

Estudio y Evaluación de un Sistema Radar como Práctica de Laboratorio en Ingeniería de Telecomunicación

Yuri Álvarez López, Fernando Las-Heras Andrés

Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones, Departamento de Ingeniería Eléctrica
Universidad de Oviedo

Edificio Polivalente, Módulo 8, Campus Universitario de Gijón. 33203, Gijón (Asturias)
yalopez@tsc.uniovi.es ; flasheras@tsc.uniovi.es

Abstract— En esta comunicación se describe la realización de una práctica para la asignatura de “Radar y Radiolocalización”, de 5º Curso de la titulación de Ingeniero de Telecomunicación. Dentro del contexto del nuevo Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), uno de los objetivos es la motivación del alumnado mediante la inclusión de prácticas de laboratorio que permitan ilustrar de forma práctica los conceptos teóricos. Si bien en algunas materias dicha puesta en práctica es sencilla, en otras, como Radar y Radiolocalización, se requieren recursos hardware algo más sofisticados. Dichas metas son las que se pretenden alcanzar con el desarrollo de la práctica presentada. Como objetivos, se persigue que los alumnos sean capaces de poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos en la asignatura, experimentando las prestaciones de un sistema radar: detección de blancos en un entorno real, así como dotarles de iniciativa para realizar diferentes experimentos de medidas radar. La práctica abarca las competencias de organización y planificación, trabajo en equipo, aprendizaje autónomo, resolución de problemas. El desarrollo de la práctica abarca las siguientes fases: i) Familiarización con los instrumentos de medida, y puesta a punto del sistema radar. ii) Realización de medidas radar bajo diferentes configuraciones. iii) Elaboración de rutinas para el procesado numérico de las medidas. iv) Análisis e interpretación de los resultados. Esta práctica se impartirá por primera vez en el segundo cuatrimestre del Curso 2011/2012, por lo que los resultados de aprendizaje se expondrán en el congreso.

Palabras clave-Prácticas de laboratorio; sistema radar; competencias de aprendizaje; aprendizaje basado en problemas; ingeniería de telecomunicación.

I. MOTIVACIÓN DEL TRABAJO

La realización de prácticas de laboratorio que permitan ilustrar de forma aplicada los contenidos teóricos de las asignaturas es una de las necesidades existentes en gran parte de las titulaciones de carácter científico / técnico. Esta necesidad es más acuciante en el ámbito de las asignaturas relacionadas con el electromagnetismo y las comunicaciones, donde se trabaja con magnitudes físicas que no son perceptibles por los sentidos, exigiendo a los alumnos de una gran capacidad de abstracción para comprender y entender los conceptos que se imparten.

Aprovechando la adaptación a los nuevos grados y másteres del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) [1],[2], en el Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Universidad de Oviedo se está llevando a cabo el desarrollo de nuevas prácticas de laboratorio que permitan afianzar el contenido teórico de las asignaturas, así como hacerlas más atractivas. La presente comunicación se centra en la asignatura de “Radar y Radiolocalización” [3], asignatura optativa de 5º curso, que tendrá su continuidad en la asignatura de grado “Sistemas de Radiodeterminación” [4] en un par de años. Como experiencia piloto en el curso 2011-2012, se propone un demostrador de radar utilizando instrumentación disponible en los laboratorios.

II. OBJETIVOS Y COMPETENCIAS CUBIERTAS

A. Descripción de competencias

La práctica pretende orientarse hacia la filosofía del Aprendizaje Basado en Problemas. Para ello, se plantean diversas cuestiones a lo largo del desarrollo de la práctica que los alumnos han de resolver a partir de la observación del problema bajo estudio: en este caso, el problema a resolver es la determinación de la distancia de un objeto –blanco– mediante medidas con un sistema radar [5]-[8].

En cuanto a las **competencias generales**, la práctica abarca i) planificación, ii) trabajo en equipo, iii) aprendizaje autónomo, iv) resolución de problemas.

