Evaluación y desarrollos de Monitores de Radiaciones No Ionizantes (RNI)

A. Castro Lechtaler
Instituto de Enseñanza Superior del Ejercito (IESE), UTN

A. Foti
FUNDETEC, Universidad A J F Kennedy

C. Guaraglia
Universidad A J F Kennedy

O. Campastro, H. Iriarte
COPITEC-FUNDETEC

***Abstract*—El objetivo del presente trabajo, encabezado por el Consejo Profesional en Telecomunicaciones, Electrónica y Computación (COPITEC) por medio de su fundación (FUNDETEC), ha sido el de desarrollar una estación fija de monitoreo de RNI, que a través del servicio de Internet, permita a cualquier persona visualizar la ubicación geográfica de la estación, el nivel de radiación y su evolución durante el día. Todo ello, concebido teniendo en mente la utilización de recursos humanos y tecnológicos que resulten de fácil y económica disponibilidad en nuestro país.**

Palabras Clave: RNI, microcontrolador, normativa vigente, sonda, GPS

I. INTRODUCCIÓN

Una señal electromagnética transporta energía de un punto a otro del espacio, resultado de una composición entre campo magnético y campo eléctrico.

Los emisores de este tipo de energía pueden ser artificiales, cuando su presencia se deba a la acción humana, o naturales, cuando no ocurra esto.

Los campos llamados naturales son los debidos a descargas atmosféricas y al ruido cósmico y solar. Sus niveles son normalmente mucho menores que los de los campos artificiales, y por otra parte los seres vivos los soportan perfectamente porque su evolución, desde el principio mismo de la vida, se ha producido en su presencia.

En las últimas décadas con el desarrollo tecnológico de las comunicaciones y de la electrónica en general la emisión de radiación electromagnética ha aumentado considerablemente en el mundo entero. Esta emisión se debe principalmente a los transmisores destinados a las comunicaciones radioeléctricas, las herramientas y máquinas que pueden producir chispas o generar señales eléctricas, los sistemas de encendido de motores a explosión, muchos aparatos de uso industrial, científico o médico y también de uso diario en el hogar.

Los receptores de estas emisiones pueden ser sistemas de comunicaciones o de navegación, instrumentos de diversos tipos, (industriales, científicos o médicos), las computadoras, los ambientes explosivos, pero también los organismos vivos (animales o vegetales) dado que estos se comportan como antenas receptoras, dependientes de su geometría (tamaño) y del material con el que están compuestos.

Las RADIACIONES IONIZANTES (RI) son aquellas, cuyo efecto más importante es la ionización de las moléculas que componen la materia. A modo de ejemplo, mencionaremos entre éstas a la Radiación X, la Radiación Gamma y la Radiación Cósmica. Los riesgos asociados con el uso de la Radiación X y Gamma, tanto en sus aplicaciones médicas, nucleares como industriales han sido estudiados en detalle y sus efectos son bien conocidos, pudiendo ser de extrema gravedad.

En consecuencia, las RI han merecido una preocupación especial, elaborándose Normas de Seguridad y estableciéndose Límites de Exposición para proteger tanto a las personas que por su tarea están expuestas a ellas como al público en general.

El término RADIACIONES NO IONIZANTES (RNI), se aplica a un grupo de radiaciones que conviven con las RI dentro del espectro electromagnético. Las RNI a diferencia de las RI, no llevan asociada una energía suficiente como para alterar las estructuras moleculares o romper sus ligaduras atómicas y así producir el proceso de ionización celular.

Las RNI abarcan gran parte del espectro electromagnético. Dichas radiaciones, en general no pueden ser percibidas por los sentidos humanos, a menos que su intensidad alcance valores suficientemente grandes como para manifestarse a través de sus efectos térmicos. La excepción corresponde a una banda muy angosta dentro del espectro, esto es la luz visible, que sí es percibida por el ojo.

