



PRÁCTICA 1

ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS ANTENAS UTILIZADAS EN SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIÓN



1. Parámetros básicos de una antena

En esta práctica se pretende estudiar los parámetros básicos de los tipos de antenas más utilizados en los servicios de radiocomunicación:

- HPBW y FNBW
- SLL
- FBR
- XPD
- Eficiencia
- Ancho de banda en el que las pérdidas de retorno son mayores de 15 dB en %:

$$BW = \frac{f_{mx} - f_{mn}}{f_{central}} 100 (\%)$$

Todos ellos definidos y descritos en las transparencias del Tema 1.

El objetivo es simular el diagrama de radiación de algunas antenas para entender los parámetros de diseño y su influencia en el diagrama de radiación y aprender a trabajar con las hojas características que los fabricantes utilizan para caracterizar las antenas comerciales. A partir de este análisis se podrán extraer conclusiones sobre la idoneidad de utilizar un tipo concreto de antena para un servicio específico de radiocomunicación.

David de la Mata Moya
Judith Redoli Granados



2. Funciones de Matlab para simulación de antenas

2.1. Funciones de Matlab

show.-

show(object) displays antenna or array structure

pattern.-

pattern(object,frequency) plots the 3-D radiation pattern of the antenna or array object over a specified frequency. By default, in Antenna Toolbox™, the far-field radius is set to 100λ .

pattern(object,frequency,azimuth,elevation) plots the radiation pattern of the antenna or array object using the specified azimuth and elevation angles.

[pat,azimuth,elevation] = pattern(object,frequency,azimuth,elevation) returns the pattern value, pat, value of an antenna or array object at specified frequency. azimuth and elevation are the angles at which the pattern function calculates the directivity.

Other properties:

- 'CoordinateSystem' — Coordinate system to visualize radiation pattern
'polar' (default) | 'rectangular' | 'uv'
- 'Type' — Quantity to plot
'directivity' (Directivity in dBi, lossless antenna) | 'gain' (Gain in dBi, lossy antenna) | 'efield' (Electric field in volt/meter) | 'power' (Power in watts) | 'powerdb' (Power in dB)
- 'Polarization' — Field polarization
'H' (Horizontal polarization) | 'V' (Vertical polarization) | 'RHCP' (Right-hand circular polarization) | 'LHCP' (Left-hand circular polarization)

beamwidth.-

beamwidth(antenna,frequency,azimuth,elevation) plots the beamwidth of the input antenna at a specified frequency. The beamwidth is the angular separation at which the magnitude of the directivity pattern decreases by a certain value from the peak of the main beam. The directivity decreases in the direction specified by azimuth and elevation angles of the antenna.

impedance.-

impedance(antenna,frequency) calculates the input impedance of an antenna object and plots the resistance and reactance over a specified frequency.



`z = impedance(antenna,frequency)` returns the impedance of the antenna object, over a specified frequency.

`returnLoss`.-

`returnLoss(antenna,frequency,z0)` calculates and plots the return loss of an antenna, over a specified frequency and a given reference impedance, `z0`.

2.2. Funciones específicas para la práctica

Para facilitar el trabajo con estas funciones se adjuntan dos funciones diseñadas para evaluar el comportamiento de las antenas diseñadas:

`[Z_ANT]` = `estudiar_antena_completo(antena_objeto,frec,polarizacion,barrido)` .- representa el diagrama de radiación en 3D, los cortes en acimut y elevación, la impedancia de la antena y las pérdidas de retorno. Devuelve el valor de la impedancia de antena para la frecuencia de evaluación.

`[]` = `estudiar_antena_incompleto(antena_objeto,frec,polarizacion)` .- representa el diagrama de radiación en 3D y los cortes en acimut y elevación en coordenadas cartesianas

`[]` = `xpd_antena(antena_objeto, frec, acimut)` .- representa en una gráfica la directividad copolar y contrapolar en un diagrama 2D acimut en coordenadas cartesianas

Ejemplo: Para entender el funcionamiento de estas funciones, se propone realizar un ejercicio con soluciones relacionado con el análisis de una antena. Seguir los siguientes pasos:

- Ejecutar las siguientes líneas donde se diseña la antena que se quiere estudiar:

```
ANT_EJEMPLO = patchMicrostripEnotch;  
ANT_EJEMPLO.Tilt=[90 90];  
ANT_EJEMPLO.TiltAxis=[0 1 0;1 0 0];
```
- La antena de cuadro está sintonizada a 6675MHz (se considerará un barrido de 5675-7675MHz) y trabaja con polarización horizontal. Ejecutar la siguiente línea:

```
[Z_ANT_EJEMPLO] = estudiar_antena_completo(ANT_EJEMPLO,  
6675e6,'H',[5675e6:5e6:7675e6])
```
- Resultan 6 figuras
 - Figura Antena: se representa la antena diseñada. Se puede rotar la imagen con el ratón seleccionado el icono indicado en la Figura 1.

PRÁCTICA 1: ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS ANTENAS UTILIZADAS EN SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIÓN

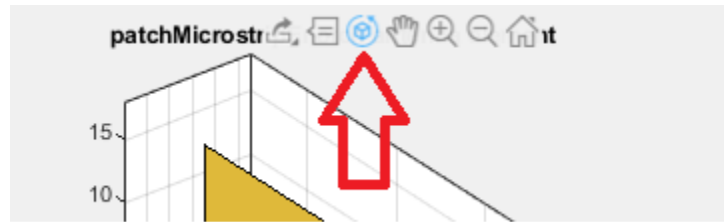


Figura 1. Herramienta para rotar las figuras 3D de Matlab

- Figura Diagrama 3D: se representa la directividad de la antenna en 3D y de dónde se pueden sacar el parámetro de directividad máxima ($D=4,84\text{dBi}$). Se puede rotar la imagen con el ratón seleccionado el icono indicado en la Figura 1.
- Figura Diagrama 2D Acimut: se representa la directividad en unidades logarítmicas en el plano 2D XY de elevación fija 0° y acimut variable $0:360^\circ$. También aparece sombreado el ancho de haz a 3dB ($\text{HPBW}_{\text{az}}=63^\circ$). Se puede utilizar el data tip (Figura 2) para buscar la dirección acimutal dónde se hace máxima la directividad máxima radiación ($D=4,849\text{dBi}$; $\theta=12^\circ$; se puede observar que la precisión del diagrama 3D y del diagrama 2D, para completar la práctica nos quedaremos con el valor D del diagrama 3D). En esta gráfica también se pueden buscar lóbulos secundarios ($\theta_{\text{LL1}}=99^\circ$, 201° y 263°) para determinar el $\text{SLL}_{\text{az}}=4,849-(-0,6279)=5,4769\text{dB}$ y el lóbulo posterior ($\theta_{\text{post}}=12+180=192^\circ$) para determinar el $\text{FBR}_{\text{az}}=4,849-(-1,236)=6,085\text{dB}$.

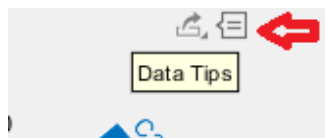


Figura 2. Herramienta Data Tips de las figuras de Matlab

- Figura Diagrama 3D Acimut: se representa la directividad en unidades logarítmicas en el plano 2D XZ de elevación variable $0:360^\circ$ y acimut fijo 0° . También aparece sombreado el ancho de haz a 3dB ($\text{HPBW}_{\text{el}}=99^\circ$). Utilizando el data tip (Figura 2) determinamos la dirección en elevación dónde se hace máxima la directividad máxima radiación ($D=4,371\text{dBi}$; $\varphi=0^\circ$). En esta gráfica también se pueden buscar lóbulos secundarios ($\varphi_{\text{LL1}}=132^\circ$ y $\varphi_{\text{LL2}}=229^\circ$) para determinar el $\text{SLL}_{\text{el}} = 4,371 - \max(\text{LL1}, \text{LL2}) = 4,371 - (-0,8357) = 5,2067\text{dB}$ y el lóbulo posterior ($\varphi_{\text{post}}=0+180=180^\circ$) para determinar el $\text{FBR}_{\text{el}}=4,371-(-2,364)=6,735\text{dB}$.
- Figura Impedancia: se representa en azul la resistencia (parte real de la impedancia) y en rojo la reactancia (parte imaginaria de la impedancia). Hay que recordar que una antena está sintonizada a una frecuencia, si para dicha frecuencia el valor de la

David de la Mata Moya
Judith Redoli Granados



reactancia es nulo o casi nulo. En el ejemplo, la variable de salida $Z_{ANT_EJEMPLO}=7,0703+0,1382i$.