Asimismo, las competencias específicas y resultados de aprendizaje que se han definido para esta asignatura son las siguientes [3],[4]:

Competencias de formación de Tecnología Específica para el itinerario en Sistemas de Telecomunicación: *CST4*: Capacidad para la selección de circuitos, subsistemas y sistemas de radiofrecuencia, microondas.

Otras competencias que también se abordan son: i) Evaluación de impacto humano de las emisiones electromagnéticas. ii) Integración de diversas tecnologías de radiocomunicaciones. iii) Empleo de técnicas inductivas de aprendizaje.

Resultados del aprendizaje: RA-14.13: Construir un sistema completo a partir de diferentes subsistemas. RA-14.14: Seleccionar la tecnología y los componentes más adecuados para cada aplicación en las diferentes bandas de frecuencia. RA-14.15: Comprender y aplicar los principios fundamentales de la radiodeterminación. RA-14.16: Programar aplicaciones para la simulación de navegación y localización. RA-14.17: Identificar y seleccionar circuitos y subsistemas para sistemas de radiodeterminación.

B. Contexto de la práctica

La asignatura de “Radar y Radiolocalización” comprende cuatro prácticas de laboratorio, de las cuales 3 son de simulación con ordenador, con una duración de 2 horas cada una (1 sesión de prácticas), y la cuarta, que es la que se describe en este documento, tiene programada una duración de 4 horas (2 sesiones de prácticas). En la primera sesión se realizarán las medidas indicadas en la Sección III, mientras que la segunda sesión se destina a que los alumnos implementen las rutinas necesarias para el procesamiento y representación de los datos medidos. El peso de las prácticas en la nota de la asignatura es de un 30 %, el examen final es un 50 %, y la realización de trabajos un 20 %. Para superar la asignatura se requiere que el promedio de la nota obtenida en cada una de las 3 partes (examen, prácticas, trabajos) sea superior a 5 sobre 10, exigiéndose mínimo de 3,5 sobre 10 en cada parte.

Con respecto a conocimientos previos, la asignatura se imparte en el segundo cuatrimestre del quinto curso de la titulación [3], con lo que se asume que el alumno ya ha cursado las asignaturas de “Radiación y Radiopropagación”, “Microondas”, “Antenas”, y “Tecnologías de Alta Frecuencia”. Estas cuatro asignaturas introducen los conceptos teóricos y prácticos necesarios para la realización de la práctica, como por ejemplo, el concepto, modo de funcionamiento y operación de un analizador vectorial de redes, necesidad de calibración del equipo, parámetros básicos de un circuito de microondas, etc. En este sentido, se requiere que los alumnos hayan leído y entendido las tareas indicadas en la memoria de prácticas antes de acudir a las sesiones de prácticas, lo cual conlleva una dedicación por parte de los alumnos de media hora aproximadamente.

Uno de los requisitos del éxito de este tipo de prácticas es la capacidad de disponer de un número reducido de alumnos por grupo (máximo de 5-6), tal y como sugieren las directrices del EEES. En el presente curso académico, el número de alumnos matriculados y la disponibilidad de los laboratorios permite la viabilidad de la práctica.

III. METODOLOGÍA DOCENTE

En la siguiente sección se llevará a cabo la descripción de la práctica. Dicha descripción se ha dividido en dos partes: en primer lugar, se muestra el guión de la práctica que se entregará a los alumnos. El desarrollo de dicha práctica estará supervisado en todo momento por el profesor responsable de la asignatura. En segundo lugar, se presentarán algunos de los resultados obtenidos durante la preparación de la práctica.

A. Guión de la práctica

Introducción

Con el fin de analizar de forma experimental los elementos que intervienen en un sistema radar, se propone la realización de un radar elemental, utilizando la instrumentación disponible en los laboratorios del Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones de la Universidad de Oviedo. La idea es realizar un radar portable, como el que muestra en la Figura 1.