En los últimos años se han realizado investigaciones sobre posibles efectos no térmicos o biológicos de las RNI generados a bajos niveles y en condiciones de exposición prolongada. Los resultados obtenidos hasta la fecha no permiten asegurar ni tampoco negar

efectos nocivos para la salud humana, motivo por el cual la OMS recomienda la aplicación del principio de precaución.

Este principio, de no fácil aplicabilidad, ha sido en cierta forma cuantificado por las autoridades suizas a través de los denominados Valores Límites de Instalación (ILV).

Los ILV fueron puestos en práctica en Suiza a partir del 2000 y cubren las distintas bandas de frecuencia, desde la red eléctrica, pasando por la telefonía celular, las estaciones de AM, FM y TV hasta radar.

La exposición en general causada por fuentes artificiales de Radiofrecuencia y Microondas, ha crecido más que exponencialmente en las últimas décadas. Entre las principales fuentes se pueden citar el extenso espectro de telecomunicaciones, informática con Internet (Wi-Fi, Wi-Max), emisoras radiales y TV, generación y transporte de energía eléctrica, usos industriales, uso en medicina, investigación, educación y artículos del hogar entre otros.

La exposición a RNI y sus posibles efectos comenzaron a ser la preocupación no sólo de las autoridades responsables en diferentes áreas, sino también ha creado inquietud en los trabajadores expuestos a la misma por su ocupación y en el público en general.

Las emisiones radioeléctricas, como las provenientes de los sistemas de comunicaciones, son un tema donde confluyen intereses tanto públicos como privados relacionados con aspectos tan diferentes como ser salud, medioambiente, urbanismo, economía, etc. Por ello, es necesario introducir normas basadas en una legislación apropiada que elimine la incertidumbre en las actuaciones públicas y que permita, a su vez, el desarrollo adecuado de los intereses y derechos de las partes afectadas.

Tratar de unificar los criterios para las mediciones sobre RNI y la interpretación de los resultados de estas mediciones es imprescindible. Actualmente existe una gran preocupación en la comunidad internacional sobre estos parámetros que es lo que se denomina la Armonización de Estándares o de Normas.follow.

II. Estado de la Cuestión

A. Las Organizaciones Normalizadoras y las mediciones.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha realizado un gran esfuerzo al respecto.
La Comisión Internacional por la Protección contra las RNI (ICNIRP) es una organización vinculada con la Organización Mundial de la Salud (OMS), que tiene la responsabilidad de proporcionar asesoramiento e información a los distintos organismos internacionales, gobiernos nacionales, municipios y a la sociedad en general. En tal medida efectúa recomendaciones referentes a RNI y salud, incluyendo radiación óptica, ultrasonido e infrasonido.

Según comentara el Dr. Vecchia (Presidente de la ICNIRP, que diserto en el COPITEC en el 2008), el proceso de absorción de energía electromagnética depende de la frecuencia, de la altura y de la masa de una persona que actúa en este caso como antena receptora, así como también de la energía electromagnética en juego. Por tal motivo, se han definido (en función de los efectos térmicos) límites básicos de absorción (SAR), estos son de 0.4 W/kg. para trabajadores en actividad y 0.08 W/kg. para el público en general.

Es muy importante, entonces definir los parámetros a medir para poder establecer el concepto de riesgo o límites de las radiaciones.

En el caso de los efectos térmicos los límites se determinan en base a la tasa específica de absorción (SAR) que es la capacidad de absorción de potencia por unidad de masa.
Dado lo dificultoso que resulta la medición de este parámetro en la práctica, los límites se expresan en unidades de campo eléctrico, campo magnético y de densidad de potencia equivalente de onda plana.

En baja frecuencia, lo que importa es el campo magnético, ya que el campo eléctrico se atenúa muy rápidamente. El campo magnético variable, por la Ley de Faraday, induce corrientes en el cuerpo humano que son las que podrían traer algunos efectos sobre las personas. Por ejemplo, el campo magnético a treinta metros de las líneas de alta tensión es de 0,8 uT[1], mientras que un secador de pelo genera a 30 centímetros de 0,01 a 7 uT y un horno a microondas de 4 a 8 uT.