- Figura RL: Se representa las pérdidas de retorno en unidades logarítmicas. Para determinar el ancho de banda con el data tip buscamos los valores más próximos a 15dB a ambos lados de la frecuencia de trabajo de la antena y calculamos la diferencia entre ambos valores. Hay que tener en cuenta, que la precisión de esta medida depende fuertemente del tamaño del paso en el barrido de frecuencias utilizado como parámetro de entrada.

$$BW = \frac{6695(RL = 14,65) - 6655(RL = 15,29)}{6675} 100 (\%) = 0,6\%$$

- Ejecutar la siguiente línea para comprobar el comportamiento de la antena cuando trabaja con polarización ortogonal:

```
xpd_antena(ANT_EJEMPLO, 6550e6, -180:180)
```

- Resulta la figura Estudio XPD Acimut donde se representa la directividad en unidades logarítmicas en un diagrama 2D acimut en coordenadas cartesianas (plano XY de elevación fija 0° y acimut variable 0:360°): la línea roja representa la polarización horizontal (en el ejemplo polarización copolar) y la línea azul la polarización vertical (en el ejemplo polarización contrapolar). El valor de XPD en función del ángulo será la diferencia entre la directividad para la polarización copolar y la directividad asociada a la polarización contrapolar para el ángulo considerado. Para la dirección acimutal de máxima radiación:

$$XPD=D_{PH}(\theta=12^\circ)-D_{PV}(\theta=12^\circ)=4,848-(-33,36)=38,208\text{dB}$$

3. Antenas lineales

Las antenas lineales se caracterizan por:

- Estar formadas por hilos conductores eléctricamente delgados (Diámetros $\ll \lambda$)
- Poderse modelar como un conductor de sección infinitesimal
- Diagramas de radiación que tienden a ser omnidireccionales

Se empezará simulando un **dipolo $\lambda/2$ para recibir señal de GPS (1.625 - 2.110 GHz)**:

- Longitud = $\lambda/2$ para la frecuencia central de la banda deseada
- Ancho = 0,001 m
- Polarización vertical, es decir, colocado sobre el eje z.

Ejercicio 3.1: Utilizar la función `estudiar_antena_completo.m` adjunta para analizar la antena con polarización vertical y extraer los parámetros de un dipolo $\lambda/2$: longitud física; Dmx; HPBW_az; SLL_az; FBR_az; HPBW_el; SLL_el; FBR_el; Z; BW

Al analizar los resultados se comprueba que la antenna diseñada presenta una **reactancia no nula a la frecuencia de diseño**. Para mejorar la sintonización utilizaremos un algoritmo de optimización incluido en el script de la práctica.

Ejercicio 3.2: Repetir el ejercicio 3.1 para la nueva antenna dipolo $\lambda/2$ optimizada. Determinar qué parámetros son los que se han modificado en el diseño y determinar qué parámetros de radiación han variado en consecuencia.

Ejercicio 3.3: Utilizar la función `xpd_antena` para estimar el valor de XPD en la dirección de máxima radiación al comparar el diagrama de radiación de una onda polarizada copolarmente (en este caso verticalmente) con el diagrama de radiación de una onda polarizada contrapolarmente (en este caso horizontalmente) de la antenna optimizada.

Ejercicio 3.4: Partiendo del dipolo optimizado y considerando un transmisor conectado a este dipolo que radia una potencia de 35mW, determinar el flujo de potencia con polarización vertical a una distancia de 11km:

- A un azimut de 30° y elevación 0°
- A un azimut de 0° y elevación -25°

Se asume condiciones de propagación de espacio libre.

Ejercicio 3.5: Extraer los parámetros básicos de las hojas de características de un dipolo $\lambda/2$: longitud física; D_{mx} ; $HPBW_{az}$; SLL_{az} ; FBR_{az} ; $HPBW_{el}$; SLL_{el} ; FBR_{el} ; Z ; BW y XPD . Comparar los datos obtenidos de una antenna comercial con los resultados de simulación obtenidos en los ejercicios previos.