Las medidas se almacenarán para su posterior post-procesado y análisis. La idea es comprobar de forma experimental las capacidades de detección de blancos de un sistema radar sencillo.



Figura 1. Sistema radar portable.

Características del sistema radar:

- Ancho de banda disponible: 2 GHz, con un muestreo en frecuencia de 2 MHz
- Configuración cuasi-monoestática (se utilizan dos antenas de tipo bocina piramidal, para emitir y recibir).

Instrumentación disponible/requerida:

- Analizador vectorial de redes de la serie ZVRE de la empresa Rohde & Schwarz. Hasta 4 GHz.
- Kit de calibración del analizador vectorial de redes. Puertos con conectorización N hembra.

- Bocinas piramidales en la banda de 2 a 3.9 GHz, con conectorización SMA hembra.
- Cables de radiofrecuencia de 50 cm de longitud, con conectorización SMA macho.
- Conectores de SMA hembra a N macho.
- Listón de madera.
- Canalón metálico de sección cuadrada de 5x5 cm, y 3 m de longitud. Nota: valdría cualquier otro objeto metálico de sección constante y longitud > 2 m (ej. una varilla metálica).
- Disco de almacenamiento de 3 1/2"

El radar portable se montará sobre un carrito que dispone de toma de corriente, con un cable alargador de 10 m, tal y como se muestra en la Figura 1.

Desarrollo de la práctica:

Parte 1: montaje del sistema radar (tiempo estimado: 1 h)

El profesor dispondrá la instrumentación requerida para la práctica en el carrito, comprobando que está todo el material necesario.

En primer lugar, se encenderá el analizador vectorial de redes, y se resetearán los parámetros por defecto (botón "reset"). A continuación, se llevará a cabo la calibración del analizador vectorial de redes. Para ello, habrá que definir el ancho de banda requerido así como el muestreo en frecuencia.

Calcule dichos parámetros teniendo en cuenta que:

Las pérdidas de retorno de las bocinas están por debajo de 10 dB en la banda de funcionamiento de 2 a 4 GHz

La ambigüedad en distancia viene dada por [5],[6]:

$$R_{unamb} = \frac{c}{2 \cdot \Delta f} \quad (1)$$

Donde Δf es el muestreo en frecuencia. Se desea una $R_{unamb} \geq 15$ m

Una vez configurados el analizador vectorial de redes con el ancho de banda y la resolución en frecuencia indicados, se procederá a calibrarlo siguiendo el asistente de calibración indicado. La calibración se realizará utilizando como referencia conectores SMA hembra ("female"). Para ello, se conectarán los adaptadores de N macho a SMA hembra a cada uno de los puertos del analizador de redes, y a continuación se pulsará el botón "cal" para comenzar la calibración.

Para realizar la calibración, se utilizará el conjunto de cargas ("open", "short", "load 50 ohm", "through") que se muestran en la Figura 2. A la hora de seleccionar las cargas, compruebe que la conectorización es la complementaria a la de los puertos.

Una vez calibrado el analizador vectorial de redes, coloque las bocinas encima del analizador, de forma que la polarización de las mismas sea vertical con respecto al suelo. Intente colocarlas de forma que la apertura sea lo más vertical posible, y que ambas bocinas tengan la apertura en el mismo plano (es

decir, paralelas). Para cada uno de los cables SMA, conecte un extremo a una bocina, y el otro extremo, a un puerto del analizador. El montaje resultante debería parecerse al que se ha mostrado en la Figura 1.

Represente el parámetro S11 (pérdidas de retorno). Compruebe el valor de dicho parámetro en la banda de trabajo seleccionada, y compare el S11 y el S22 ¿Son parecidos? Indique cuál es la importancia de dicho parámetro en el correcto funcionamiento del sistema radar.



Figura 2. Kit de calibración del analizador vectorial de redes para conectorización SMA.

Ahora, represente el parámetro S21 y analice el nivel observado. En ausencia de objetos, ¿qué representa dicho parámetro? Comente la relación entre el nivel del parámetro S21 y el margen dinámico del sistema radar.

