

DETECCIÓN DE RADIACIÓN NO IONIZANTE

NON-IONIZING RADIATION DETECTION

GUSTAVO NAVAS

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander

JAIRO TARAZONA

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander

RODRIGO CORREA

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, Universidad Industrial de Santander
crcorrea@uis.edu.co

Recibido para revisar septiembre 8 de 2008, aceptado diciembre 15 de 2008, versión final enero 15 de 2009

RESUMEN: Se diseñó y construyó una red de sensores para detección de radiación no ionizante en la banda comprendida entre 800MHz y 2.5GHz. El sistema se basa en el sensor que muestra a la salida una tensión DC proporcional a la potencia de la señal RF a su entrada, sin importar el tipo de modulación. Esta red comprende cuatro antenas banda ancha, cuatro tarjetas sensoras, una tarjeta central y un software de visualización de datos. El comportamiento del sistema se analizó con diferentes configuraciones y con múltiples fuentes de radiación. Igualmente, se muestran los resultados de la simulación de una antena espiral de Arquímedes utilizando CST STUDIO™ y los experimentos realizados para caracterizar la antena banda ancha HG2404CU. Los resultados mostraron un eficiente sistema de detección de radiación electromagnética en la banda estudiada. Una aplicación inmediata de este trabajo, para la cual se están haciendo pruebas de campo, es la detección de llamadas de celulares en lugares no permitidos como centros carcelarios, bancos, entre otros.

PALABRAS CLAVE: radiación electromagnética no ionizante, celular, antena, densidad de potencia.

ABSTRACT: A sensors network for non-ionizing radiation detection in the band of 800 MHz to 2.5 GHz was designed and constructed. The system is based on a sensor which shows an output DC voltage proportional to the input RF signal. This network is made of four broad band antennas, four circuit board sensors, a main board and data visualization software. The performance system was analyzed changing its configuration and using several radiation sources. The results presented include the simulation of an Archimedes antenna using CST STUDIO™ and the experimental results of a broad band HG2404CU antenna. The results have shown an efficient system for the electromagnetic radiation detection. As a second part of this work, this prototype will be used as a detector of cellular phone calls in places where they are not allowed such as prisons, banks and so on.

KEYWORDS: Non-ionizing electromagnetic radiation, cellular, antenna, power density.

1. INTRODUCCIÓN

La radiación electromagnética no ionizante es producida por todos los dispositivos electrónicos que usamos y se encuentra ubicada en un amplio rango de frecuencias y por ende existe en casi todos los ambientes en los que el hombre se desenvuelve habitualmente; esta se define de manera formal, como aquella que no puede

separar electrones de los átomos o alterar las estructuras moleculares [1,2]. Sin embargo, la radiación electromagnética de baja frecuencia es una forma de energía capaz de hacer que las moléculas vibren; desafortunadamente no se cuenta con estudios a largo plazo y concluyentes, acerca de cómo esta clase de exposición constante y progresiva del ser humano a este

tipo de radiación, puede afectar el organismo y que tanto influyen todas las nuevas tecnologías, en especial en el área de las comunicaciones, dentro de las enfermedades que arremeten contra el ser humano hoy en día [3]. Hasta este momento, solo se le atribuye irrefutablemente a este tipo de radiación la transmisión de energía calorífica; como ejemplo, se pueden ver en algunas páginas de Internet, como por ejemplo en YouTube, en donde se coloca un vaso con agua o incluso granos de maíz rodeado de cuatro celulares que al recibir una llamada calientan el agua o revientan el grano de maíz. Dejando de lado los supuestos efectos nocivos a la salud humana, otro problema que se puede encontrar es la interferencia que esta radiación puede producir sobre diferentes sistemas y como la contaminación electromagnética obstruye el correcto funcionamiento de estos equipos. Además, por cuestiones de seguridad el uso de equipos que emitan radiación se encuentra restringido en ciertos ambientes, tales como estaciones de gasolina, entidades bancarias, cárceles y otros entornos, pero es bastante difícil controlarlos y se hace necesario el uso de dispositivos especializados capaces de detectar, bloquear o ubicar las fuentes de dicha radiación para poderlas controlar o eliminar. Existen varios investigadores a nivel mundial [4-9] y particularmente en Sur América, como es el caso de Argentina [5], dedicados al estudio y medición de radiación no ionizante. De igual forma se encuentra en el mercado sistemas diseñados para este propósito como por ejemplo, **CPqD^{MR}**, **Narda^{MR}** y **Wave Control^{MR}**.

2. FUNDAMENTOS

Una corriente eléctrica alterna (AC) se define como el movimiento de electrones en una misma dirección, usualmente a través de un alambre. Esta corriente produce dos tipos de campos: un campo eléctrico AC y un campo magnético AC, ambos forman el denominado campo electromagnético. Los campos eléctricos de la corriente alterna resultan de la intensidad de la corriente y los campos magnéticos resultan del movimiento de las cargas. El campo eléctrico representa la fuerza que las cargas eléctricas ejercen sobre otras cargas, y esta fuerza puede

repeler o atraer. El campo magnético se forma alrededor de la corriente y se irradia en ángulo recto respecto a la dirección de la corriente. Los campos electromagnéticos de diferentes fuentes pueden adicionarse o cancelarse mutuamente. Esto es debido a las características de las ondas de la radiación electromagnética. Si la radiación de dos fuentes está en fase, entonces los picos de cada ciclo ocurren al mismo tiempo, y los campos se adicionan. Por otro lado, si dos fuentes están exactamente fuera de fase, entonces una alcanza su máxima intensidad en una dirección, precisamente al mismo tiempo que la otra fuente lo está alcanzando en la dirección opuesta y se cancelan. Es debido a estas adiciones, atenuaciones, cancelaciones, efectos térmicos e interferencias que en muchos casos este tipo de emisión electromagnética no es deseada y se le considera como un tipo de contaminación.