4. Antena Yagi

Este tipo de antenas consiste en una agrupación de dipolos basada en la combinación de un elemento activo con varios elementos parásitos (Figura 3):

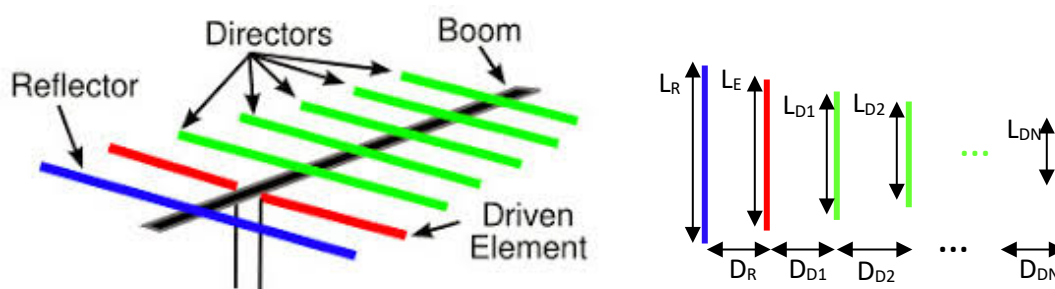


Figura 3. Esquema antenna Yagi

David de la Mata Moya
Judith Redoli Granados



- **Un dipolo excitado**, generalmente $\lambda/2$
- **Un elemento reflector**: dipolo normal situado detrás del excitado para controlar la radiación por el lóbulo posterior. Suele tener un tamaño un 5% mayor que el excitado. Suele estar separado una distancia en torno a $0,2\lambda$.
- **Uno o varios elementos directores**: dipolos normales situados delante del excitado para concentrar la densidad de potencia radiada en una determinada dirección. Suelen tener un tamaño un 5% menor que el excitado. Suelen estar separados una distancia $0,15\lambda$.

La ganancia de este tipo de antenas depende del número de elementos directores y suele estar en torno 5-19 dB.

En este apartado vamos a simular una **antena Yagi diseñada para la recepción de TDT** (Televisión Digital Terrestre), en concreto para la parte del espectro **centrada entre 406 y 512 MHz**.

- El dipolo excitado será un dipolo doblado diseñado para la frecuencia central de la banda
- El dipolo reflector tendrá una longitud un 5% mayor que la obtenida para el dipolo excitado ($L_R=1,05*L_E$) y se colocará a una distancia de $D_R=0,2\lambda$
- Los dipolos directores tendrán una longitud entre un 5%-10% inferior que la obtenida para el dipolo excitado ($L_D=0,95*L_E$) y se utilizará la misma distancia de separación entre los elementos directores y con el dipolo excitado igual a $D_D = 0,15\lambda$.

Ejercicio 4.1: Utilizar la función `estudiar_antena_completo.m` adjunta para analizar la antena Yagi con polarización horizontal: longitud física de los elementos; D_{mx} ; $HPBW_{az}$; SLL_{az} ; FBR_{az} ; $HPBW_{el}$; SLL_{el} ; FBR_{el} ; Z ; BW

El diseño se puede mejorar para conseguir una **mejor adaptación en la banda de interés** optimizando las distancias y separaciones de los distintos elementos de la Yagi con el algoritmo adjunto en el script de la práctica.

Ejercicio 4.2: Repetir el ejercicio 4.1 para la nueva antena Yagi optimizada. Determinar qué parámetros son los que se han modificado en el diseño y determinar qué parámetros de radiación han variado en consecuencia.

Ejercicio 4.3: Utilizar la función `xpd_antena` para estimar el valor de XPD en la dirección de máxima radiación al comparar el diagrama de radiación de una onda polarizada copolarmente (en este caso horizontalmente) con el diagrama de radiación de una onda polarizada contrapolarmente (en este caso verticalmente) de la antena optimizada.

