

## Caracterización de un sistema de recepción de señales para tomógrafos Giroimag

J. C. García Naranjo

MSc. en Ingeniería Biomédica. Centro de Biofísica Médica. Universidad de Oriente.

e-mail: [carlos@cbm.uo.edu.cu](mailto:carlos@cbm.uo.edu.cu).

### RESUMEN

Se presenta la metodología para la caracterización de los receptores de señales de los equipos de Resonancia Magnética de Imágenes (RMI) Giroimag. Se analizan los elementos fundamentales a tener en cuenta para el diseño de dichos radiorreceptores, y sus diferencias con los utilizados en las telecomunicaciones. Se describen, las particularidades del utilizado en el tomógrafo Giroimag 03 que hacen de él una variante superior a sus predecesores, así como algunos de sus parámetros. El desempeño de este último ha sido corroborado en la práctica clínica de dicho equipo.

Palabras claves: Receptor de señales, Sistemas de recepción de señales, Radiorreceptores, RMI, Superheterodino.

Procedure for characterization of radio receiver system for Magnetic Resonance Imaging scanners Giroimag.

### ABSTRACT

Procedures for characterization of radio receiver systems for Magnetic Resonance Imaging (MRI) scanners Giroimag, is presented. Details for design of this kind of receivers and its differences with receivers used in telecommunication systems are reviewed. Some technical details and parameters of the receiver designed for Giroimag 03 scanner are included. The performance of this receiver has been corroborated with clinical practice.

Key words: MRI, radio receiver systems, radio receivers.

## Caracterización de un sistema de recepción de señales para tomógrafos Giroimag

### INTRODUCCIÓN

Los sistemas de recepción de señales para RMI, aunque guardan estrecha relación con los utilizados en los sistemas de radiocomunicaciones, poseen aspectos propios de la aplicación que son de vital importancia, al enfrentar una tarea de diseño. Como en los demás casos tienen como objetivo principal entregar una salida con máxima relación señal-ruido pero, debido a las particularidades del experimento, se toman en cada etapa algunas medidas que lo hacen diferente y que su incumplimiento degradaría la calidad diagnóstica de las imágenes obtenidas. Las mismas, se resumen en los siguientes aspectos:

- La antena debe ser sensible a las variaciones temporales del vector de magnetización de la muestra bajo estudio, resultando un inductor de gran tamaño, si se compara con los utilizados en las aplicaciones de RF, para esta gama de frecuencias, cuyas características mecánicas están determinadas por la parte del cuerpo que se desea estudiar [1]. Debe poseer una alta homogeneidad en la distribución del campo magnético de radiofrecuencia (RF) y una alta selectividad (Q).
- Debe colocarse una etapa preamplificadora lo más cercana posible a la antena, la cual debe poseer las protecciones necesarias en caso de que esta última sea utilizada para excitación y recepción[2]. La fuente de alimentación de corriente directa de esta etapa debe poseer excelentes características de filtrado.
- En la elección de la frecuencia intermedia (FI) se deben tener en cuenta fenómenos que no ocurren en la recepción clásica de señales, principalmente relacionados con la aparición de señales interferentes producto del propio funcionamiento del equipo.
- No debe usarse control automático de ganancia y la detección debe ser sincrónica en cuadratura.
- Los canales de baja frecuencia deben poseer función de transferencia idéntica y en cada caso un control por compensación del corrimiento de corriente directa (DC), ya que no deben usarse capacitores en el camino de baja frecuencia de la señal.
- Los sintetizadores y osciladores utilizados para las conversiones de frecuencia deben poseer excelentes características de estabilidad en frecuencia, tiempo de conmutación y conservación de fase.

El incumplimiento de alguna de estas particularidades, resultará en una disminución de la calidad diagnóstica de las imágenes obtenidas.

En los tomógrafos de RM, debido a su complejidad, resulta imprescindible la evaluación a priori del desempeño de cada una de sus partes, lo cual implica medir algunos parámetros que definen la calidad del proceso de recepción. Es por ello que el objetivo principal de este trabajo está dirigido al desarrollo de una metodología que permita la caracterización de estos sistemas, teniendo en cuenta sus particularidades. Para ello, se analizará el receptor diseñado para el tomógrafo de RM Giroimag 03.

