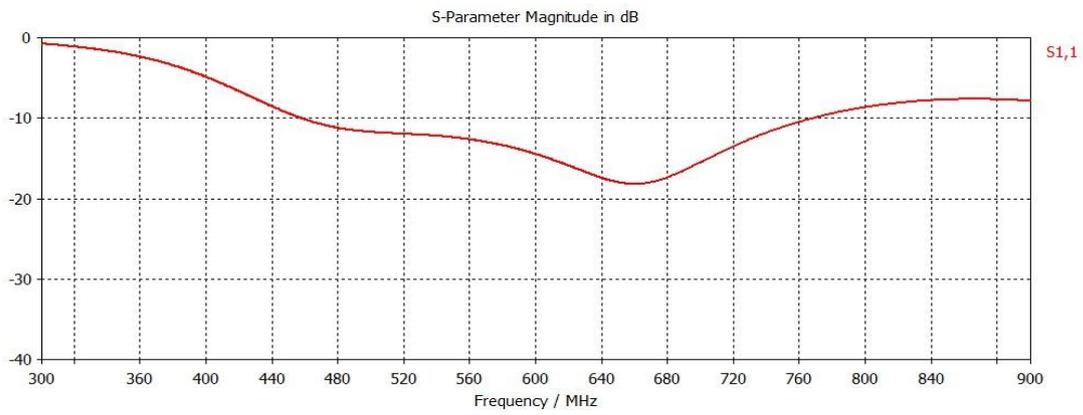


Figura 4.30 Parámetro S<sub>11</sub> correspondiente a la antena con el sustrato íntegro.

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

Reduciendo levemente la altura del elemento con forma pentagonal se consigue la adaptación requerida con lo que se puede dar el diseño por concluido. En la Figura 4.31 se presenta el diseño final en diferentes perspectivas con sus dimensiones y su coeficiente de adaptación.

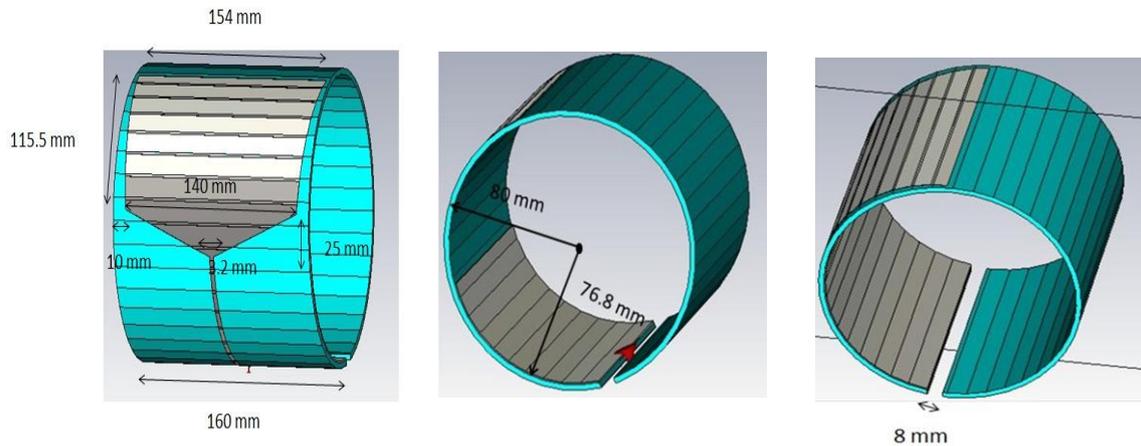


Figura 4.31 Dimensiones y perspectivas del diseño final.