En telefonía móvil, donde se trabaja en altas frecuencias, se mide el campo eléctrico y/o magnético pudiéndose expresar estos como densidad de potencia equivalente de onda plana. A título de ejemplo, para brindar un orden de magnitud, una estación de FM emite de 10 a 100 veces más potencia que una base de telefonía celular.

En nuestro país las normas surgen a partir de la Resolución 202/95 del Ministerio de Salud, basada en los estudios realizados en 1988, y son idénticas a las recomendadas por el ICNIRP salvo para el rango de frecuencia inferior a los 10 MHz.

Se ha definido la Tasa **de absorción específica (SAR)**, la cual es proporcional al cuadrado de la intensidad del campo eléctrico interno. Se la mide por calorimetría, para todo el cuerpo, por termografía para su distribución, y localmente con sondas implantables.
Puede determinarse la dosis de energía absorbida, con el tiempo de exposición, así como la distribución interna de energía.
Depende de: a) los parámetros del campo incidente, b) las características del cuerpo expuesto, y c) de los efectos de tierra y de reflexión de otros objetos.

La respuesta a la exposición depende del SAR promedio en todo el cuerpo y su distribución. Influye sobre la respuesta, las diferencias entre especies, y dentro de la misma especie, la variabilidad genética individual. Equivalentes valores del SAR en animales y humanos, no producen análogas respuestas biológicas.

[1] uT : micro Tesla: Tesla = weber/m2, unidad de Inducción Magnética o Densidad de Flujo Magnético (Vector B)

La gráfica siguiente muestra los niveles máximos, expresados en densidad de potencia equivalente de onda plana, para los grupos poblacional (curva C) y ocupacional (curva A) que rigen en la Argentina.

Es interesante mencionar que de las 3 curvas para el grupo poblacional (B, C y D), si bien la C fue la elegida y es la que actualmente rige, la D es la que coincide con la sugerida por el ICNIRP.

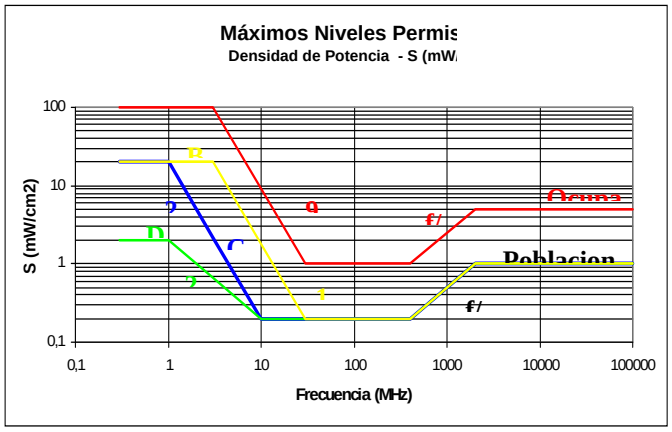

Figura 1: Máximos Niveles Permisibles – Densidad de potencia

B. Normas

Podemos analizar la aplicación de las normas desde diferentes ángulos, que no son necesariamente incompatibles:

1. Desde el punto de vista del vecino, que teme las consecuencias de la falta de control en este tema.
2. Desde las empresas prestadoras de servicios, que pretenden brindar un servicio rentable, pero a su vez no generar conflictos ecológicos.
3. Desde las autoridades municipales, que pretenden cubrir su rol social y fiscalizador, sin que se produzcan erogaciones de las que no dispone.
4. Desde los profesionales intervinientes, que requieren normas claras, sencillas, acertadas y uniformes.

C. Comentarios de la Resolución No. 3690

En 1995 por medio de la Resolución 202/95 el Ministerio de Salud y Acción Social resuelve “aprobar el Estándar Nacional de Seguridad para la exposición a radio-frecuencias comprendidas entre los 100 KHz y 300 GHz, conforme a lo establecido en el Manual de estándares de seguridad para la exposición a radio-frecuencias” en el rango comprendido entre los 100 KHz y 300 GHz.