3. DESARROLLO DEL SISTEMA

3.1 Descripción General del Sistema

En primer lugar el sistema se diseñó pensando en un alto grado de portabilidad empleando tecnología SMT (Surface Mount Technology), brindando indicaciones luminosas al operario para advertir de posibles fallas, maximizando el número de datos que se pueden capturar por segundo, evitando la pérdida o corrupción de dichos datos implementando estándares como el RS-485 y protocolos de comunicación como el Profibus. Finalmente, se presenta al usuario toda la información recopilada de manera clara y explícita pero al mismo tiempo, evitando que el usuario se sature de información innecesaria; esto se hizo implementando una interfaz gráfica elaborada en **LabViewTM**. Para lograr los objetivos planteados, se usó una antena de banda ancha para capturar la señal de interés; en seguida se usó un sensor de radiofrecuencia que captura una señal electromagnética y la transforma en una tensión de corriente directa. Luego, esta tensión es digitalizada mediante un microcontrolador que tiene conectado a su salida un integrado emisor-receptor. Este último permite entablar una comunicación, de aproximadamente 1.2 km, con otro integrado

emisor-receptor y así transmitir el dato hasta una tarjeta central que hace las veces de concentrador, recibiendo toda la información proveniente de la red. Después de esta recepción en la tarjeta central, los datos son convertidos a un estándar entendible por el puerto serial del computador (RS-232) con que se está trabajando, para que finalmente este computador procese toda la información recopilada con el software diseñado en LabView™ [10,11]. Para verificar el correcto funcionamiento de la red de sensores, se realizaron múltiples pruebas de laboratorio y otros ambientes. En estas se emplearon diferentes dispositivos tales como generador de RF con barrido en frecuencia y potencia, teléfonos móviles operando a diferentes frecuencias, analizadores de espectro, software de simulación de campos electromagnéticos (CST Studio™) y un sistema que permite la medición del patrón de radiación de diferentes antenas, entre otros. Además, se realizaron diversos montajes en donde se usaron antenas banda ancha, banda dual y banda fija. Con todas estas pruebas se logró concluir que la red de sensores es capaz de detectar señales que varían entre los 800MHz y 2.5GHz, y -21 dBm a los 8 dBm o 9.9 dBm, dependiendo de la frecuencia. La red de sensores comprende diferentes etapas tal como se muestra en la Figura 1.

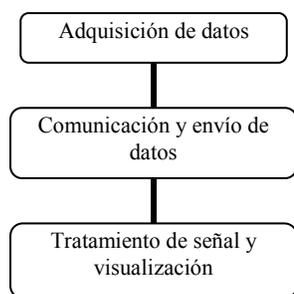


Figura 1. Diagrama de la red de sensores
Figure 1. Sensors network diagram

Para realizar la detección de campos electromagnéticos se usaron diversos dispositivos, tanto activos como pasivos y todos estos se dividieron en dos partes: tarjetas sensoras y tarjeta central. Las primeras realizan la captura de datos de acuerdo con las peticiones hechas por la tarjeta central y envían tales datos a la segunda. Esta tarjeta central hace las veces de concentrador de toda la red y envía los datos a la estación de trabajo para que esta última los

procese, los muestre al usuario y finalmente los almacene. La Figura 2 muestra un diagrama general de este proceso. En primer lugar, se desarrolló el hardware que permite la detección de radiación electromagnética dentro de la banda de interés. Luego, se diseñó el sistema de comunicación que transmite los datos desde la red de sensores hasta la estación de trabajo.

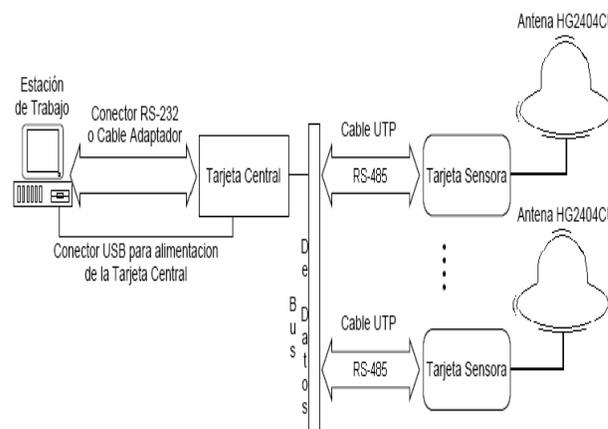


Figura 2. Esquema general de las etapas dentro de la red de sensores

Figure 2. General operational sequence within sensor network

Esto facilita concentrar toda la información en un solo punto, ser visualizada y analizada y por último el usuario tiene la opción de guardar los datos adquiridos para posteriores estudios. La combinación de todo lo anterior resulta en una red de sensores muy versátil y de fácil manejo, que le permite al usuario detectar fuentes de radiación en un amplio rango de frecuencias (entre 800MHz y 2.5GHz). En este rango de frecuencias trabaja abundante equipo de comunicaciones inalámbricas usadas comúnmente tal como celulares de diferentes compañías telefónicas, equipos con conexión Wi-Fi y conexiones Bluetooth, por ejemplo.