Los parámetros principales que caracterizan a un receptor de señales (según el objetivo al cual van dirigidos) pueden agruparse en tres grandes grupos que se relacionan a continuación:

Especificaciones de nivel de la señal: Caracterizan la capacidad del receptor de recibir cualquier tipo de señal deseada: cifra de ruido, mínima señal discernible, nivel de desensibilización o bloqueo, punto de intersección de tercer orden y gama dinámica [3,4].

## Caracterización de un sistema de recepción de señales para tomógrafos Giroimag

Especificaciones de rechazo a señales indeseadas: Caracterizan la habilidad del receptor de rechazar todo tipo de señales que afectarían la calidad del proceso de recepción: rechazo a frecuencia imagen, rechazo a FI, el rechazo a espurios y rechazo a espurios generados internamente [3].

La evaluación de la selectividad no resulta sencilla ya que esta, es la combinación de varios circuitos sintonizados a diferentes frecuencias, en un sistema que incluye etapas de mezcla y demodulación. Algunos parámetros, como los rechazos a frecuencia imagen y a FI permiten evaluar el desempeño de la etapa de radio frecuencia. Además de éstos algunos sistemas poseen una salida de FI que permite caracterizar la combinación de ambas etapas [4].

Para los canales de baja frecuencia se puede determinar su respuesta, mediante un barrido en la frecuencia moduladora en una gama acorde con el ancho de banda que se espera presente la etapa.

Parámetros generales: Aquellos parámetros no incluidos en las dos especificaciones anteriormente señaladas y que también tienen gran influencia en la calidad de la señal que se recibe; como ganancia total del sistema, cuadratura entre canales, compatibilidad electromagnética y los relacionados con los sintetizadores (estabilidad en frecuencia, resolución, tiempo de conmutación y ruido de fase).

Por su parte, el sistema de recepción para el tomógrafo de RM Giroimag 03, ha sido concebido con una estructura superheterodina con detección sincrónica en cuadratura distribuida en cinco módulos constructivos. La transmisión de las señales hasta la etapa preamplificadora y hasta el exterior de la jaula de Faraday, se realiza sobre pares trenzados apantallados, los cuales, además de sus ventajas desde el punto de vista eléctrico, ofrecen facilidades mecánicas en ambos casos. La FI se ha situado por encima de la frecuencia de trabajo, utilizando cables coaxiales para las

Señales del sintetizador y del oscilador central del sistema. Los canales de baja frecuencia se han diseñado de tal forma que exista la mayor similitud entre ellos, en lo relativo a la ganancia, el ancho de banda y el control de corrimiento de DC gobernados desde la computadora del equipo.

Como conclusiones fundamentales, se ha logrado obtener la metodología deseada a la vez que se ha caracterizado el receptor propuesto. La validez de la metodología, así como la importancia de los parámetros medidos, ha sido verificada con el funcionamiento del receptor en el mencionado equipo, donde ha dado la posibilidad de reducir los tiempos de realización de los estudios debido a la mejoría en la relación señal ruido y en la cuadratura de los canales de baja frecuencia. Igualmente, se ha logrado que no existan artefactos de interferencia sobre las imágenes y que la manipulación del sistema se realice de forma más sencilla.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Para la caracterización del receptor Giroimag 03 y la elaboración de la metodología a utilizar se revisaron las recomendaciones técnicas que se ofrecen en la literatura especializada [3,4] para los sistemas de radiocomunicaciones, con las adaptaciones necesarias teniendo en cuenta las particularidades propias de la aplicación. Se incluyen además, algunas que aunque no aparecen en la mencionada literatura, sí resultan de vital importancia a la hora de caracterizar un receptor de señales para RMI y que son el resultado de la experiencia práctica acumulada sobre el tema. Para la realización de estas pruebas se utilizó el siguiente equipamiento:

Analizador de redes y espectros Wandel & Goltermann modelo SNA-2 (1)  
Sintetizador de señales Philips modelo PM5192 (1)  
Generador GW modelo GSG-120 (1)  
Osciloscopio Tektronix modelo TDS3052 (1)  
Atenuador variable TEUMIK modelo TRI-50-1 (1)  
Atenuador variable TEUMIK modelo TRI-50-20 (1)  
Combinador de potencia (1)  
Atenuador fijo (1)  
Filtro pasabajo (1)

## Caracterización de un sistema de recepción de señales para tomógrafos Giroimag

Las pruebas fueron realizadas en una Jaula de Faraday [5] para minimizar los efectos de las interferencias externas que pudieran falsear los resultados las mediciones. Los valores de frecuencia de los generadores de señales y del sintetizador del sistema de recepción, se han escogido de acuerdo a los que se utilizarán en la práctica con el equipo de RMI ( $f_0=3.695\text{MHz}$ ,  $FI=10\text{MHz}$ ).