Finalmente, para guardar las trazas medidas, configure el analizador de la siguiente forma: i) Directorio: A:\ (diskette). ii) Formato: ASCII. iii) Unidades: amplitud (dB) / fase (°).

Parte 2: medidas (tiempo estimado: 1 h)

Coloque el sistema radar portable de forma que las antenas queden enfrentadas a una pared. Guarde el campo medido (además, almacene la traza medida en memoria), y a continuación, mida la distancia entre la pared y la apertura de las bocinas.

Repita el experimento desplazando el carrito de metro en dirección a la pared. ¿Qué observa en la traza medida? Compare los niveles medidos según va acercando el carrito. ¿Observa un efecto parecido al mostrado en la Figura 3?

Coloque el carrito en la posición inicial, y sitúe un objeto metálico de sección constante en altura (por ejemplo, el canalón metálico que se muestra en la Figura 4 (b)) entre la pared y las bocinas. Guarde los resultados de la medida sin el objeto y con el objeto.

Apartados opcionales (orientados a fomentar la iniciativa del alumno):

a) Pruebe a realizar diversas pruebas variando el apuntamiento de las bocinas con respecto a la pared: para ello, gire el carrito sobre un eje de giro que pasaría por la línea donde los bordes de las bocinas hacen contacto. Anote el ángulo que forma el sistema. Guarde estas medidas para la práctica 4 (procesado de imágenes SAR). Nota: si realiza este apartado, se recomienda medir haciendo giros de 10-15° entre -60° y +60° con respecto a la pared.

b) Sitúe a una persona a cierta distancia de las bocinas: espere a que se estabilice la medida, y guarde la traza. Compare los resultados con los obtenidos cuando no hay una persona.



Figura 3.(a) Medida correspondiente a una distancia D = 430 cm



Figura 3.(b) Medida correspondiente a una distancia D = 330 cm

Parte 3) Procesado de las medidas (tiempo estimado: 2 h)

Los ficheros de medidas generados contienen el siguiente formato: una cabecera de datos, seguida de 3 columnas, donde cada columna es: frecuencia (Hz), amplitud (dB), fase (grados).

Para procesar las medidas, se pueden emplear dos técnicas:

3.1) *Procesado SAR*: la reflectividad en cada punto viene dada por [5],[6]:

$$\rho = \sum_{n=1}^N RCS_n e^{+2jk_{0,n}d} \quad (2)$$

Donde ρ es la reflectividad, N es el número de frecuencias, RCS_n es la n -ésima medida de RCS (en parte real e imaginaria), $k_{0,n}$ es el número de onda de la n -ésima frecuencia, y d es la distancia a las bocinas.

Implemente esta ecuación considerando un rango de distancias $d = [0 : 0.01 : 10]$ m. Represente los resultados para los diferentes ficheros de medidas. Normalice las gráficas, y represente un margen entre -60 dB y 0 dB.



Figura 4.(a) Medida sin obstáculo.



Figura 4.(b) Medida con obstáculo.

¿Es capaz de identificar la posición del objeto? ¿A qué podrían deberse los errores en la estimación de la distancia? (Pista: piense en los elementos del sistema de medida, y en qué punto se ha realizado la calibración del sistema).

3.2) *Cálculo de la Transformada Inversa de Fourier*: calcule la transformada inversa de Fourier de RCS_n [5],[6]. Tenga en cuenta que está trabajando con una señal discreta, que ha sido muestreada en frecuencia con una frecuencia de muestreo Δf . El eje de abscisas será un eje de distancias, el cual vendrá determinado por la máxima distancia sin ambigüedad.

Compare los resultados de los apartados 3.1) y 3.2) ¿son iguales? A la vista de las gráficas, justifique un nivel de decisión (en dB) para la detección de blancos.