3.2 Antena Banda Ancha

Para la adquisición de la señal electromagnética y dado el ancho banda que se desea analizar, existen dos posibles antenas banda ancha, capaces de capturar la variable de interés dentro de la frecuencia deseada. Decidimos analizar el comportamiento y características de estas dos alternativas con el propósito de al final seleccionar una de ellas para implementarla en el

sistema propuesto. La primera es la antena espiral de Arquímedes diseñada y construida por los autores y la segunda, la antena HG2404CU, adquirida del comercio. Desde el punto de vista de costo global del sistema, resultaba más atractivo disponer de una antena económica y de relativamente fácil construcción, pero debía ser una alternativa técnicamente viable. Se decidió antes de construir la primera antena, simularla, como se explica seguidamente.

3.3 Simulación de la Antena Espiral de Arquímedes en CST StudioTM

Estas pruebas se realizaron para simular el patrón de radiación de campo lejano que presenta la antena espiral de Arquímedes a las diferentes frecuencias de trabajo. Esta simulación tuvo solo un fin académico y con ello aportar una primera luz acerca de la posible operación de la antena diseñada. Al no conocer nada al respecto de esta antena, esta simulación brindó una gran ayuda mostrando una aproximación al comportamiento real de la antena cuando se somete a condiciones cercanas de operación. La Figura 3 muestra el patrón de radiación de la espiral a una frecuencia de trabajo de 800MHz y la figura 4 a 900MHz.

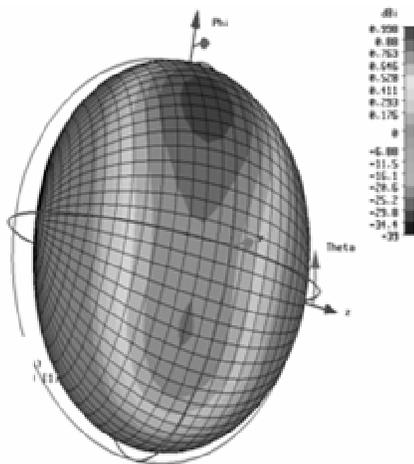


Figura 3. Patrón de radiación de campo lejano a 800MHz

Figure 3. Far field radiation pattern at 800 MHz

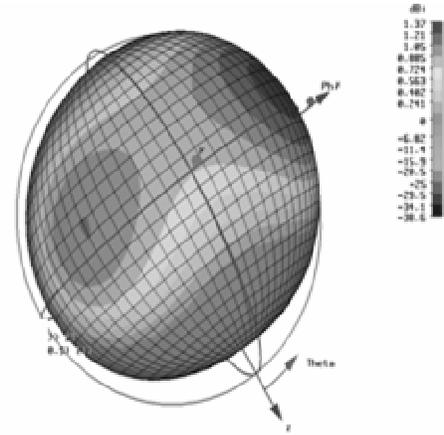


Figura 4. Patrón de radiación de campo lejano a 900MHz

Figure 4. Far field radiation pattern at 900 MHz

Dentro de estas dos frecuencias operan dos compañías celulares en Colombia y por ende su estudio es importante para este trabajo. Nótese como en las figuras los lóbulos más oscuros (rojos) se encuentran ubicados en la parte frontal de la espiral de Arquímedes indicando la direccionalidad de esta antena a esta frecuencia. Esta frecuencia de trabajo se simuló para poder apreciar el comportamiento de esta antena en la posible detección de telefonía móvil satelital, que trabaja en esta frecuencia. Así mismo, por ser una frecuencia armónica de la banda de 800MHz y encontrarse casi en la mitad de la banda de trabajo del sistema. Es interesante notar como el software de simulación muestra una mejora considerable en la direccionalidad y confirma la suposición inicial de que esta antena en particular se comporta mejor a altas frecuencias. Otra frecuencia importante es la de 1.9GHz puesto que en ella opera otra compañía de telefonía móvil celular. La gráfica obtenida de la simulación para esta frecuencia se presenta en la Figura 5. Como resultado de esta simulación y construcción de la respectiva antena, se concluyó que dada sus características resultaría imposible caracterizarla completamente con el equipo disponible en el laboratorio. Dado este inconveniente, optamos por utilizar la antena comercial, cuyas propiedades se conocen directamente del fabricante, obviándose la necesidad de simularla.

3.4 Patrón de Radiación Real de la Antena HG2404CU

Se procedió a adquirir la antena HG2404CU de la empresa HyperLink Technologies [12]. Esta antena presenta un patrón de radiación tal como lo muestra la figura 6.