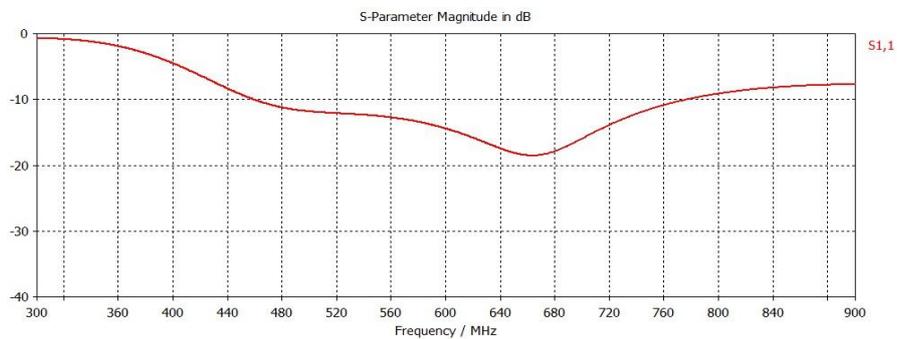


Figura 4.32 Parámetro S11 correspondiente al diseño final de la antena.

La antena está adaptada desde 460 MHz hasta 780, así que cumple nuestros requisitos.

Como en el caso del monopolo plano diseñado sobre PVC, se define un monitor de campo lejano en las mismas tres frecuencias: 475, 650 y 760 MHz y se repite la simulación con el fin de obtener el diagrama de radiación en polares en los distintos planos y el diagrama de radiación en 3 dimensiones.

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

La antena se considerará en el plano XY y el sistema de coordenadas empleado en CST se ilustra en la Fig 4.33

Los diagrama de Ganancia en los planos XY,XZ,YZ para las 3 frecuencias comentadas se presentan a continuación. Fig 4.34, 4.35 y 4.36.

La máximas Ganancias para las frecuencias 475, 650 y 760 Mhz son respectivamente: 2.180 dB,2.1912 dB y 2.900 dB.

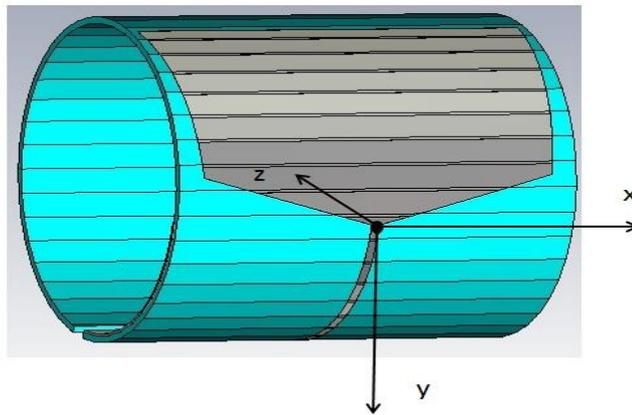


Figura 4.33 La antena se encuentra en el plano XY.

# Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

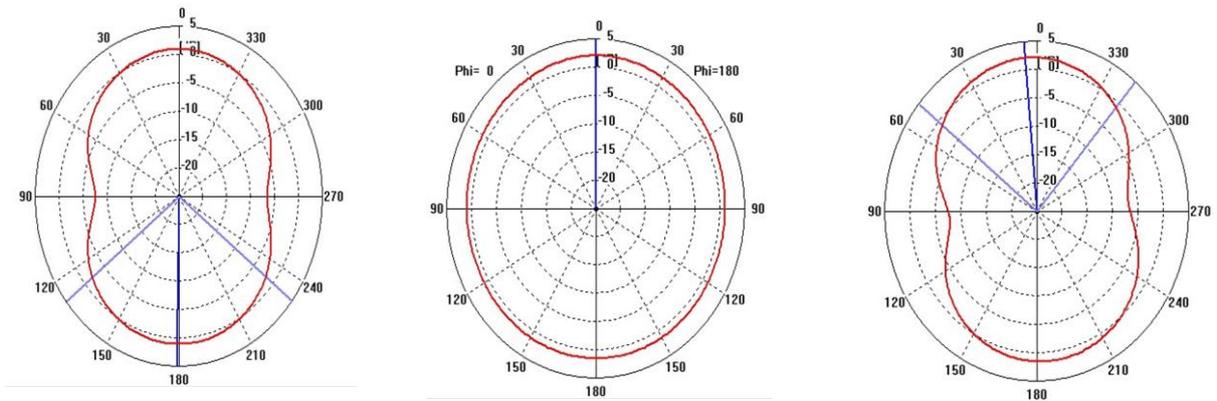


Figura 4.34 Planos: XY, XZ, YZ a 475 MHz.

