

Medidas de Ruido por Interferencia EM en el Hospital de Clínicas de Montevideo

Natacha Reyes, Marcelo David y Franco Simini
Núcleo de Ingeniería Biomédica – Universidad de la República – URUGUAY
mdavid@fing.edu.uy

Resumen—La reciente incorporación de múltiples antenas en la azotea del Hospital de Clínicas (HC) ha provocado cambios en la operación de equipos y de dispositivos experimentales. Fueron realizadas medidas de los niveles de ruido electromagnético (EM) en diversas ubicaciones del HC. Este trabajo incluye mediciones de campo eléctrico y magnético y mediciones del ruido electromagnético en un circuito amplificador de ECG, sin blindaje, en los últimos cinco pisos del hospital. Se encontró la existencia de interferencia electromagnética en el circuito amplificador de ECG en toda la banda de interés. Sin embargo, ninguna medida de campos eléctrico y magnético superó los valores límites de referencia.

Palabras clave—Interferencia, Ruido, Compatibilidad Electromagnética.

I. INTRODUCCIÓN

DESDE antes del año 1993, la compatibilidad y la interferencia electromagnética han sido ampliamente discutidas [1]. En los años 1993 y 1995, la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) publica normas al respecto. En estas normas se determina que los equipos médicos deben operar normalmente expuestos a un campo eléctrico de hasta 3 V/m y en caso de equipos de soporte de vida, a un campo eléctrico de hasta 10 V/m [2]-[3].

La reciente incorporación de múltiples antenas en la azotea del Hospital de Clínicas ha provocado cambios en la operación de algunos de los equipos de medidas electrofisiológicas usados en el hospital.

II. OBJETIVO DEL TRABAJO

Cuantificar los efectos de interferencia electromagnética en un circuito amplificador de ECG, en puntos de interés del Hospital de Clínicas. Poner en relación las medidas de campos eléctrico y magnético con la amplitud del ruido detectado en la salida del circuito amplificador de ECG.

Se describen a continuación los tipos de instrumentos de medida de campos eléctrico y magnético resumidos en una tabla comparativa. Luego se describen los ensayos realizados en los puntos de interés, esto es: medidas del campo electromagnético y medidas del ruido captado con el amplificador de ECG. Se relacionan al final, los valores de campos y ruido medido a la salida del amplificador.

III. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DISPONIBLES EN EL MERCADO

A. Medidor de banda ancha

El medidor de Banda Ancha capta toda la actividad electromagnética en su espectro de trabajo, sin especificar potencias por frecuencias.

Las especificaciones brindadas por los fabricantes NARDA Safety Test Solutions [4] y Holaday son las siguientes:

- Ancho de banda de hasta 2.4GHz
- Peso de 500g
- Almacenamiento de 1000 puntos en memoria
- Capacidad de promediado
- Capacidad de selección de bandas
- Sondas de medida de campo intercambiables

Como ventajas presentan un manejo sencillo, rapidez de uso y escasa complejidad. Tienen consumo eléctrico reducido además de ser portátiles. Estos medidores tienen como inconvenientes no seleccionar la frecuencia.

B. Medidor Sintonizado

El Medidor sintonizado tiene capacidad de sintonía y es utilizado para aplicaciones concretas: TV (terrena y satélite), radio comercial y telefonía móvil. Al poder sintonizar la frecuencia de medida, este medidor tiene un mejor desempeño que el medidor de banda ancha, sin llegar a los detalles que da el Analizador de espectro [5].

Entre sus principales características se destaca la capacidad de sintonía ya sea por canales (aplicaciones específicas) o por frecuencia. Cuenta con parámetros propios del sistema a medir.

Presenta la ventaja respecto a los de banda ancha de poseer mayor versatilidad. Con respecto al analizador de espectros son orientados a aplicación, simplifican el proceso de medida y tienen menor peso.

El inconveniente respecto al analizador de espectro es que limita la observación de algunas características y posee menor versatilidad. Respecto al medidor de banda ancha, el medidor sintonizado tiene mayor peso y volumen y consume más energía.