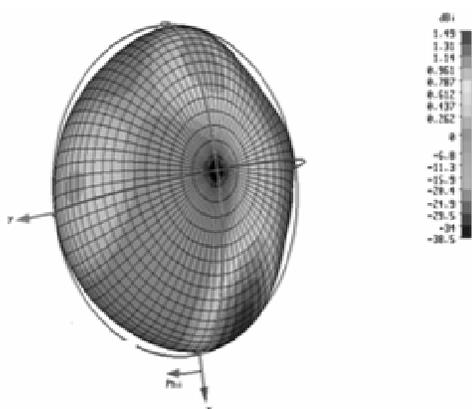


Figura 5. Patrón de radiación de campo lejano a 1.9GHz

Figure 5. Far field radiation pattern at 1.9GHz

Se dio entonces la necesidad de verificar experimentalmente este patrón de radiación proporcionado por el fabricante. Para esta actividad se usó el software LVDAM-ANT 1.22.

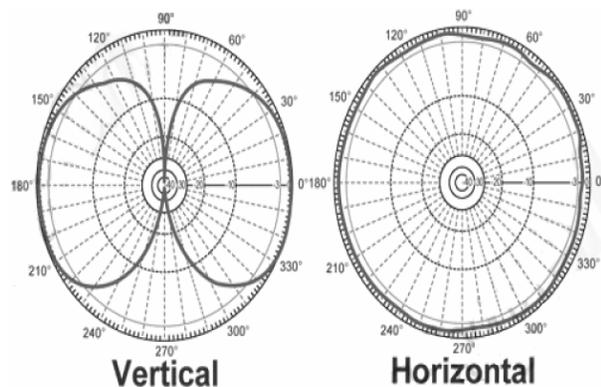


Figura 6. Patrón de radiación de la antena HG2404CU

Figure 6. Radiation pattern of the antenna HG2404CU

La Figura 7 muestra el patrón de radiación capturado para esta antena cuando la misma se encuentra polarizada horizontalmente. Esta

figura se compara con la proporcionada por el fabricante y efectivamente se ve que los dos patrones presentan similitudes. El mismo proceso se realiza para hallar el patrón de radiación vertical. Este se muestra en la Figura 8.

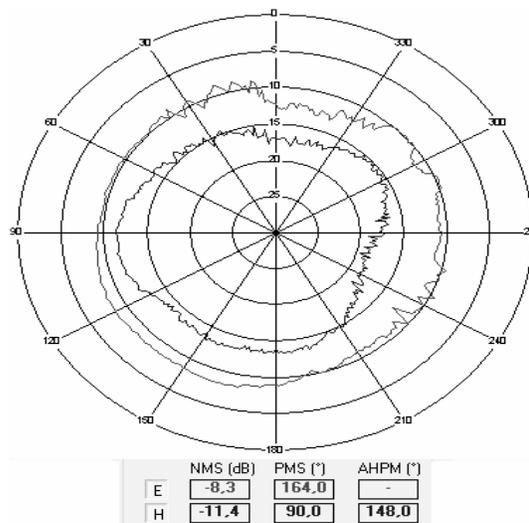


Figura 7. Patrón de radiación horizontal de la antena HG2404CU

Figure 7. Horizontal Radiation pattern of the antenna HG2404CU

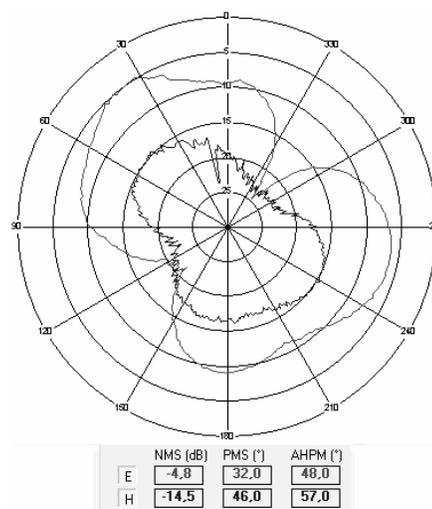


Figura 8. Patrón de radiación vertical de la antena HG2404CU

Figure 8. Vertical radiation pattern of the antenna HG2404CU

Conjuntamente, el fabricante también proporcionó las características técnicas de esta antena [11], ver Tabla 1.

Tabla 1. Principales características de la antena HG2404CU**Table 1.** Principal characteristics of the antenna HG2404CU

Frecuencia	800MHz-3GHz
Ganancia	3.5dBi
Angulo directivo vertical	90°
Angulo directivo horizontal	360°
Impedancia	50 Ohms
Máx. Potencia de salida	50 Watts
VSWR	<1.5:1 en promedio
Peso	0.94 lb. (0.35kg)
Dimensiones	90mm radio, 70mm alto

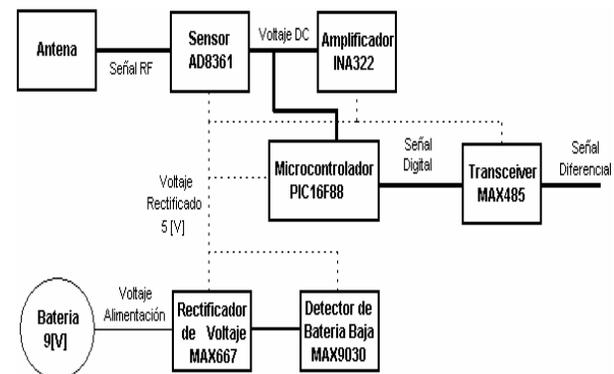
De esta manera quedó completamente descrito el comportamiento de la antena HG2404CU y así mismo, la forma como se realizó la primera etapa del proceso de diseño y construcción de la red de sensores. Como conclusión, de esta etapa se puede mencionar que este tipo de antena satisface los requerimientos del sistema que se requiere construir.