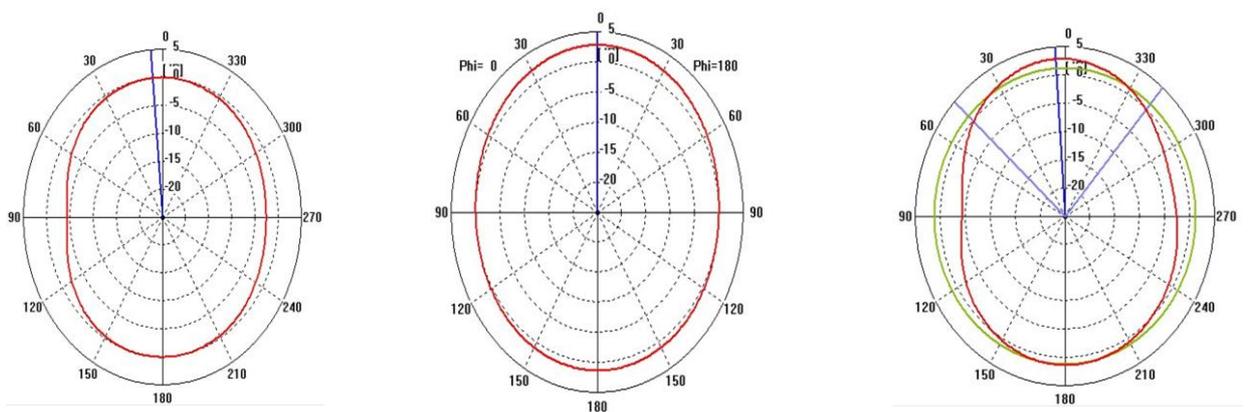


Figura 4.35 Planos: XY, XZ, YZ 650 MHz.

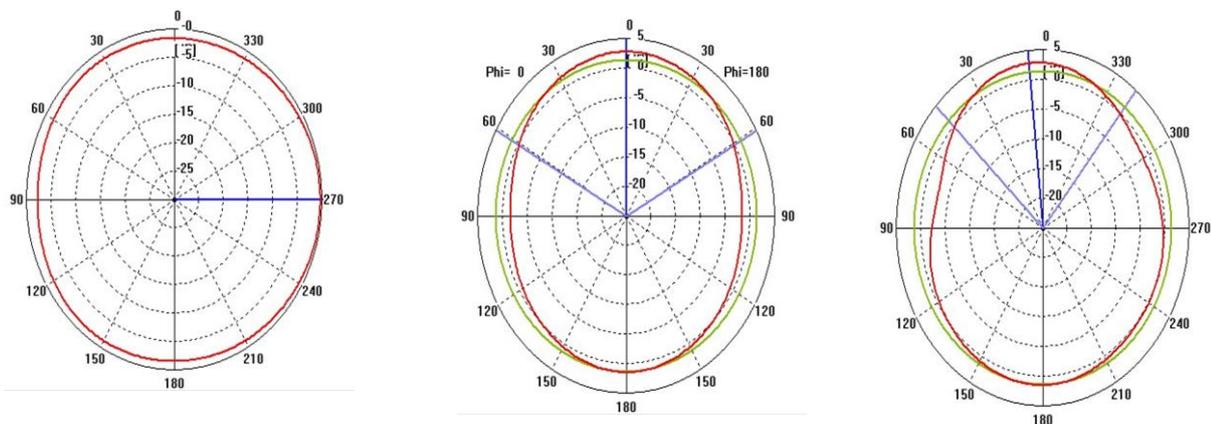


Figura 4.36 Planos: XY, XZ, YZ a 760 MHz.