C. Analizador de espectro

El Analizador de espectro permite caracterizar una señal en el dominio de la frecuencia. Existen diversos tipos: en tiempo real, filtro sintonizado, superheterodino y dinámico. Sus principales parámetros de configuración son el ancho de banda de medida, resolución en frecuencia (RBW), con un filtro de IF. [5]

Como especificaciones los fabricantes presentan la sensibilidad que es la mínima señal detectable y el margen dinámico siendo éste el margen de amplitudes con respuesta lineal. El instrumento tiene como accesorios una antena, cable, conectores y adaptadores.

Presentan las ventajas de tener capacidad de ajuste, ser de propósito general, versátil y portátil. Los más avanzados tienen capacidad de análisis de señal y son programables.

Como inconvenientes se destacan el tamaño, peso y la capacitación necesaria para su manejo. En la Tabla I se muestra una comparación de las principales características de los medidores de campo electromagnético.

TABLA I

COMPARATIVA DE CARACTERÍSTICAS DE MEDIDORES DE CAMPO ELECTROMAGNÉTICO

	Medidor de Banda Ancha	Medidor Sintonizado	Analizador de Espectro
Capacidad de sintonía	no	si	si
Costo	U\$S1000	U\$S5000	U\$S10000
Movilidad	si	limitada	limitada
Manejo	medio	medio	complicado
Filtros para sintonía	no	si	si
Peso	0.5Kg	2.0Kg	5.0Kg

IV. PROCEDIMIENTOS Y MEDIDAS

Se realizaron dos tipos de medidas para cuantificar los efectos de Interferencia Electromagnética: medición de campos eléctricos y magnéticos, y mediciones de ruido debido a interferencia electromagnética en un circuito amplificador de ECG sin blindaje. El instrumento utilizado para las mediciones de campos eléctricos y magnéticos fue el medidor de banda ancha Holaday.

El Hospital de Clínicas es un edificio que cuenta con veintidós (22) pisos en total y las antenas están ubicadas en la terraza en un área total de aproximadamente 400 m².

A. Medición de campos eléctricos y magnéticos

Se escogió para realizar estas mediciones el horario de jornada laboral: de 09.00 a 18.00 horas, en el cual las redes de telecomunicaciones maximizan el uso de sus recursos.

Para cada punto de interés se tomó el criterio de registrar el máximo capturado por el instrumento cada quince segundos aproximadamente en un radio de tres metros, obteniéndose cinco muestras por piso. Se tomó como eje Z, el centro del pasillo de los ascensores donde se encuentra la mayor concentración de antenas.

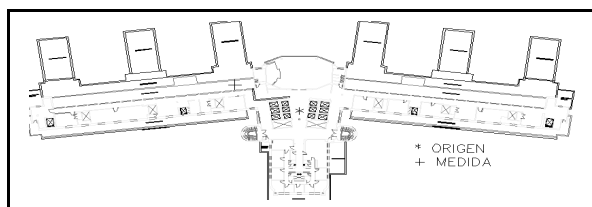


Fig. 1. Corte horizontal de piso donde se realizaron las medidas

La Fig. 1 muestra el corte horizontal de piso del hospital, y los puntos de medición respecto al eje Z.

B. Medidas de intensidades de campos eléctricos y magnéticos

En la Tabla II se encuentran los valores de potencia de campo eléctrico y magnético medidos en los distintos puntos. Los promedios de la potencia en cada piso se encuentran en la Tabla III.

Los valores de campo eléctrico en los pisos 19 y 20 no pudieron ser medidos dada la sensibilidad del instrumento utilizado. El campo magnético del piso 19 es aproximadamente diez veces mayor que el resto, posiblemente por la cantidad de tubos de descarga encendidos en la cercanía del punto en cuestión, condición que no sucedió en los otros pisos.

C. Medición de ruido por IEM en circuito amplificador de ECG

El circuito para medir el ruido electromagnético es el que se presenta en la Fig. 2 [6]. Es de notar que el circuito está diseñado para tener una ganancia de 1000V/V, con banda pasante entre 0.5 Hz hasta 150 Hz aproximadamente,

alimentándose con baterías de 9 V, permitiendo una excursión de salida máxima de aproximadamente 17. Esto garantiza la linealidad para las señales de un ECG en pecho.