3.5 Tarjeta Sensora

La red de sensores implementada cuenta con cuatro tarjetas que se distribuyen sobre el área en la cual se desea detectar la presencia de señales electromagnéticas dentro de la banda de los 800MHz a los 2.5GHz, ver Figura 9. Cada tarjeta cuenta con una letra de identificación en mayúscula (de la A a la D). Además estas tarjetas sensoras poseen tres indicaciones luminosas que alertan al operario de la red de tres situaciones diferentes: encendido, batería baja y transmisión de datos. El sistema es alimentado con tres baterías CR2430, que en serie tienen una tensión de 9 voltios. También cada tarjeta cuenta con su respectivo conector SMA no reverso para conectar la antena que se desee usar. Esto brinda versatilidad al sistema ya que posibilita que el usuario de la red escoja el tipo de antena que el crea conveniente para la detección de una radiación en particular (entre 800MHz y 2.5GHz).

Además, la tarjeta cuenta con una etapa rectificadora de tensión necesaria para asegurar una correcta digitalización de los datos en el

microcontrolador y un circuito detector de batería baja utilizando para poder mostrar al

**Figura 9.** Diagrama de bloques del circuito sensor**Figure 9.** Blocks diagram of the sensor circuit

usuario una indicación luminosa centellante en el momento en que la fuente de alimentación se encuentre por debajo de 5.5V; lo anterior permite que las tarjetas sensoras transmitan datos confiables a la tarjeta central. El dispositivo central en estas tarjetas es el sensor AD8361 de Analog Devices. Este sensor es un detector de potencia electromagnética; la relación salida/entrada de este sensor se muestra en la Figura 10. Esta información fue suministrada por el fabricante. Se observa que presenta un comportamiento lineal a la salida del sensor ante la presencia de una excitación a la entrada. Las frecuencias de trabajo que se muestran son cercanas a las que manejan los dispositivos móviles que se desean detectar en este trabajo. Para una misma frecuencia y con una potencia de entrada creciente de manera lineal, se ve como la respuesta a la salida del sensor permanece lineal hasta alcanzar un punto de saturación máxima, aproximadamente, igual al valor de la fuente de alimentación. A la salida del sensor se encuentra un amplificador de instrumentación que sirve para calibrar el sistema de detección y corroborar su correcto funcionamiento. Conectado directamente también a la salida del sensor se encuentra el microcontrolador. Este microcontrolador cumple varias funciones: escuchar el canal esperando por la letra que identifica a la tarjeta sensora, encender y apagar el sensor para evitar consumo innecesario de energía, digitalizar con 8 bits el valor de tensión a la salida del sensor y enviar el

valor digitalizado al transmisor/receptor usando el protocolo de comunicación RS-232.

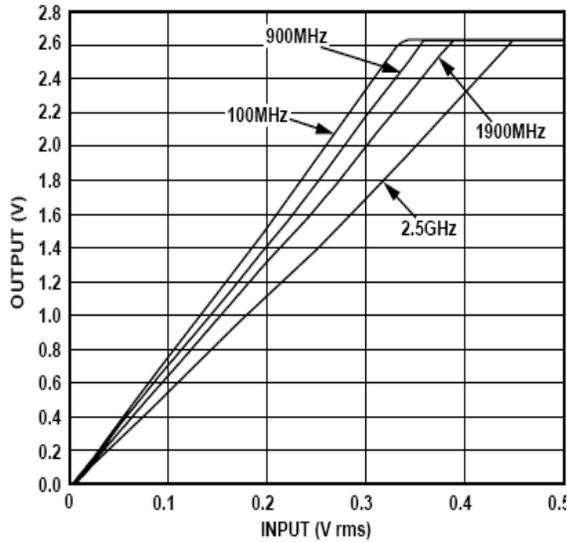


Figura 10. Salida del sensor en función del nivel de entrada para diversos valores de frecuencia

Figure 10. Output signal sensor as a function of its input signal, for several frequencies values

Finalmente, este transmisor/receptor envía los datos por medio de cable UTP de manera diferencial a la tarjeta central que hace las veces de concentrador. Se reduce el tamaño del sistema al máximo posible para asegurar que las pérdidas en el cobre debido a la etapa de alta frecuencia no sean grandes. Además, de esta manera se puede asegurar el correcto funcionamiento del sistema y evitar atenuaciones en el cobre. Para tal fin, se usan dispositivos activos de montaje superficial entre los cuales se encuentran encapsulados SOIC y MSOP y dispositivos pasivos en encapsulados 0603 y 0805. En la Figura 11 se aprecia el montaje final de la tarjeta sensora. Las dimensiones de estas tarjetas son de 9.5cmx5cm, sin incluir la antena banda fija conectada al conector SMA no reverso.

3.6 Tarjeta Central

Una característica importante en una red de sensores, es poder reunir o concentrar toda la información recopilada en un punto central para permitir su análisis. Para esto es importante que la información llegue a este punto sin corrupción y que además sea posible identificar cada dato y conocer claramente su procedencia.