Ejercicio 4.4: Utilizando la Yagi optimizada, determinar la superficie efectiva para:

- Un frente de onda con polarización horizontal que llega por azimut 20° y elevación 25°
- Un frente de onda con polarización vertical que llega por la dirección de máxima radiación

Ejercicio 4.5: Extraer los parámetros básicos de las hojas de características de una antena Yagi: longitud física; Dmx; HPBW_az; SLL_az; FBR_az; HPBW_el; SLL_el; FBR_el; Z; BW y XPD. Comparar los datos obtenidos de una antena comercial con los resultados de simulación obtenidos en los ejercicios previos.

5. Antena de parche

Son antenas que consisten en un parche metálico sobre un sustrato. Su principio de funcionamiento se basa la radiación en las discontinuidades y circuitos abiertos de la estructura. El modo fundamental es quasi-TEM y el efecto de bordes depende del grosor y permitividad del dieléctrico:

- El grosor del dieléctrico oscila entre $0,003\lambda$ y $0,05\lambda$ para evitar ondas superficiales
- La permitividad toma valores típicos entre 2 y 12 que determinan eficiencias de radiación aceptables

Una configuración convencional es el diseño de un parche de forma rectangular o circular de dimensiones entorno a $\lambda_{ef}/2$ (Figura 5), donde $\lambda_{ef} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_R}}$, ϵ_R es la permitividad relativa del sustrato y λ_0 la longitud de onda en el vacío.

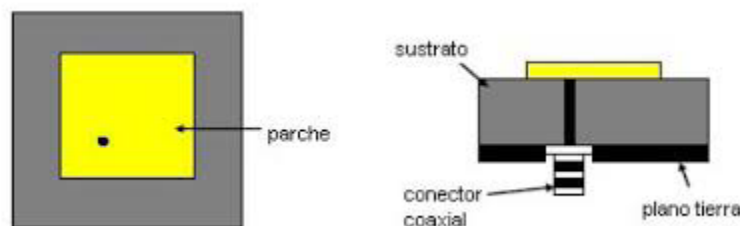


Figura 4. Antena de parche rectangular

Estas antenas se pueden alimentar de diferente forma:

- Por línea microstrip en el mismo plano del parche.
- Por sonda coaxial conectando el pin del coaxial al parche radiador y la malla al plano conductor.
- Por acoplamiento por proximidad en una estructura multicapa.
- Por acoplamiento a través de una ranura en una estructura multicapa

En este apartado de va a simular una **antena de parche diseñada para servicio de radiolocalización GPS (1575-1602 MHz)**. Como primera aproximación se va a diseñar un parche cuadrado con

David de la Mata Moya
Judith Redoli Granados



$L_p=W_p=\lambda_{ef}/2$, utilizando como sustrato FR4 con un grosor de $h_s=0,01\lambda_{ef}$, un plano de masa de dimensiones $L_s=W_s=\lambda_{ef}$ y una alimentación basada en sonda coaxial en el centro del parche $[X_f,Y_f]=[0,0]$ (Figura 6).

Ejercicio 5.1: Utilizar la función estudiar_antena_completo.m adjunta para analizar la antena de parche cuadrada con polarización vertical: dimensiones físicas del parche; Dmx; HPBW_az; SLL_az; FBR_az; HPBW_el; SLL_el; FBR_el; Z; BW

El resultado de esta simulación con polarización vertical **resulta una antena que no está sintonizada a la frecuencia seleccionada**, por lo que resulta necesario aplicar un algoritmo de optimización.

Ejercicio 5.2: Repetir el ejercicio 5.1 para la nueva antena de parche optimizada. Determinar qué parámetros son los que se han modificado en el diseño y determinar qué parámetros de radiación han variado en consecuencia.

Ejercicio 5.3: Utilizar la función xpd_antena para estimar el valor de XPD en la dirección de máxima radiación al comparar el diagrama de radiación de una onda polarizada copolarmente (en este caso verticalmente) con el diagrama de radiación de una onda polarizada contrapolarmente (en este caso horizontalmente) de la antena optimizada.