Con posterioridad, la Secretaría de Comunicaciones por Resol. N° 530 del año 2000 ratifica lo anterior y establece que “La Comisión Nacional de Comunicaciones (CNC) deberá informar, oportunamente, el resultado de nuevas investigaciones que requiera modificaciones a lo establecido en la presente resolución a fin de asegurar la salud de la población ante la exposición a las radiaciones”

Finalmente, la CNC por Resolución 3690 del 2004 establece las normas a que deberán atenerse los respectivos titulares de los sitios que emitan radiofrecuencias y determina la forma de cómo llevar a la práctica lo así resuelto, debiendo ser las mismas llevadas a cabo por un profesional competente con certificado de encomienda emitido por el Consejo Profesional de Ingeniería en Telecomunicaciones, Electrónica y Computación (COPITEC) de Jurisdicción Nacional.

D. Mediciones de RNI

La creciente preocupación social ha llevado a algunos municipios a realizar mediciones por su cuenta, comprando para ello instrumental importado, aunque sin recurrir a profesionales especializados y en muchos casos sin utilizar protocolos periódicos de calibración de estos instrumentos. En otros casos los municipios exigen a las empresas prestadoras mediciones anuales / semestrales.
En la mayoría de los casos los resultados de estas mediciones no son claramente presentados a la población y de allí que la inquietud social vaya en aumento.

Analizando la solución encontrada en otros países a este tema, se puede observar que la misma contiene acciones conjuntas entre el Estado y el sector privado. En nuestro país se encuentra encaminado un Código de Buenas prácticas al respecto, entre la Federación Argentina de Municipios y las empresas operadoras de telefonía celular.

Por su parte, la Fundación para el Desarrollo de las Telecomunicaciones, la Electrónica y la Computación (FUNDETEC), bajo la tutela del COPITEC y funcionando además como organización asesora de la FAM, ha desarrollado un equipo para el monitoreo fijo de las RNI, cuyos resultados pueden apreciarse en http://rni.copitec.org.ar. De esta manera, en forma remota y a través de Internet, cualquier ciudadano podrá acceder a consultar sobre los niveles existentes de RNI (contrastados contra los máximos permisibles), en la zona donde se halle instalado el medidor, a solicitud del municipio correspondiente. Este Instrumental es desarrollado por profesionales argentinos, resultando su desempeño equivalente a los importados a un costo sustancialmente menor y con mayores prestaciones.

E. Comparación de Normas

Dado la diversidad de opiniones en cuanto a nuestra normativa en lo que se refiere a radiación no ionizante en el rango de alta frecuencia, esto es celulares, FM, AM, TV abierta entre otras; lo mejor es realizar un análisis comparativo con otras normas tales como la sugerida por el ICNIRP (adoptada por la Comunidad Europea en su generalidad) y las adoptadas por algunos paises.

El cuadro siguiente compara la norma argentina con la del ICNIRP y las adoptadas por Canada y Estados Unidos para el grupo poblacional.