Parte 4: análisis de los resultados (tiempo estimado: 2 h)

Finalmente se analizarán las prestaciones del sistema. Para evitar tener que repetir las medidas, los parámetros utilizados se han seleccionado para ofrecer suficiente resolución, y poder detectar bien los blancos.

4.1) Discriminación de blancos: este parámetro está determinado por el ancho de banda del sistema. Pruebe a decrementar el ancho de banda disponible: para ello, tome menos muestras del fichero (por ejemplo, 1 GHz, 0.5 GHz, etc) y observe los resultados obtenidos. ¿Qué sucede al pulso centrado en torno al objeto?

Sugerencia: para simular varios blancos, puede sumar la RCS de ficheros correspondientes a medidas tomadas a diferentes distancias. Repita el experimento en este caso. ¿Cuál es el ancho de banda mínimo para poder discriminar los blancos?

4.2) Distancia sin ambigüedad: este parámetro está determinado por el muestreo en frecuencia, de forma que cuanto más fino sea el muestreo en frecuencia, mayor será la distancia sin ambigüedad.

Para simular el efecto de un menor muestreo en frecuencia, tome las muestras del fichero de p en p filas, donde el muestreo en frecuencia vendrá dado por: $\Delta f = p \times (f(2) - f(1))$. Analice el efecto que supone muestrear con pocas frecuencias. ¿Cuál es la tasa de muestreo mínima para poder diferenciar el blanco correctamente? ¿Es más evidente utilizar el procesado SAR o la Transformada de Fourier?

Sugerencia: código para los apartados 4.1 y 4.2

```
BW % Ancho de banda a utilizar, en GHz
p % Muestreo en frecuencia
df = (freqn(2) - freqn(1))*p;
ind=find(freqn/1e9<(freqn(1)/1e9+BW));
ind=ind(1:p:end); freqn=freqn(ind);
RCS=RCS(ind);
```

B. Resultados

Con el fin de verificar el correcto funcionamiento de la instrumentación a emplear en la práctica, se ha realizado el montaje descrito en el guión de la práctica, así como realizado diversas medidas. Los ficheros de datos se han postprocesado, obteniéndose las representaciones gráficas que se muestran a continuación.

En la Figura 5 se muestra la respuesta del sistema radar cuando entre la pared y las bocinas se coloca una barra metálica (ver Figura 4). Se observa que si se colocara un umbral de detección de -6 dB, ambos objetos serían fácilmente detectables.

El estudio de la resolución del sistema radar (apartado 4.1 del guión de la práctica) se muestra en la Figura 6. Se observa cómo cuando se emplea un ancho de banda menor de 500 MHz, el sistema radar no es capaz de distinguir entre blancos situados a menos de 30 cm.

Dentro de los objetivos de la práctica, se espera que los alumnos sean capaces de generar e interpretar gráficas como las mostradas en este apartado.

IV. INDICADORES DE LA ADQUISICIÓN DE COMPETENCIAS

Con el fin de comprobar si los alumnos han adquirido las competencias indicadas en el apartado de introducción, el profesorado de la asignatura ha previsto evaluar la práctica empleando los siguientes indicadores:

i) Mediante el seguimiento personalizado de los alumnos, de forma que se pueda evaluar el grado de participación de cada alumno en el trabajo en equipo (realización del montaje de medidas, división de tareas en las medidas e implementación de las rutinas), evaluando así la competencia de trabajo en equipo. Asimismo, este seguimiento permitirá evaluar las competencias de tecnología específicas: capacidad para la selección de circuitos, subsistemas y sistemas de radiofrecuencia, microondas.

ii) Entrega de una memoria de prácticas. Se limitará la extensión de la misma a 4 hojas a doble columna, en formato artículo. De esta forma, se obliga a los alumnos a seleccionar los contenidos de mayor interés, trabajando la competencia de expresión escrita. Asimismo, la realización de una memoria escrita permite la evaluación objetiva de las competencias de tecnología específicas y los resultados de aprendizaje especificados para esta práctica. El tiempo estimado para la realización de la memoria es de 2 horas, requiriendo 30 minutos la corrección por parte del profesor.