## Diseño y caracterización de una antena plana conformada para recepción de TDT

---

Los diagramas de radiación (Figura 4.34, 4.35 y 4.36) presentan un comportamiento muy distinto a la antena plana, la conformación degenera el diagrama de radiación en todos los casos apareciendo lóbulos secundarios en los planos XY, YZ con la consiguiente desaparición de los nulos en 90 grados y 270 grados.

El incremento de la ganancia a mayor frecuencia se tiene a costa de que desaparezca la omnidireccionalidad en el plano XZ.

En la Figura 4.37 se muestra el diagrama de radiación en 3 dimensiones.

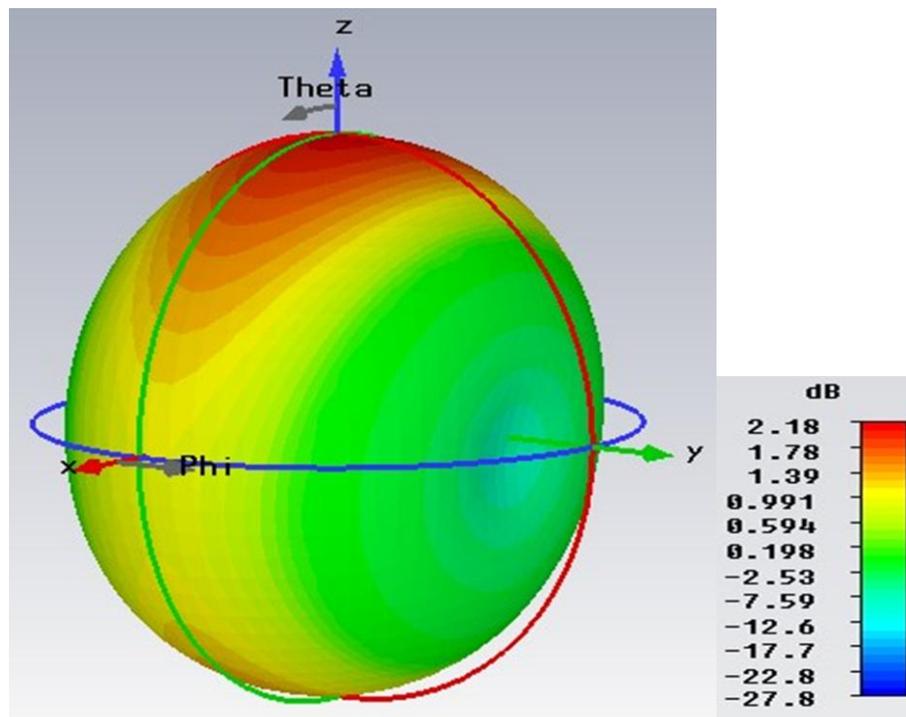


Figura 4.37 Diagrama de radiación de la Ganancia en 3 dimensiones.

## 5 Conclusiones y líneas futuras

### 5.1 Conclusiones

En los últimos años se ha producido un enorme crecimiento en el campo de antenas impresas, lo que las ha convertido en una de las áreas de investigación más productivas a día de hoy. Este tipo de antenas presentan reducido tamaño, estructura compacta y bajo perfil, por lo que pueden ser camufladas sin dificultad además que son fácilmente conformables y es posible adaptarlas al tamaño y forma que se desea. Este tipo de antenas son muy solicitadas por los fabricantes debido a su facilidad de construcción y de montaje, y a los bajos costes de producción.

Aunque estas antenas impresas con las características comentadas son atractivas para sistemas de comunicaciones móviles y radares. El interés general del proyecto ha sido el diseño de una antena plana conformada que tenga aplicación en otro ámbito distinto como el campo de la Televisión Digital Terrestre. El objetivo principal es suplir las Antenas Yagis empleadas en la actualidad.