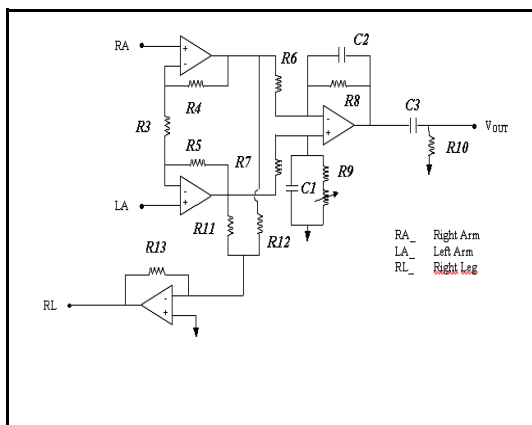


Fig. 2. Circuito Amplificador de ECG

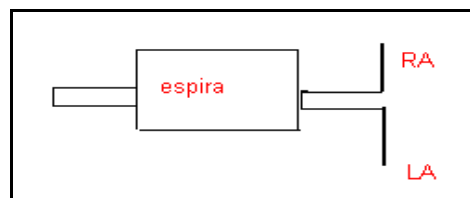


Fig. 3. Circuito de entrada al ECG con una espira de 49 cm² de área.

En todos los puntos de interés donde se midió la potencia de los campos eléctricos y magnéticos se realizaron los siguientes ensayos:

- Colocar una espira cuadrada de 49 cm² de área entre las entradas RA y LA del ECG. Las conexiones a RA y LA deben hacerse con un par trenzado para no generar un bucle inductivo mayor al que genera la espira [6]. Ver Fig. 3.
- Cortocircuitar las entradas RA y LA sin bucle inductivo.
- Conectar el osciloscopio sin tierra a la red eléctrica y realizar el mismo ensayo (a). Esto es, realizar el mismo ensayo que (a) sin referencia a la tierra de la instalación eléctrica.

D. Medidas de ruido por IEM en circuito amplificador de ECG

Para el procedimiento (a) (*espira*), se conectó la salida Vout a un osciloscopio digital para observar la respuesta en frecuencia del circuito en los puntos de medición seleccionados. En todos los puntos de interés se pudo apreciar, en todo el rango de frecuencias medibles por el instrumento, un ruido de 15 dB aproximadamente, correspondientes a 5.6 V, siendo levemente mayor en el rango menor a 50 Hz, frecuencia de la red eléctrica, con picos mas pronunciados en los armónicos de 50Hz (100, 150) (ver Fig. 4).

Durante el procedimiento (b) (*entrada cortocircuitada*), al medir la salida Vout en el osciloscopio se pudo apreciar componentes de ruido en 50Hz y sus armónicos. (ver Fig. 5)

En el procedimiento (c) (*osciloscopio y circuito sin tierra*), se observaron solamente picos en los armónicos de 50 Hz, con 10V a 50 Hz y 7 V en el resto, y un espectro de 20 Hz de ancho de banda centrado en los 50 Hz (ver Fig. 6).

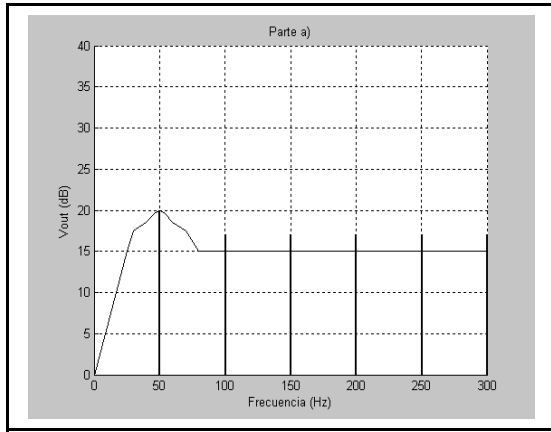


Fig. 4. Transformada de Fourier de la salida del amplificador ECG en el ensayo (a)

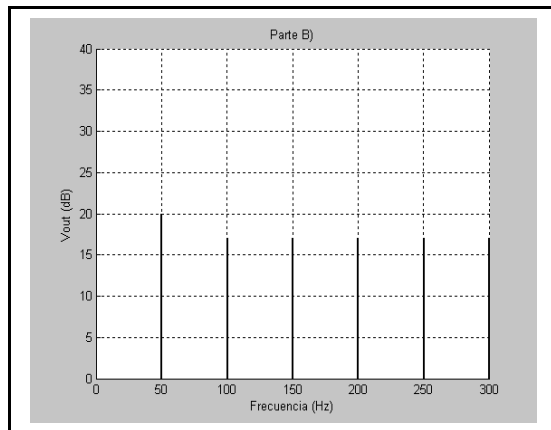


Fig. 5. Transformada de Fourier de la salida del amplificador ECG en el ensayo (b)