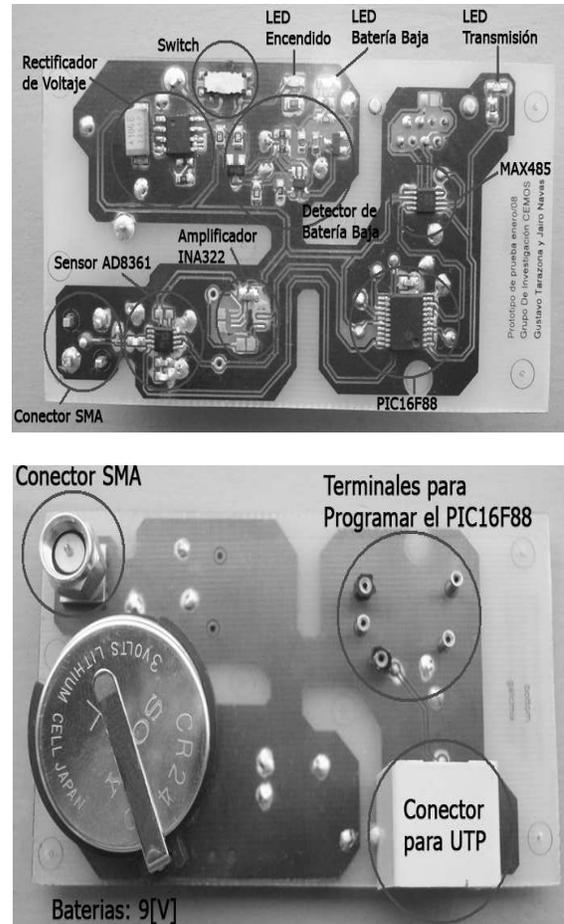


Figura 11. Fotografía de la tarjeta sensora con los nombres de los elementos activos

Figure 11. Sensor board picture showing its active elements

Así mismo, la comunicación entre la red de sensores y la tarjeta central debe ser coherente, presentando los mismos tiempos de transmisión y tener en cuenta los retardos presentes en cada dispositivo. Por todo lo anterior se diseñó un módulo que cumpla con estos requerimientos, tal como se muestra en la Figura 12. Nótese la presencia de la alimentación externa proveniente del puerto USB del computador en el cual se reciben los datos capturados. Además, se cuenta con una alimentación auxiliar que se puede conectar una fuente regulada de 5V y esta se encuentra disponible cuando el equipo de captura no dispone de puertos USB libres o funcionales, ver Figura 13. Todos los conectores RJ-45 hembra están conectados en paralelo al MAX485.

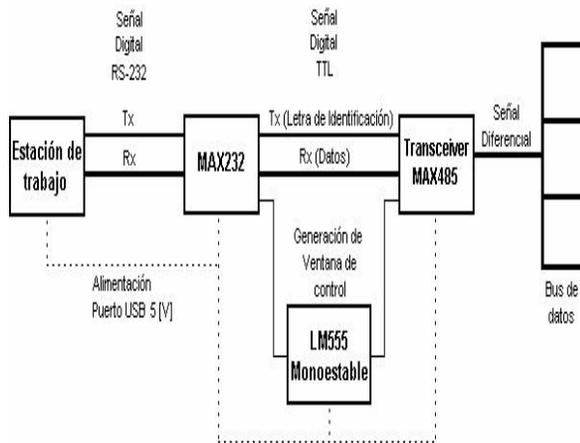


Figura 12. Diagrama de bloques del circuito tarjeta central

Figure 12. Blocks diagram of the main circuit

Esto convierte esta etapa de entrada y salida de datos en un bus de transmisión; esta configuración hace de este montaje una topología Profibus que se usa ampliamente a nivel industrial en procesos que requieren automatización y transmisión de datos, empleando la interconexión de dispositivos de campo de entrada/salida simple con PLC's y estaciones de trabajo. Este diseño se basa en una topología de red de bus lineal empleando transmisión Half Duplex Asíncrona con un acceso al bus de manera Maestro/Esclavo (un maestro y cuatro esclavos), con direccionamiento de 8 bits. Debido a lo anterior, los sensores no pueden transmitir todos al mismo tiempo, y solo el que posea la autorización para acceder al medio podrá hacerlo.

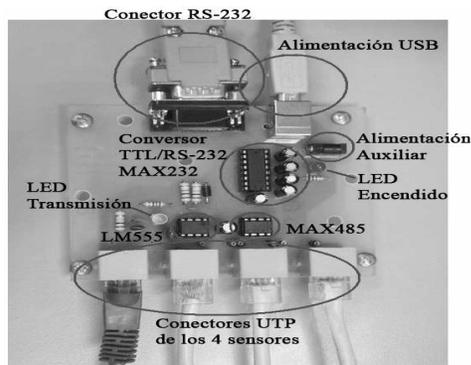


Figura 13. Fotografía del circuito principal con los nombres de los elementos

Figure 13. Picture of the principal circuit, showing its elements

3.7 Interfaz Gráfica

Esta herramienta se desarrolló con la finalidad de mostrar al usuario último la información recibida de los sensores de la manera mas clara posible, ver Figura 14. Los números indicados describen sus componentes, que aparecen descritos en mayor detalle en [10,11]. El VI (Virtual Instrument) elaborado en LabVIEW™, cuenta con múltiples opciones que le permiten seleccionar al usuario uno o mas modos de visualizar la información, haciendo posible un correcto análisis e interpretación de los datos obtenidos. La interfaz obtiene los datos por el puerto serial de la estación de trabajo y cuenta con tres diferentes maneras de analizar la información capturada. El usuario puede graficar los datos en planos cartesianos (un plano por cada sensor), en diagramas de tanques o medir la densidad de potencia presente en el área donde se encuentra ubicado un sensor en particular:

a. Plano cartesiano

Grafica los datos entrantes en función del tiempo (en formato HH:MM:SS) del momento en que cierto dato fue capturado. El usuario puede escoger el sensor que desea sea graficado, puede ser uno o todos al tiempo.