iii) Mediante una prueba escrita (examen final de la asignatura). En dicha prueba, parte de las cuestiones teóricas están relacionadas con los conceptos que de forma experimental se han visto en la práctica. Por tanto, es esperable que los alumnos que hayan sacado mayor aprovechamiento a la práctica resuelvan mejor estas cuestiones. Al igual que en ii), la prueba escrita permite la evaluación de las competencias de tecnología específicas y los resultados de aprendizaje. El tiempo para realizar la prueba escrita se estima en un máximo de 2 horas, requiriendo 15 minutos de corrección por examen.

iv) Realización de una encuesta a los alumnos de satisfacción específica relativa a la práctica realizada.

V. CONCLUSIONES

Se ha presentado una práctica para ilustrar de forma aplicada algunos de los parámetros que intervienen en un sistema radar. De esta forma, los alumnos podrán relacionar de forma visual conceptos como resolución espacial y ancho de banda, o muestreo y ambigüedad en distancia. Además, el procesado de las medidas realizadas requiere la revisión de los conceptos teóricos, lo que fuerza a los alumnos a repasar dicho temario. Asimismo, la práctica contempla apartados optativos para estimular a los alumnos a proponer de diferentes experimentos de medida radar.

REFERENCIAS

- [1] "Realizing the European Higher Education Area". Communiqué of the Conference of Ministers responsible for Higher Education in Berlin on 19 September 2003.

- [2] R. W. Cole, E. K. Miller, S. Chakbarti, S. Gogineni, "Learning about Fields and Waves Using Visual Electromagnetics," *IEEE Transactions on Education*, vol. 33, pp. 81-95, February 1990.
- [3] Ficha de la asignatura "Radar y Radiolocalización". Quinto Curso de la Titulación de Ingeniería de Telecomunicación. Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón. Universidad de Oviedo. Disponible en: <https://directo.uniovi.es/catalogo/FichaAsignatura.ASP?asignatura=1401>
- [4] Memoria Verifica del Grado en Ingeniería en Tecnologías y Servicios de Telecomunicación. Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón. Universidad de Oviedo. Disponible en: http://www.epigijon.uniovi.es/doc/memorias/Ingenieria_Telecomunicacion-memoria.pdf
- [5] Merrill I. Skolnik. *Introduction to Radar Systems*. 3rd edition (August 15, 2000). McGraw-Hill Higher Education; ISBN: 0072909803.
- [6] Eugene F. Knott, John F. Shaeffer and Michael T. Tuley. *Radar Cross Section*. 2nd edition (December 1993) Artech House; ISBN: 0890066183.
- [7] A. Cardama, L. Jofre, et al. *Antenas*. Ediciones UPC, Noviembre 2002.
- [8] C. A. Balanis. *Advanced Engineering Electromagnetics*. John Wiley & Sons, 1989.