En el presente proyecto se ha detallado y descrito paso a paso el proceso de diseño de una antena de estas características con unos resultados satisfactorios.

Basándonos en un monopolo impreso extraído de un proyecto anterior de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) se ha reediseñado por completo la antena para adecuarla a las condiciones de ancho de banda actuales de la TDT. Tras realizar este primer modelo se ha procedido el diseño de un segundo modelo con el fin de conformar el monopolo plano sobre un sustrato cilíndrico, el cual pueda mimetizarse en la fachada de un edificio. El monopolo plano conformado sobre una tubería cilíndrica de PVC está adaptado en la nueva banda de frecuencias descrita en el proyecto de real decreto presentado por el gobierno sobre la nueva regulación del Dividendo Digital.

## 5.2 Líneas futuras

Como posibles ideas para continuar con este trabajo se proponen las siguientes:

1. Proceder con la fabricación del modelo propuesto empleando una fresadora.
2. Analizar el antena fabricada mediante un analizador de redes para determinar si su parámetro de dispersión es similar al obtenido en la simulación con el CST y medir su nivel de señal en la azotea de un edificio con un medidor de campo
3. Mejorar el comportamiento de las antenas aquí propuestas, mediante un nuevo proceso de parametrización y posterior optimización.
4. Diseñar un nuevo modelo conformando varios monopolos planos en cascada en el sustrato cilíndrico. Los monopolos planos deben estar unidos mediante una red de alimentación. Con esta agrupación de antenas se podría obtener mayor directividad y mayor apuntamiento.
5. Otra opción es colocar a cierta distancia una metalización en la parte trasera del elemento radiante para reducir la radiación hacia la fachada del edificio y con ello conseguir una antena más directiva. Hicimos una pequeña prueba con el CST obteniendo mayor directividad pero la antena se desadaptaba con facilidad. Creemos que esta adaptación se puede optimizar probando distintas metalizaciones.

## 6 Bibliografía

- [1] C.A.Balanis, ¿Antenna Theory and Design, ¿John Wiley & Sons, Nueva York, 1997.
- [2] Schulze, Henrik. Theory and applications of OFDM and CDMA: wideband wireless communications. Chichester, England: John Wiley & Sons, 2005
- [3] K.L. Wong, ¿Compact and Broadband Microstrip Antennas, ¿Wiley- Interscience, John Wiley Sons, 2002.
- [4] Montero López, Bernardo. Microstrip patch antenna for wlan. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2005
- [5] C. Horng –Dean, ¿ Compact Broadband Microstrip-Line Fed Sleeve Monopole Antenna for DTV Application and Ground Plane Effect ¿ IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol.7, pp. 497-500, Dec 2008.
- [6] Yun-Wen Chi, Kin-Lu Wong, Saou-Wen Su, ¿Broadband Printed Dipole Antenna With a Step- Shapes Feed Gap for DTV Signal Reception, ¿IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 55, no. 11, pp. 3353-3356, Nov. 2007
- [7] Alonso Montes, José Ignacio. García Pedraja Fidel. Televisión Digital Terrestre: Aplicaciones y Proyectos Técnicos. Aspectos de Transmisión. Cátedra COIT 2010
- [8] A. Cardama, “Antenas”. Ediciones UPC, 1998.
- [9] M.A. Matin, B.S. Sharif, C.C Tsienidis, ¿ Probe Fed Stacked Patch Antenna for Wideband Applications, ¿IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 55, no. 8, pp 2385-2388 August 2007
- [10] Benoit, Hervé, Digital Television MPEG-1, MPEG-2 and principles of the DVB system. Oxford: Focal Press, 2002
- [11] Berral Montero, Isidoro. Instalación de antenas de TV. Madrid: Paraninfo, 1996.
- [12] Ferrando Bataller, Miguel. Análisis y diseño de antenas. Valencia: Editorial UPV, 2001