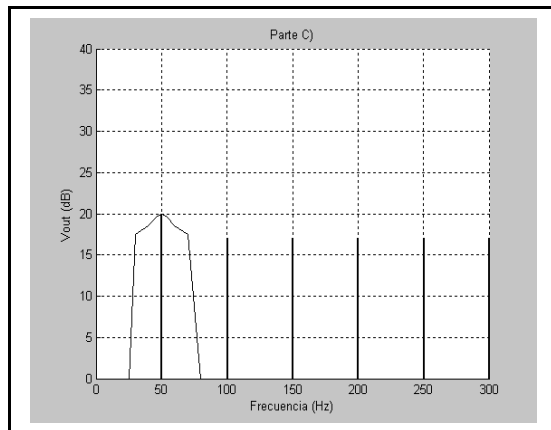


Fig. 6. Transformada de Fourier de la salida del amplificador ECG en el ensayo (c)

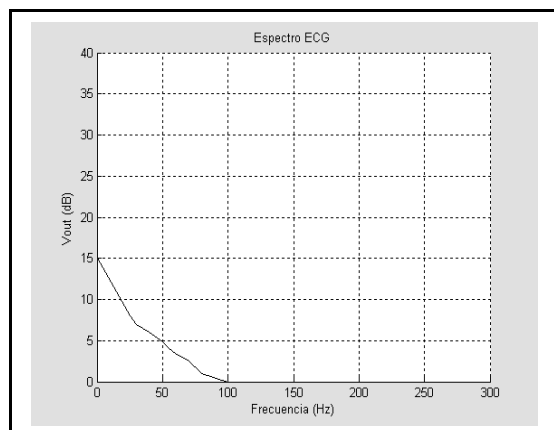


Fig. 7. Transformada de Fourier de la señal de ECG amplificada.

En la Fig. 7 se observa la transformada de Fourier de la señal de ECG amplificada correspondiente al circuito de la Fig. 2. El mismo presenta una distribución en la banda de los 100 Hz. como era de esperar con un valor máximo de 5.6 V aproximadamente.

Las gráficas son aproximaciones de la salida del osciloscopio. El osciloscopio utilizado es marca Textronic con un rango de 0-400 MHz de frecuencias medibles. Las gráficas muestran en el eje X hasta los 300Hz dado que de ahí en adelante la salida es la misma en todos los ensayos.

Aplicando $20 \cdot \log(x) = y [dB]$ pueden calcularse los valores en voltios a la salida, ya que el osciloscopio utilizado devuelve 0 dB para valor de entrada de 1 V.

TABLA II

POTENCIAS MEDIDAS EN LOS PUNTOS DE INTERÉS

PI	CAMPO	POTENCIA [mW/cm ²]				
		1	2	3	4	5
20	Magnético	0.47	0.42	0.99	0.13	0.14
19	Magnético	5.30	4.50	3.10	2.10	1.80
18	Eléctrico	0.10	0.30	0.11	0.16	0.12
18	Magnético	0.27	0.36	0.19	0.30	0.16
17	Eléctrico	0.01	0.02	0.01	0.09	0.17
17	Magnético	0.80	0.52	0.38	0.14	0.43
15	Eléctrico	0.09	0.10	0.07	0.06	0.10
15	Magnético	1.60	1.90	1.80	0.30	0.10

TABLA III

PROMEDIO DE POTENCIAS MEDIDAS EN LOS PUNTOS DE INTERÉS

Campo Magnético [mW/cm ²]	Campo Eléctrico [mW/cm ²]
200.430	---
193.360	---
180.256	0.100
170.454	0.060
151.140	0.080

V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se deduce de los resultados del ensayo con el ECG que al conectar la espira en la entrada del circuito (la cual actúa como antena), esta introduce ruido en toda la banda de frecuencias que es amplificada por el circuito descrito. Considerando los resultados del ensayo (a), son 5.6 mV en toda la banda, 10 mV a 50 Hz y 7 mV en los armónicos de 50Hz (valores a la entrada del circuito amplificador). Al dejar el osciloscopio sin conexión a tierra de red, ensayo (c), los resultados son similares a los del ensayo (a), pero sin la línea de base de 5.6 mV a partir de los 80 Hz aproximadamente. Los voltajes son en la entrada del amplificador.