b. Diagrama de tanques

Muestra gráficamente la variación de los datos entrantes. Proporciona al usuario otra opción de analizar los datos y compara directamente la variación de las señales de manera grafica y sencilla.

c. Medición de potencia

El fabricante del sensor suministra una ecuación para la conversión de tensión RMS a potencia en dBm; además de esta expresión, también se usa una curva de ajuste calculada con base en datos experimentales frente a un patrón tomado del generador Marconi Instruments 2023. Esta aproximación lineal se realizó para cada una de las tarjetas sensoras, siendo así que cada una de ellas posee características diferentes aun cuando todas tienen los mismos elementos de las mismas empresas fabricantes. Se ajustó el valor de la potencia registrada experimentalmente con el medido con el sensor mediante regresión lineal.

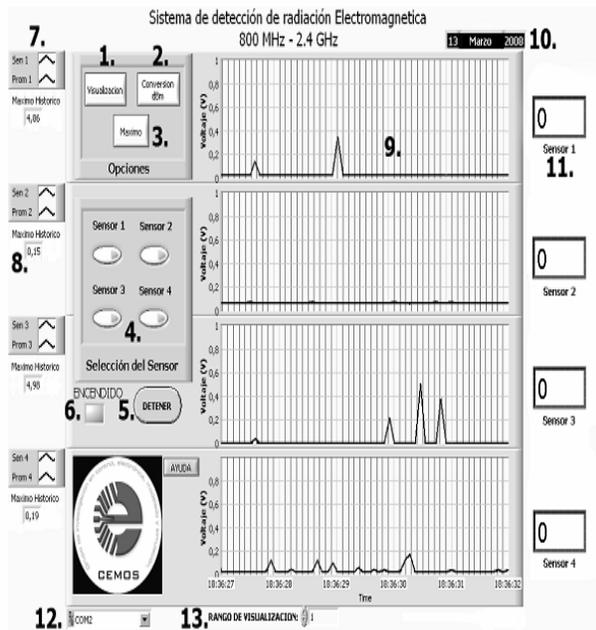


Figura 14. Interface con el usuario

Figure 14. User Interface

Los datos y la respuesta de la curva de ajuste se grafican dando como resultado la figura 15. Nótese como se rectifican los datos para obtener una buena aproximación. De esta figura se puede concluir que la regresión lineal implementada ajusta el valor de potencia que registra el sensor muy cerca del valor real. Se realizaron varias pruebas para diferentes frecuencias, 850, 900, 950 y 1200MHz. Para todas estas se obtuvieron diferentes curvas de ajuste, pero el inconveniente de obtener todas estas curvas es que el sistema no discrimina una señal por su frecuencia y por el contrario, para una misma potencia de entrada, el sensor arroja un valor de tensión RMS diferente dependiendo únicamente de la frecuencia de dicha señal. Esto se demuestra experimentalmente en la Figura 15. Nótese la respuesta del sensor ante una potencia constante pero con un barrido en frecuencia. Esto significa que para cada frecuencia debe hacerse una curva de ajuste para poder obtener el valor de potencia correcto, pero siendo que esto resulta imposible al ser un sistema banda ancha, no se pueden tener varias curvas almacenadas en el software pues la red no identifica una frecuencia de la otra. Entonces al final se promediaron las pendientes y los valores de corte con el eje Y, para poder lograr una curva única; esto se hace

debido a las propiedades de la red, puesto que al ser un sistema con este tipo de banda, el sistema no discrimina valores de frecuencia dentro de su rango y así cualquier señal con una frecuencia entre 800 y 2500 MHz puede ser medida; entonces es necesario promediar los valores de estas curvas de ajuste para poder obtener una curva única que puede rectificar los valores en todo el espectro de frecuencias de la red. El fabricante del generador Marconi Instruments 2023 asegura que el error del mismo es de mas o menos 0.8 dB para niveles de potencia de mas de -127dBm y todos los fabricantes de los demás elementos presentes en la red de sensores certifican la linealidad de los mismos; por esto es apropiado decir que la red de sensores presenta un error muy cercano a este valor de 0.8 dB cuando la medición se realiza de acuerdo a como se hace en este caso sin la antena conectada. Esto no garantiza que la medición de potencia sea rigurosa o que los resultados tengan un error parecido al que se puede calcular cuando el sistema trabaja con la antena conectada a la entrada. Al conectar la antena, esta cambia las características iniciales del sistema, además de la linealidad debido a la variación en la ganancia de estos dispositivos en todo su rango de frecuencias de trabajo. La forma como esta ganancia varía no la reporta el fabricante de la antena HG2404CU.