Para la medición de cada parámetro se montaron las instalaciones y se siguieron los pasos que se detallan a continuación.

### Especificaciones de nivel de señal

Mínima señal discernible:

1- Colocar una señal a la entrada del sistema y un analizador de espectros a la salida como se muestra en la Figura 1. La frecuencia de la señal de entrada debe ser  $f=3.695\text{MHz}$  y el ancho de banda del canal de baja frecuencia  $10\text{kHz}$ . Colocar en el sintetizador del sistema de recepción la frecuencia  $13.698\text{MHz}$ .

2- Situar el sistema para máxima ganancia. Para ello colocar el voltaje de control de ganancia ( $V_{\text{cont}}$ ) en  $5.05\text{V}$ .

3- Disminuir el nivel de señal de entrada hasta que el nivel de señal más el ruido sea de  $3\text{dB}$  mayor que el nivel de ruido del sistema sin señal a la entrada.

4- Medir el nivel de la señal de entrada y reportar este como el resultado de la medición.

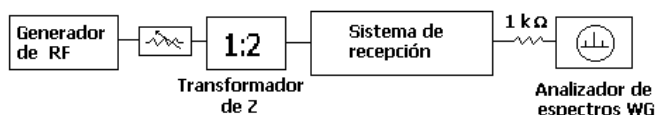


Figura 1. Instalación de medición #1.

Nivel de desensibilización:

1- Colocar dos señales  $f_1=3.697\text{MHz}$  y  $f_2=$  (Figura 3) a la entrada del sistema y un analizador de espectros a la salida (Figura 2). La frecuencia del sintetizador del sistema de recepción debe ser  $13.698\text{MHz}$ .

2- Situar el sistema para mínima ganancia ( $V_{\text{cont}}=2.01\text{V}$ ).

3- Aumentar el nivel de una de las dos señales ( $f_1$ ) hasta que el nivel de salida de la otra ( $f_2$ ) se reduzca en  $1\text{dB}$ .

4- Medir el nivel de la señal de entrada ( $f_1$ ) y reportar este como el resultado de la medición.

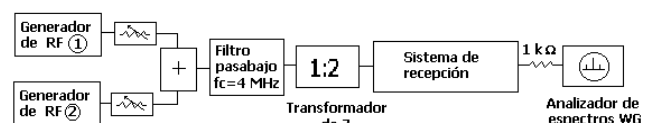


Figura 2. Instalación de medición #2.

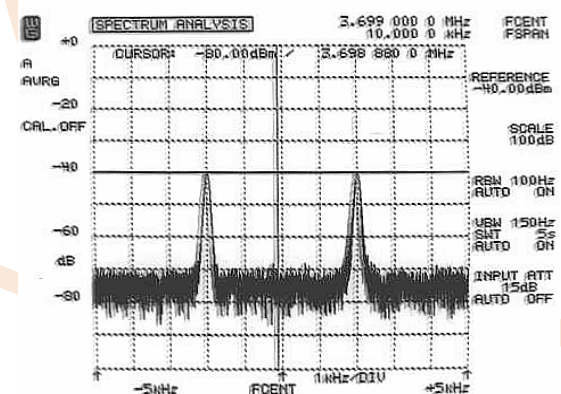


Figura 3. Señales de entrada.

Punto de intersección de tercer orden:

1-Colocar en el sintetizador del sistema de recepción la frecuencia  $13.698\text{MHz}$ .

2-Situar el sistema para mínima ganancia ( $V_{\text{cont}}=2.01\text{V}$ ).

3-Colocar dos señales a la entrada del sistema, con frecuencias  $f_1=3.697\text{MHz}$  y (Figura 3) e igual amplitud y un analizador de espectros a la salida (Figura 2).

## Caracterización de un sistema de recepción de señales para tomógrafos Giroimag

4- Aumentar el nivel de las señales y observar el nivel de salida del producto de distorsión de tercer orden  $2f_1 - f_2$ . Graficar la variación del nivel de la señal deseada y el nivel de los productos mencionados contra nivel de señal de entrada.