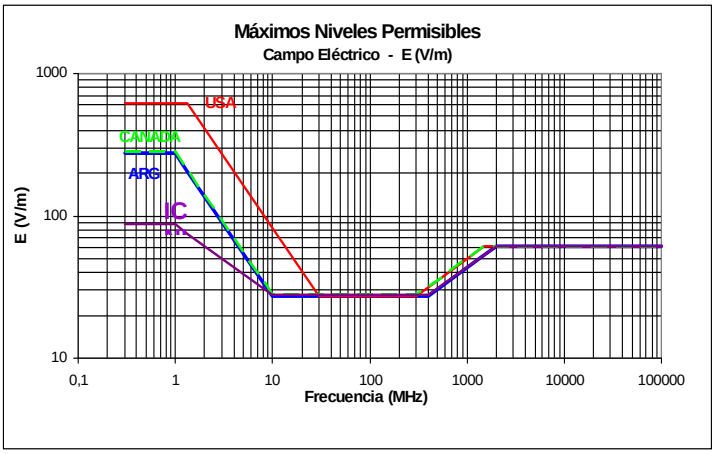

Figura 2: Máximos Niveles Permisibles – Campo Eléctrico

De esta gráfica se puede ver que nuestra norma, para frecuencias superiores a 10MHz, es idéntica a la del ICNIRP y similar a la de Canadá, mientras que la de EEUU comienza a asemejarse a partir de los 30MHz en adelante.
Se puede concluir que la Argentina tiene una normativa más exigente que la de EEUU en el rango de frecuencias inferior a los 30MHz, pero menos que la recomendada por el ICNIRP y que prácticamente coincide en todo el rango de frecuencias con la fijada por Canadá.

Es importante destacar que estas normas solo se basan en el aspecto energético - calórico de las radiofrecuencias y no en efectos biológicos.

III. DESARROLLO DE LA UNIDAD REMOTA DE MEDICIÓN DE RNI

A. Diagrama conceptual de la medición

Conceptualmente, el sistema puede visualizarse así:

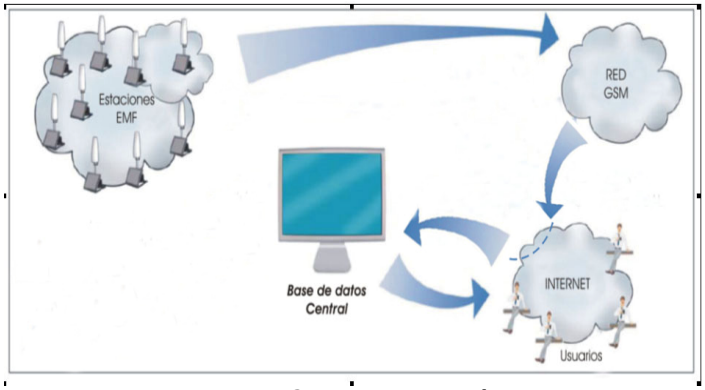

Figura 3: Esquema conceptual

Para nuestro desarrollo, se materializo en un diagrama eléctrico como el siguiente:

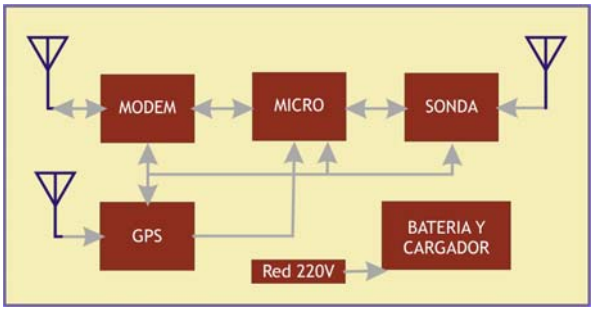

Figura 4: Diagrama Eléctrico

El dispositivo de medición propiamente dicho es una SONDA (antena) calibrada, encargada de traducir a valores eléctricos la intensidad de las radiaciones electromagnéticas que interactúan con ella.

Dichos valores son adquiridos por el bloque MICRO (microcontrolador), que se encarga del establecimiento de las comunicaciones y de administrar el funcionamiento de todo el sistema.

El GPS es un receptor especializado que determina la posición geográfica del sistema con gran precisión, valiéndose de las señales emitidas por varios satélites. También la posición es adquirida por el MICRO.

Para los mensajes de salida del GPS se utilizó el protocolo NMEA, filtrando por soft la salida GGA únicamente. Como este evento ocurre una vez por segundo sincronizado con la hora UTC, se lo empleó como base de tiempos. Es decir, el MICRO obtiene los datos de la hora, latitud, longitud y el bit que indica la validez de los datos leídos cada vez que los emite el GPS.