3.8 Sistema de Comunicación

La comunicación serial se realiza paso por paso, es decir, se toma un dato a la vez. Esto es muy conveniente puesto que de esta manera se evita el uso de cabeceras de identificación que reducirían en gran medida el número de datos que el sistema capta por segundo. Debido a esta configuración serial, el número de datos que son procesados cada segundo oscila alrededor de los 260 cuando solo un sensor esta operando, como se pudo establecer mediante ensayos preliminares. Este valor no es constante ya que LabViewTM trabaja sobre un entorno Windows XP y este sistema operativo ejecuta procesos repentinamente, sin conocimiento del usuario, consumiendo así valiosos recursos informáticos necesarios para optimizar el funcionamiento de la red. El número de datos capturados dependerá en gran medida del espacio en la memoria RAM

disponible para la ejecución de LabView™ y por ende de la cantidad de procesos que Windows este ejecutando en ese momento. En la 2 se muestran las características finales de la red de sensores implementada.

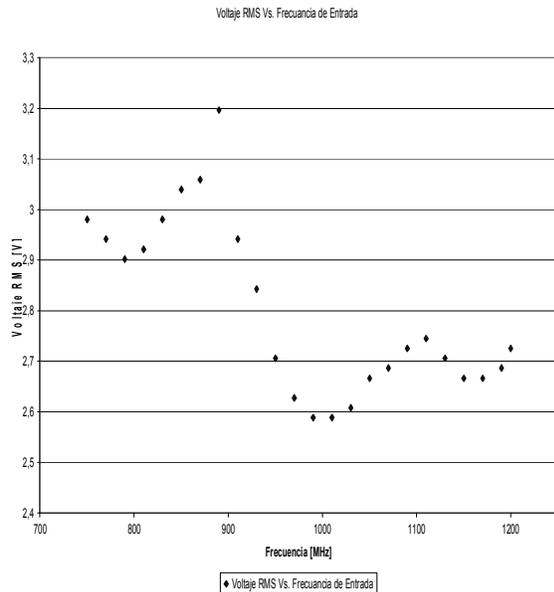


Figura 15. Tensión RMS en función de la frecuencia de entrada. Potencia de la señal de entrada constante e igual a 3dBm. Sensor número tres

Figure 15. RMS voltage as a function of the input frequency. The input power is constant and equal to 3dBm. Sensor number three

Tabla 2. Características técnicas del prototipo final.
Table 2. Technical characteristics of the final prototype

Característica	Valor
Alimentación	9 [V]
Conexión	Alambrica (UTP)
Conectores	RJ-45, SMA, USB y DB-9
Potencia máxima detectada	Entre 8 dBm y 9,9 dBm dependiendo de la frecuencia
Potencia mínima detectada	-21 dBm
Velocidad transmisión (Teórica)	19200 [baudios/segundo]
Velocidad transmisión (Real Promedio)	4100 [baudios/segundo]
Datos Capturados(Promedio)	260 [Datos/segundo]

4. CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó una red capaz de detectar la presencia de ondas electromagnéticas en el rango de 800MHz a 2.5GHz. La red de sensores mide efectivamente las variaciones en la densidad de potencia del medio en la banda de interés, aunque presenta un comportamiento no uniforme con respecto a la frecuencia, puesto que el valor de tensión a la salida del sensor varía de acuerdo con la frecuencia de la señal de entrada aun cuando esta señal posea un valor de potencia constante. Igualmente, se realizaron múltiples pruebas en variados entornos (tanto en campo abierto como en recintos cerrados) que demostraron el correcto funcionamiento de las diversas etapas que comprenden la red, así como del sistema de detección como un todo [10,11]. El siguiente paso es hacer pruebas de campo en lugares donde está prohibido hacer o incluso, recibir llamadas de celulares tales como centro carcelarios, bancos y estaciones de venta de gasolina, entre otros.

REFERENCIAS

- [1] MEREDITH R., Engineers' handbook of industrial microwave heating, IEE, London UK, 2006.
- [2] CHENG D., Fundamentals of Engineering Electromagnetics, Addison-Wesley Co. USA, 2007.
- [3] EGER H., UWE H., VOGEL P., VOIT H., La influencia de la cercanía de una antena de telefonía móvil sobre la incidencia del cáncer. Revista Umwelt Medizin, pp 174-178, 2004.
- [4] DELSING J., EKMAN J., Susceptibility of sensor network to intentional electromagnetic interference, IEEE, EMC, pp 172-175, 2006.
- [5] DEBATTISTA A., Introduction to the Measurement of Non-ionizing Radiation, CFC, 2006.
- [6] MILLIGAN, T., Modern Antenna Design. Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2005.

[7] WHEELER A., Simple relations derived from a phased-array antenna made of an infinite current sheet, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-13, no. 4, pp. 506–514, 1965.

[8] MALDONADO D., Caracterización de dispositivos de redes de sensores inalámbricos en ambientes *Indoor y Outdoor*, [trabajo de grado]. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga 2007.

[9] PAULINO, N., REBELO H. Design of a spiral-mode microstrip antenna and matching circuitry for ultra-wide-band receivers, *IEEE, Transactions on Antennas and Propagation*, vol.3, pp 79-84, 2002.

[10] NAVAS G., TARAZONA J., Red de sensores para la detección de radiación no ionizante-segunda parte, [trabajo de grado]. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2007.

[11] REYES G., Equipo para detección de Radiación Electromagnética no ionizante, [trabajo de grado]. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga 2006.

[12] HyperLink Technologies, disponible: <http://www.hyperlinktech.com> [citado 18 de Marzo de 2008].