5- Extender las dos curvas hasta encontrar gráficamente el punto de intersección de ambas y reportar este como el resultado de la medición. El resultado se entregará referente a la entrada del sistema.

### Especificaciones de rechazo a señales indeseadas

Rechazo a frecuencia imagen: Para esta medición se colocó la antena del sistema, debido a la gran influencia que esta ejerce sobre el parámetro a medir, se montó la instalación que aparece en la Figura 4 y se realizaron los siguientes pasos:

- 1- Colocar en el sintetizador del sistema de recepción la frecuencia 13.698 MHz.
- 2- Colocar un elemento radiador cercano a la antena y en una posición fija.
- 3- Alimentar el elemento radiador con una señal de frecuencia  $f_1$  igual a 23.695 MHz.
- 4- Incrementar el nivel de señal hasta obtener a la salida del sistema una señal de salida de 5V de amplitud. Tomar el nivel de la señal de entrada ( $V_1$ ) para la cual se obtuvo dicho valor.
- 5- Repetir el paso anterior para una frecuencia  $f_2$  igual a 3.695 MHz y tomar el nivel de la señal de entrada ( $V_2$ ) para la cual se obtuvo el valor de señal de salida deseado.
- 6- Expresar  $V_1$  y  $V_2$  en dBm y obtener la diferencia  $V_1(\text{dBm}) - V_2(\text{dBm})$ . Reportar este valor como el de rechazo del sistema a frecuencia imagen.

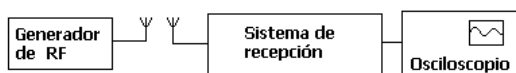


Figura 4. Instalación de medición #3.

### Rechazo de $F_1$ :

Para la medición de este parámetro se debe utilizar la misma instalación y repetir los pasos del experimento anterior, colocando una frecuencia  $f_1$  igual a 10.003 MHz.

### Especificaciones generales

Ganancia del sistema: Para la medición de este parámetro se utilizó la instalación que aparece en la Figura 5 y se siguieron los siguientes pasos:

- 1- Colocar el sistema para ganancia mínima ( $V_{\text{cont}} = 2.01 \text{ V}$ ).
- 2- Colocar a la entrada del sistema una señal con frecuencia 3.695 MHz y 200 V (61 dBm) y medir el nivel de señal a la salida.
- 3- Colocar el sistema para ganancia máxima ( $V_{\text{cont}} = 5.05 \text{ V}$ ).
- 4- Colocar a la entrada del sistema una señal con frecuencia 3.695 MHz y 3.15 V (97 dBm) de amplitud y medir el nivel de señal a la salida.
- 5- Calcular la ganancia del sistema en cada caso mediante la relación:

$$G(\text{dB}) = 20 \log(V_{\text{out}} / V_{\text{in}})$$

Cuadratura entre los canales de baja frecuencia:

- 1- Colocar a la entrada del sistema una señal de 3.695 MHz de acuerdo a la Figura 5 y variar la ganancia del sistema de recepción así como la frecuencia del sintetizador del mismo, hasta obtener una señal de salida de 2 kHz de frecuencia y un nivel de 5V pico a pico.

- 2- Colocar la salida de ambos canales a las entradas 1 y 2, respectivamente, del osciloscopio digital Tektronix y utilizando las facilidades del mismo salvar las señales de salida de ambos canales.

- 3- Utilizando Matlab calcular la relación  $S = R + jI$ , donde  $R$  e  $I$  son las señales digitalizadas.

- 4- Medir la relación (en %) entre los niveles de las líneas espectrales positiva y negativa del espectro.

Resolución del control de corrimiento de DC de la señal: Para la medición de este parámetro se montó la instalación que aparece en la Figura 6 y se realizaron los siguientes pasos:

## Caracterización de un sistema de recepción de señales para tomógrafos Giroimag

- 1- Colocar a la entrada del módulo RRF una carga de 100 Ohm y un osciloscopio a la salida (Figura 6), ajustar el sistema para nivel de DC de salida igual cero.
- 2- Seleccionar el control grueso del canal R, enviar un pulso de incremento y verificar la variación del nivel de salida del sistema. Reportar este valor como el resultado de la medición para el control grueso.
- 3- Repetir la medición anterior para el control de nivel de DC fino incrementando la cantidad de pulsos enviados a diez. El resultado obtenido deberá ser dividido por diez y reportar este valor como resultado de la medición.
- 4- Repetir los pasos anteriores para el canal I.