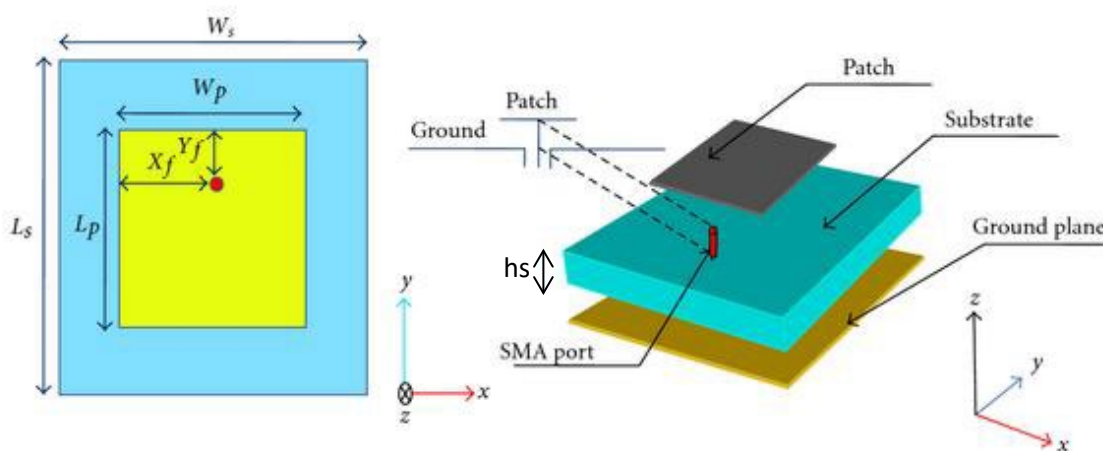


Figura 5. Definición de dimensiones de una antena de parche

Ejercicio 5.4: Partiendo que el parche optimizado forma parte de un receptor GPS, determinar la distancia a la que se encuentran los satélites GPS presentes en la cobertura del receptor:

- La potencia recibida en bornas de la antena asociada al satélite SVN 73 situado a un azimut 0° y una elevación 44° es -119 dBm

David de la Mata Moya
Judith Redoli Granados



PRÁCTICA 1: ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS ANTENAS UTILIZADAS EN SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIÓN

- La potencia recibida en bornas de la antena asociada al satélite SVN 68 situado a un azimut 0° y una elevación 8° es -119

Asumir condiciones de propagación de espacio libre.

Ejercicio 5.5: Extraer los parámetros básicos de las hojas de características de una antena de parche: dimensiones físicas del parche; Dmx; HPBW_az; SLL_az; FBR_az; HPBW_el; SLL_el; FBR_el; Z; BW y XPD. Comparar los datos obtenidos de una antena comercial con los resultados de simulación obtenidos en los ejercicios previos.

6. Antenas parabólicas

Una antena parabólica se basa en un alimentador primario y, al menos, un reflector parabólico (Figura 8). Está muy extendido el uso de antenas de bocina como foco primario. Este tipo de antenas consisten en estructuras con una apertura formada por el abocinamiento de una guía de ondas de una manera controlada para adaptar así la impedancia de la guía de ondas al espacio libre. Se caracterizan por tener gran ancho de banda y ser de fácil construcción.

Los reflectores parabólicos son capaces de concentrar más la radiación en un haz de perfil muy estrecho. Esta configuración se caracteriza por no tener una buena eficiencia por lo siguiente efectos:

- Spillover: La potencia radiada por el reflector depende de la potencia interceptada del alimentador
- Despolarización: Debido a la curvatura del reflector, la distribución de campo reflejado en la apertura puede contener dos componentes (copolar y contrapolar) con respecto a la polarización del alimentado
- Iluminación: Debido a la posición del iluminador se produce una zona de sombra de radiación y la distancia que recorren los campos hasta el reflector no es uniforme en toda la superficie.

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} S_{geom} \eta_{spillover} \eta_{despolarizacion} \eta_{iluminacion} = \left(\frac{\pi D_A}{\lambda} \right)^2 \eta_{total}$$

Se va a diseñar una **antena parabólica para un servicio punto a punto para trabajar en la banda de 10 a 11.7 GHz**. El reflector presentará un diámetro de $D_A=0,6\text{m}$ y una separación con su foco primario que cumple la relación $\frac{d_f}{D_A} = 1$.