Como ejemplo mostramos la cadena GGA tal como la entrega el GPS:

$GPGGA,002153.000,3342.6618,N,11751.3858,W,1,10,1.2,27.0,M,-34.2,M,,0000*5E

Dicha posición junto con los datos de la SONDA se envían al bloque MODEM, dispositivo que basándose en la norma GPRS/GSM de telefonía celular, realiza el enlace inalámbrico vía Internet, con un servidor remoto encargado de almacenar las mediciones y de presentar los valores adquiridos de todos los equipos remotos, para que estén a disposición del público en general, en un sitio en internet.

La SONDA es un dispositivo activo que por lo general incluye un display para presentar los datos y está alimentado con baterías. Puede disponer de una interfase RS232 para inicializarlo e interrogarlo, mediante un protocolo propietario. Se incluye en el prototipo un cargador de baterías. Para evitar

interferencias durante la carga, ésta se efectúa de 00,00Hs a 06,00Hs, intervalo durante el cual el equipo permanece inactivo.

El MODEM mediante el protocolo TCP/IP incorporado, resuelve los conflictos de acceso entre las unidades remotas y el servidor. Aquí se utilizó un MODEM Motorola G24, basado en un set de comandos AT propietario.

La batería permite el funcionamiento ininterrumpido durante cortes del suministro eléctrico. La autonomía es de 24 Hs

El prototipo se armó sobre una placa de 10x20cm y contiene 5 interfases RS232, una para el MODEM, una para el GPS, una para la SONDA (aislada galvánicamente para evitar que la SONDA arroje lecturas erróneas) y dos para uso general en futuras aplicaciones.

El equipo se monta junto con una batería de 12V 7AH de libre mantenimiento, en un gabinete plástico estanco.

B. Algunas consideraciones de diseño

Se utilizó un microcontrolador de **Atmel**, el **ATmega162**, programado en lenguaje "C" con IDE de tercera parte, desde una PC, con el kit **STK500** de Atmel; aunque podría haber sido cualquier otro parecido, como ser uno de **Microchip** o de **Freescale**.

La cantidad de código ejecutable fue de unos 5 KB, y se tuvo especial atención en que no ocurriesen situaciones que pudieran dejar "colgado" el sistema, como ser, esperando una respuesta del MODEM que nunca llega porque se averió o se colgó, o hubo alguna demora excesiva en el establecimiento de las comunicaciones (red no operativa), o salió de servicio o se colgó el servidor.

Los pasos básicos en el establecimiento del enlace son:

a) Encendido y Registro del MODEN en la red GSM.
b) Solicitud de conexión al ISP, con lo que la red devuelve una IP dinámica.
c) Apertura del puerto remoto en el servidor.
d) Si todo anduvo bien en los pasos anteriores, transmisión de la información.
e) Cerrado del puerto y apagado del MODEM

Durante este procedimiento, no se registran las mediciones de la SONDA, ya que podrían ser falseadas por la intensa y cercana señal del MODEM, las que se retoman al estar éste apagado. Además la SONDA no deberá tener conexión galvánica con el resto del equipo, ya que se podrían alterar los resultados de la medición.

La filosofía de medición se basa en una de las recomendaciones, que sugiere tomar una serie de muestras – aquí se toman 36 valores a intervalos de 10 segundos - durante 6 minutos, y luego se calcula el promedio y se toma el valor máximo. Esto se hace así porque los resultados son más representativos de los efectos sobre un ser humano ante una exposición RNI.

Los valores máximos permitidos no deberán superar los 200 uW/cm^2, ya sea en promedio o máximo.

Las relaciones entre unidades son:

$$\frac{\left(\frac{V}{m}\right)^2}{Z_0} = \frac{W}{m^2} \qquad \frac{W}{m^2} = 100\frac{\mu W}{cm^2}$$

Donde Zo: impedancia del vacío = 120 PI ~ 377 ohms

C. Funcionamiento

La estación remota envía la información de campo eléctrico de radiofrecuencia y de posición dada por el GPS vía el módulo GPRS. Este se enlaza vía Internet con un servidor Web que se encuentra en el centro de procesamiento, almacenando los datos recibidos en una base SQL.