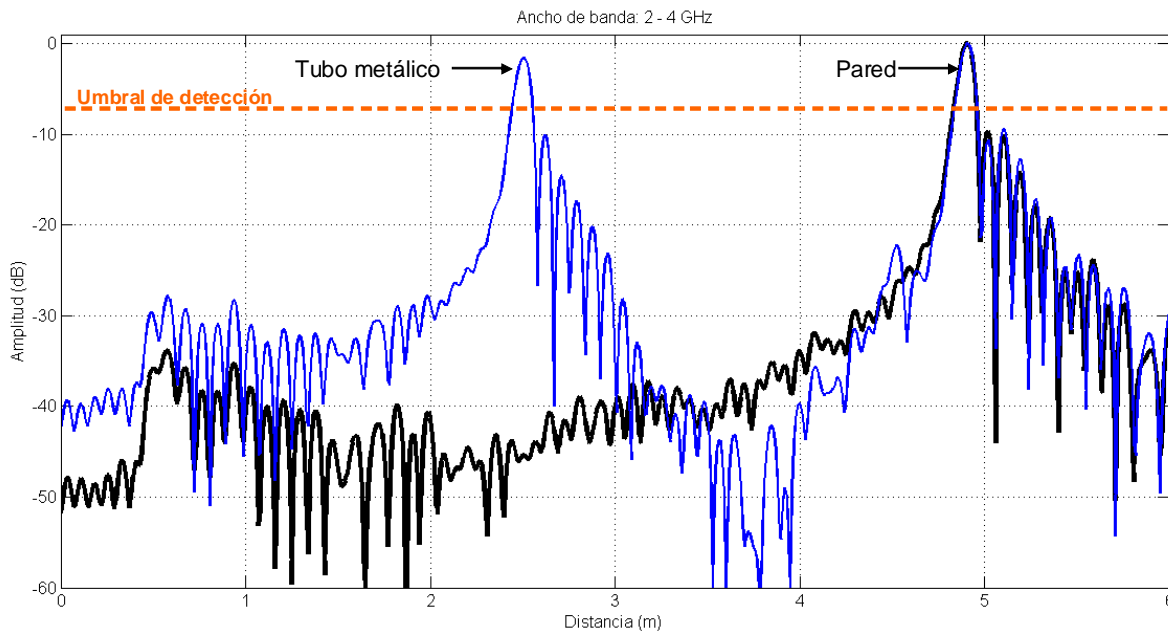


Figura 5. Respuesta de un tubo metálico y de una pared medida con el sistema radar.

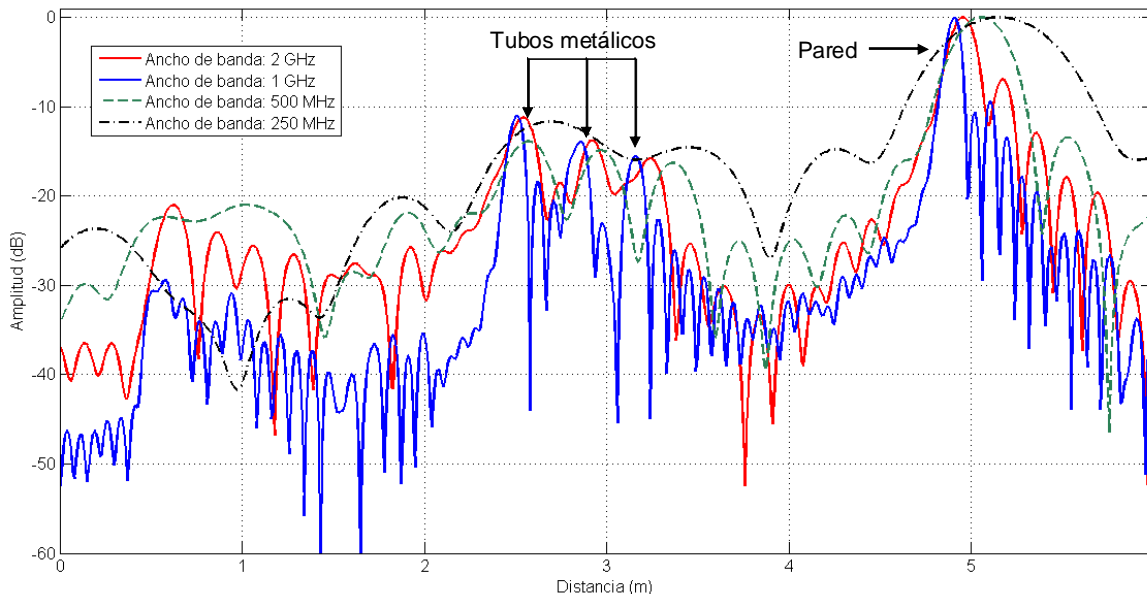


Figura 6. Análisis de la influencia del ancho de banda del sistema en la resolución del radar: capacidad para distinguir varios blancos.