David de la Mata Moya
Judith Redoli Granados



Ejercicio 6.1: Utilizar la función `estudiar_antena_incompleto.m` adjunta para analizar la antena parabólica con polarización vertical: dimensiones físicas de la apertura de la parábola; D_{mx} ; HPBW_az; SLL_az; FBR_az; HPBW_el; SLL_el; FBR_el

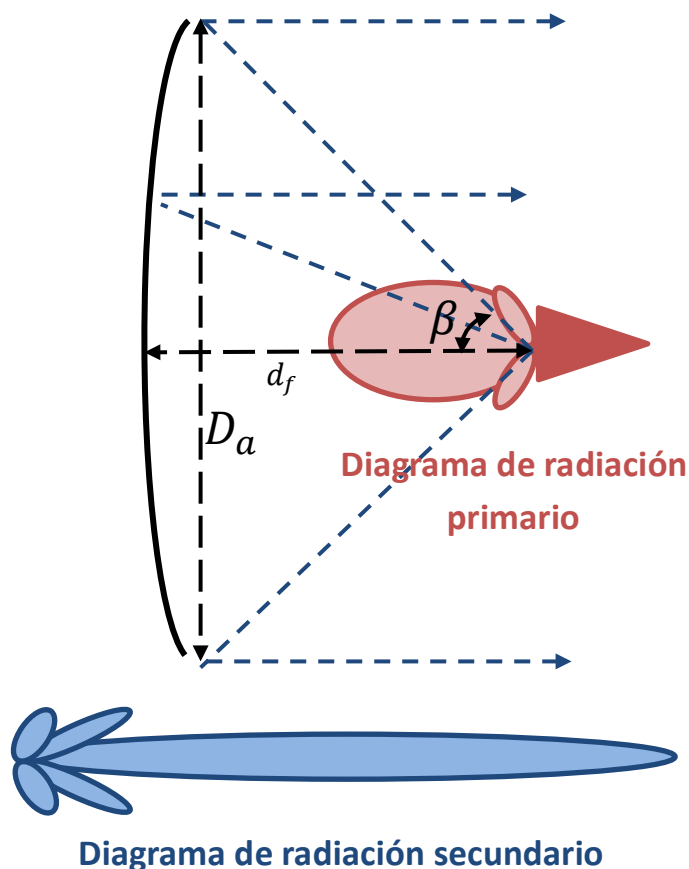


Figura 6. Diagramas de radiación primario y secundario en una configuración con reflector parabólico

Ejercicio 6.2: Introducir un cambio en el tamaño del reflector ($PBL.Radius=0.9/2$; $PBL.FocalLength=(2*PBL.Radius)$;) y volver a utilizar la función `estudiar_antena_incompleto.m` para comparar que parámetros cambian.

Ejercicio 6.3: Utilizar la función `xpd_antena.m` con la antena de diámetro 0.6m y extraer el valor de XPD en la dirección de máxima radiación de la antena parabólica al comparar el diagrama de radiación de una onda polarizada copolarmente (en este caso verticalmente) con el diagrama de radiación de una onda polarizada contrapolarmente (en este caso horizontalmente).



PRÁCTICA 1: ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS ANTENAS UTILIZADAS EN SISTEMAS DE RADIOCOMUNICACIÓN

Ejercicio 6.4: Asumiendo que las estaciones de un enlace terrestre cuentan con las antenas de diámetro 0.6m y que están separadas 23km, determinar el campo recibido asociado a una potencia recibida de -88dBm. Determinar la potencia recibida en caso de que ese valor de campo llegara a la antena en polarización horizontal.

Ejercicio 6.5: Extraer los parámetros básicos de las hojas de características de una antena parabólica: dimensiones físicas de la apertura de la parábola; Dmx; HPBW_az; SLL_az; FBR_az; HPBW_el; SLL_el; FBR_el, BW y XPD. Comparar los datos obtenidos de una antena comercial con los resultados de simulación obtenidos en los ejercicios previos.

7. Conclusiones

Los resultados y conclusiones se presentarán de modo oral utilizando como base una presentación donde se muestren de forma resumida todos los resultados obtenidos. La presentación tiene que estar disponible para los profesores antes de la presentación utilizando la actividad del aula virtual destinada a tal efecto. Es muy importante ajustarse al tiempo de presentación preparándose de forma muy clara los conceptos y resultados que se quieren exponer y resaltar.

David de la Mata Moya
Judith Redoli Granados