Los datos almacenados en la base SQL son utilizados por el software de graficación para posicionar la ubicación de la estación remota en un plano de la ciudad. En este caso se utiliza una capa de Google Maps para ubicar mediante las coordenadas geográficas la estación de monitoreo tal como se puede ver en la figura siguiente.

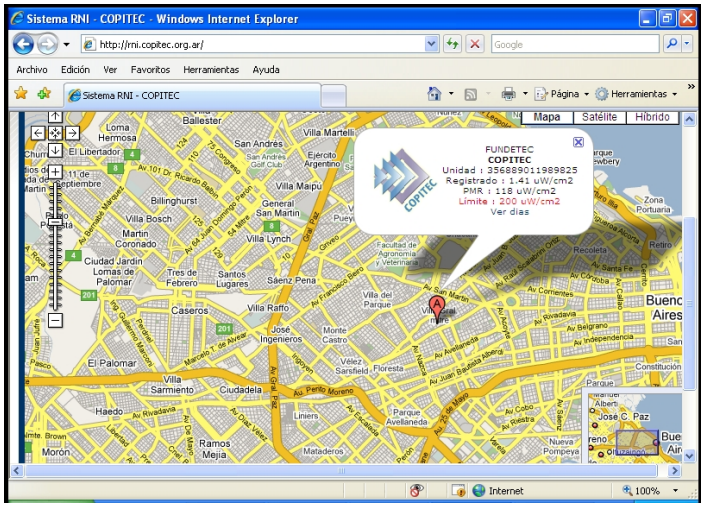

Figura 4: Mapa de estaciones

El programa permite que el público que accede a la página pueda ver, con un simple clic sobre el globo que indica la posición de la estación de monitoreo, el último valor medio medido, el pico máximo registrado (PMR) y el límite dado por la norma
También permite ver la evolución diaria de la radiación electromagnética al pulsar con el ratón - ver días -. Esto abre

una ventana con los registros diarios existentes permitiendo seleccionar el ó los días requeridos por el usuario.

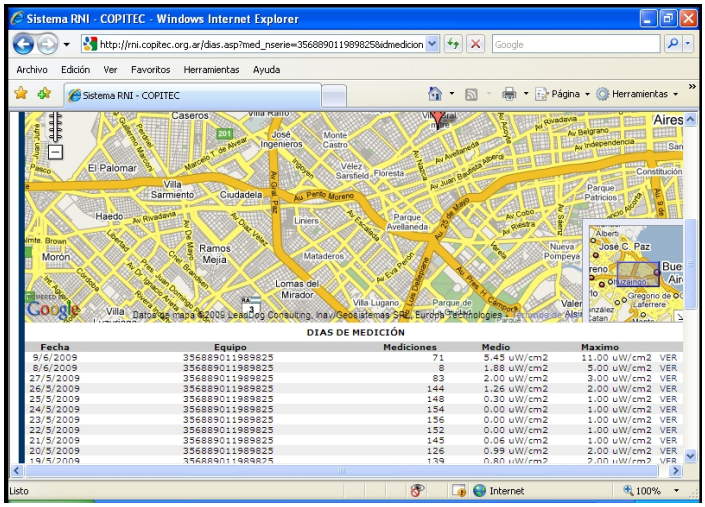

Figura 5: Registro diario

Seleccionado el día en la tabla desplegada y haciendo clic en - VER -, una nueva ventana se abre con la gráfica del registro diario de radiación electromagnética, mostrando las evoluciones del valor medio de densidad de potencia equivalente de onda plana (promediado cada 6 minutos) y del valor pico, durante las 24 hs del día.