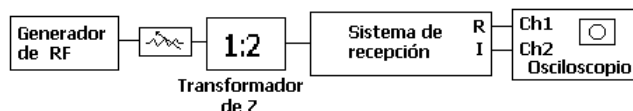


Figura 5. Instalación de medición #4.

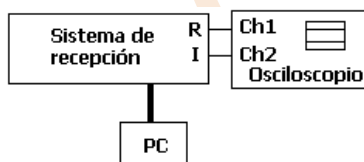


Figura 6. Instalación de medición #5.

Ancho de banda del canal de baja frecuencia: Esta medición debe realizarse para cada uno de los códigos digitales que pueden aparecer a la entrada del módulo de control de ancho de banda. La instalación de medición, para este caso, aparece en la Figura 1 y los pasos a realizar son los siguientes:

- 1- Colocar una señal de 3.695 MHz en la entrada del sistema, y 13.698 MHz en el sintetizador del sistema de recepción. Situar  $V_{cont}=2.57$  V, variar el nivel de salida del sintetizador hasta obtener en el analizador de espectros situado a la salida un nivel de señal de -20 dBm.
- 2- Colocar en el sintetizador del sistema la frecuencia 13.695 MHz.
- 3- Incrementar la frecuencia del generador situado a la entrada del sistema con incrementos menores de 0.5 kHz y observar la amplitud de la señal de salida.

- 4- Reportar como ancho de banda del sistema, el valor de frecuencia para el cual la amplitud de la señal de salida se reduce en 3 dB.

### RESULTADOS

Como resultado de las mediciones realizadas se obtuvieron los siguientes:

- La mínima señal discernible es de 90nV (-128 dBm) para un ancho de banda de 10 kHz.
- El nivel de desensibilización del sistema es de 169.62 V (-62,4 dBm).
- El sistema presenta su punto de intersección de tercer orden en los 315 V (-57 dBm) de señal de entrada. La Figura 7 muestra uno de los espectros de salida obtenidos durante la realización de la prueba, mientras que la Figura 8 recoge las curvas descritas por las amplitudes de la señal deseada y del IP3 durante la determinación de este parámetro.

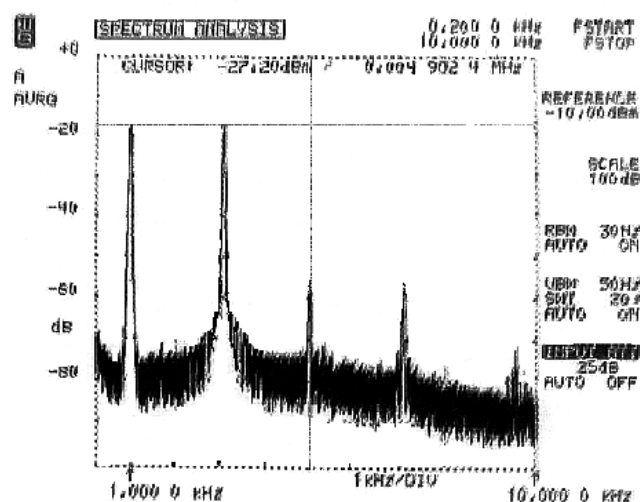


Figura 7. Filtro de banda estrecha compuesto.

## Caracterización de un sistema de recepción de señales para tomógrafos Giroimag

### DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El valor de la mínima señal discernible para un ancho de banda de 10 kHz garantiza una buena sensibilidad, teniendo en cuenta los niveles de señal que pueden obtenerse, lo que unido al nivel de desensibilización garantiza un rango dinámico de bloqueo de 65,6 dB, más que suficiente para la aplicación. El nivel del punto de intersección de tercer orden está fuertemente influenciado por la característica cuadrática del mezclador y el demodulador.

En el caso de las especificaciones de rechazo a señales indeseadas no fue posible obtener un valor que los describa, debido a los niveles de señal tan pequeños a la salida. Sin embargo, teniendo en cuenta la mayor diferencia de niveles que pudo lograrse entre ambas señales, puede afirmarse que supera los 60 dB. Estos parámetros son muy importantes en el rechazo a posibles señales interferentes que caerían dentro de la banda de señal provocando efectos indeseados sobre la imagen.