Si se cambia la espira por un cortocircuito en la entrada del amplificador de ECG, solo se ven las componentes de 50 Hz de la red eléctrica y sus armónicos, siendo la entrada equivalente de 10 mV a 50Hz y 7 mV en el resto de los armónicos.

Teniendo en cuenta la Tabla III, promedios de potencia en los puntos de interés, se puede ver que en todos los pisos los campos eléctricos y magnéticos son del mismo orden. Los voltajes registrados por el osciloscopio a la salida del ECG son iguales en todos los puntos, variando el resultado según el tipo de ensayo y no por el piso del edificio donde se realice la medición. Por esto, es de suponer que los resultados del ECG se ven afectados de igual manera por la incidencia de las antenas del techo del edificio en los puntos donde se realizaron los ensayos. Estarían todos los puntos de medida comprendidos en el cono combinado de múltiples antenas.

Se define [5]-[6] *impedancia espacial* a la relación que existe entre los valores de campos eléctrico y magnético a una distancia suficientemente grande del punto de emisión (esta condición se cumple en el presente trabajo) y se prueba que dicho valor es constante de 377 ohm. Esto permite realizar el cálculo de valores de campo eléctrico en relación a la potencia de campo medida por el instrumento,

aplicando la fórmula $\left[\frac{V}{m}\right]^2 = 377 \cdot \left[\frac{W}{m^2}\right]$ [7]-[8]. El valor

máximo permitido por las normas IEC [1], según se comentó en la sección Introducción, es

$10 \frac{V}{m} = 0,027 \frac{W}{m^2}$, que es menor que el mínimo valor de

campo eléctrico medido por el instrumento en los pisos 15 a 18; en los pisos 19 y 20 no se pudo saber.

Es decir que comparando los resultados con los valores de referencia dados por la IEC en [2]-[3] y comparándolo con las Tablas II y III donde se registran las mediciones de campo eléctrico y magnético, se puede ver que se han superado los valores máximos estipulados para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos médicos.

AGRADECIMIENTOS

Al Director del Departamento de Comunicaciones Eléctricas del Instituto de Ingeniería Eléctrica "Prof. Ing. Agustín Cisa", Prof. Ing. Víctor González Barbone por el préstamo del instrumento de medida y al Ing. Gerardo Cristalli del Departamento de Mantenimiento del Hospital de Clínicas por informaciones estructurales y acercamiento de los planos.

REFERENCIAS

- [1] E. Hanada, Y. Antoku, S. Tani, M. Kimura, A. Hasegawa, S. Urano, K. Ohe, M. Yamaki y Y. Nose, "Electromagnetic interference to medical equipment by low power mobile telecommunication systems", en *IEEE Transactions on Electromagnetic Compability*, vol. 42, no. 4, pp. 470-476, 2000.
- [2] "International Standard IEC 601-1-2", Int. Electrotech. Commission, 1993.
- [3] "International Standard IEC 1000-4-3", Int. Electrotech. Commission, 1995.
- [4] Narda Safety Test Solutions, en <http://www.narda-sts.de/1/content.php?pit=02-00-XX-000000>, acceso 22 de junio de 2009
- [5] Manual de seguridad para operaciones con riesgo de exposición a radiofrecuencias. Universidad Politécnica de Valencia, en <http://www.sprl.upv.es/msradiofrecuencias2.htm>, acceso 22 de junio de 2009
- [6] F. Simini, "Ingeniería Biomédica. Perspectivas desde Uruguay", Departamento de Publicaciones de la Universidad de la República, pp.379-382, 2007.
- [7] J.G. Webster, "Medical Instrumentation. Application and design" Third Ed, Jhon Wiley & Sons, INC., 1998
- [8] J.M. Rovira, "Exposición a radiofrecuencias y microondas (I). Evaluación" en <http://www.siafa.com.ar/notas/nota14/exposicion-radiofrec.htm>, acceso 22 de junio de 2009