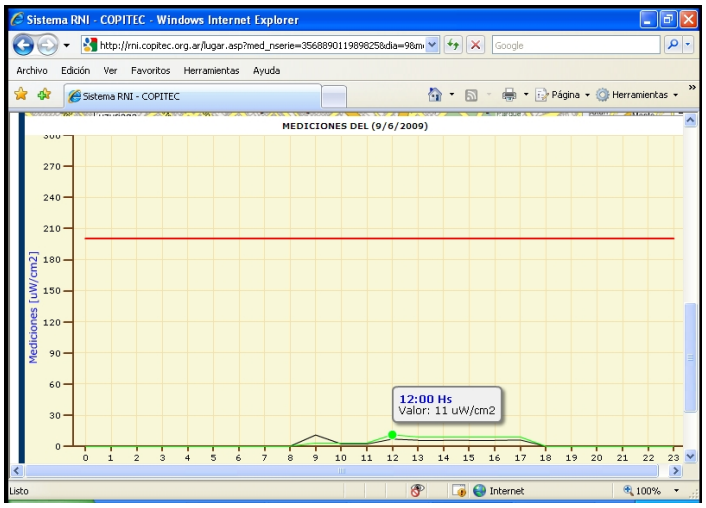

Figura 6: Evolución del nivel de radiación

IV. CONCLUSIONES PRELIMINARES

Hasta el presente, podemos exhibir como fortaleza el hecho de que el diseño es totalmente propio y sus componentes/ servicios asociados, son fácilmente obtenibles en el mercado nacional con un costo reducido.

Como debilidad, tenemos que el sensor o sonda, es importado. Su valor puede resultar elevado, de acuerdo al ancho de banda que se desee cubrir. Para el rango de la telefonía celular únicamente, es de un costo moderado. En caso de pretender cubrir una cobertura amplia, como -por ejemplo-desde 0,5 a 5 GHz., su costo se elevara demasiado.

En razón de lo expuesto, nos encontramos en tratativas con organismos de desarrollo tecnológico con capacidad de transferencia, para su implementación.

El modelo en funcionamiento se encuentra actualmente “en comodato” utilizado por la “Agencia de Protección Ambiental” de la CABA.

V. BIBLIOGRAFÍA

[1] A. Portela, J.J. Skvarca, E.B. Matute Bravo y L.A. Loureiro , “Prospección de radiación electromagnética ambiental no ionizante.” Volumen I: “Manual de estándares de seguridad para la exposición a radiofrecuencias comprendidas entre 100 kHz y 300 GHz” Ministerio de Salud y Acción Social de la Nación.
República Argentina, 1988

[2] A. Portela, J.J. Skvarca, E.B. Matute Bravo y L.A. Loureiro , “Prospección de radiación electromagnética ambiental no ionizante.” Volumen I: “Radiación de radiofrecuencias, consideraciones biofísicas, biomédicas y criterios para el establecimiento de estándares de exposición” , Ministerio de Salud y Acción Social de la Nación.
República Argentina, 1988

[3] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic and Electromagnetic Fields (up to300 GHz). Health Physics, Vol. 74, No. 4, pp. 494-522, April 1998.

[4] -S.Liao, “Microwave Devices and Circuits, 2nd Ed.”, Prentice Hall, 1985

[5] Rappaport, “Wireless Communications”´, McGraw Hill, 1996,

[6] Resolución No. 202/95 – Ministerio de Salud y Acción Social de la Nación, República Argentina, 1995.

[7] Resolución No. 530/00 – Secretaria de Comunicaciones de la Nación, República Argentina, 2000.

[8] Resolución No.3690/04 – Comisión Nacional de Comunicaciones, República Argentina, 2004.

[9] Resolución No.343/08 – Agencia de Protección Ambiental, Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2008.

[10] Resolución No. 144/07 – Oficina Provincial para el Desarrollo Sostenible, Gobierno de la Provincia de Buenos Aires, 2007

[11] Motorola G24 Developer Guide, Module Hardware Description, September 1, 2006.

[12] Motorola G24 Developer Guide, AT Commands Reference Manual, May 31, 2007. www.motorola.com

[13] Atmel AVR Microcontroller ATmega162 Datasheet, 2513I-AVR02/07.

[14] -Atmel AVR Application Notes. www.atmel.com

[15] Protocolo de salida para GPS: NMEA Reference Manual Rev. 2.1, December 2007.