Los resultados obtenidos de la cuadratura entre los canales, dada la importancia que esto tiene para el experimento de RMI, pueden ser verificados, como se muestra en la Figura 9 a través de la Figura de Lissajous o utilizando la metodología propuesta con la ventana de transformada de Fourier que ofrece el software de control del equipo.

Por su parte, los pasos que se logran el control del desplazamiento de corriente directa son lo suficientemente pequeños como para simular un control continuo, teniendo en cuenta el nivel de ruido a la salida del sistema.

En el caso del sintetizador de frecuencias, cuyas características son de vital importancia para una buena calidad en la imagen, se empleó uno producido por la firma NOVATECH por lo que no fue necesaria su caracterización ya que sus parámetros más importantes aparecen en el manual técnico ofrecido por el fabricante.

Figura 8. Punto de intersección de tercer orden

- El rechazo a frecuencia imagen del sistema es mayor de 60dB.
- El rechazo a frecuencia intermedia del sistema es mayor de 60dB.
- El rechazo a frecuencia intermedia del sistema es mayor de 6dB.
- La ganancia del sistema puede ser variada en un rango de 36 dB, donde el máximo valor de ganancia es 116 dB y el mínimo es de 80 dB.
- El nivel de la menor de las líneas espectrales no excede del 10% de la amplitud de la mayor de ellas.
- El mínimo escalón de voltaje que permite el control de nivel de DC, en ambos canales, es de 308 mV para el control grueso y 7,2 mV para el fino.

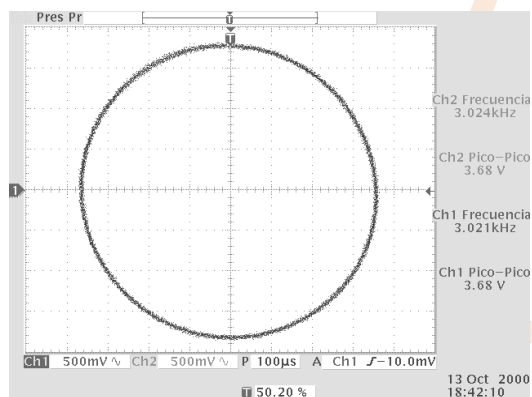


Figura 9 . Cuadratura de los canales de baja frecuencia. Figura de Lissajous

## Caracterización de un sistema de recepción de señales para tomógrafos Giroimag

### CONCLUSIONES

Se ha elaborado una metodología que permite la evaluación a priori del desempeño de los sistemas de recepción de señales Giroimag. La misma es el resultado del análisis de las pruebas propuestas para los receptores utilizados en los sistemas de telecomunicaciones, con las adaptaciones necesarias teniendo en cuenta las particularidades de los destinados para RMI, y de la experiencia acumulada en el diseño y la utilización de estos últimos. Esto resulta de gran importancia si se tiene en cuenta que el dominio de la misma, así como de los elementos fundamentales del diseño está restringido al dominio de las grandes firmas productoras de equipos.

Se han analizado los detalles que hacen al receptor del tomógrafo Giroimag 03 una versión superior de sus predecesores. Esto ha sido verificado con el trabajo de dicho sistema en el mencionado equipo, donde ha dado la posibilidad de reducir los tiempos de realización de los estudios debido a la mejoría en la relación señal ruido y en la cuadratura de los canales de baja frecuencia. Igualmente, se ha logrado que no existan artefactos de interferencia sobre las imágenes y que la manipulación del sistema se realice de forma más sencilla.

### REFERENCIAS

- 1 D.M. Petron, G.R. Duensing, J.R. Fitzsimmons. "MRI Basics and Coil Design Principles", RF Design, pp. 56-64, January 1997.
- 2 D.I. Hoult, "The NMR receiver: A Description and Analysis of Design", Progress in NMR Spectroscopy, Vol 12, pp. 41-77, 1978.
- 3 G.A. Breed, Receiver basics-part 1: "Performance Parameters", RF Design, pp. 48-50, February 1994.
- U.L. Rohde, J. Whitaker, T.T.N. Bucher, "Communications Receivers", McGraw-Hill, 1997.
- 4 A. Cruz, J.C. García, "Characterization of Shielded Enclosures for Magnetic Resonance Image Machine" International Conference TELECOM'2000, July 2000.