

Análisis de los límites de exposición humana a campos electromagnéticos de acuerdo a la norma UIT-K.52 para frecuencias entre 10 kHz y 3 GHz en áreas urbanas de Bucaramanga

Analysing limits for human exposure to electromagnetic fields in accordance with ITU- k.52 standard for frequencies between 10 khz and 3 GHz in urban areas of Bucaramanga

José de Jesús Rugeles Uribe¹, Antonio Jaimes Oviedo², Víctor Hugo Sánchez Barón³, Oscar Alberto Mantilla Prada⁴ y Eduard Sastoque Gálvez⁵

RESUMEN

Este artículo presenta una descripción de los resultados alcanzados en la comprobación de los límites de exposición humana para el rango de frecuencias de 10KHz hasta 3GHZ en la ciudad de Bucaramanga (Colombia) teniendo en cuenta las disposiciones del decreto 195-2005 aprobado por el Ministerio de Comunicaciones, basado en la recomendación K.52 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Fue posible comprobar, mediante una campaña de medidas, que los niveles de exposición a radiaciones electromagnéticas obtenidas en tres lugares de la ciudad considerados sensibles, no superaron en ninguno de los casos los límites de exposición. Se consideraron además de las bandas de telefonía móvil, emisiones de amplitud modulada, frecuencia modulada y televisión, instaladas en los sitios de medida desde hace varios años. En todos los casos los niveles obtenidos de intensidad de campo eléctrico superaron los 100 dBuV/m, con un valor máximo de de 139 dBuV/m. Niveles que están muy por debajo de los límites de exposición establecidos por la norma K-52. Los niveles más altos para la exposición de público general fueron 1,74964 % en la banda de AM y 0,006408 % para la banda de celular entre 869 y 894 MHZ. Se presenta además una descripción de los módulos: límites de exposición, adquisición y georeferenciación, implementados en la herramienta EspecVIEW, diseñada para realizar diversos tipos de campañas de medida por parte de los funcionarios del Ministerio y empleada en este estudio.

Palabras clave: patrón de radiación, campo eléctrico, campo magnético, polución electromagnética, exposición ocupacional, UIT k.52, decreto 195-2005, ICNIRP, GPS, NMEA.

ABSTRACT

This article presents an overview of the results obtained from testing the limits of human exposure to 10KHz to 3GHZ frequencies in the city of Bucaramanga (Colombia), taking into account decree 195-2005 approved by the Colombian Ministry of Communications, based on International Telecommunication Union (ITU) recommendation K.52. Measuring levels of exposure to electromagnetic radiation at three chosen locations in the city considered to be sensitive did not reveal that exposure limits were being exceeded. Mobile phone, modulated amplitude emission, frequency modulation and television bands installed at the sites several years ago were also measured. Levels obtained from electric field strength exceeded 100 dBuV / m in all cases, maximum value being 139 dBuV / m. Levels were well below exposure limits established by the K-52 rule. The highest levels for the general public's exposure

¹ Ingeniero electricista, ingeniero electrónico, Magíster en ingeniería electrónica, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Investigador y docente, grupo de Conectividad y Procesado de Señales CPS, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia. email: joserugeles@ieee.org, joserugelesuribe@gmail.com

² Ingeniero electricista, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Profesional universitario, Dirección territorial del Ministerio de Comunicaciones, Bucaramanga, Colombia. ajaimos@mincomunicaciones.gov.co.

³ Ingeniero electricista, Magíster en potencia eléctrica, Universidad Industrial de Santander, Colombia. Candidato a Ph.D., en ingeniería, Universidad del Valle, Colombia. Investigador, grupo de investigación en alta tensión. Profesor asistente, Escuela de Ingeniería Electrónica de la Universidad del Valle, Cali, Colombia. vhs@univalle.edu.co.

⁴ Ingeniero electrónico, Universidad del Valle, Colombia. investigador, grupo de bioingeniería de la fundación cardiovascular de Colombia. omanpra@yahoo.com, oscarmanilla@fvc.org.

⁵ Ingeniero electrónico, Universidad del Valle, Cali, Colombia. mxsasto@yahoo.com.

were 1.74964% in the AM band and 0.006408% for the cellular band between 869 and 894 MHz. This article also contains a description of the modules, exposure limits, acquisition and geo-positioning using the EspecVIEW tool designed for performing several types of measurements by Ministry officials and used in this study.

Keywords: radiation pattern, electric field, magnetic field, electromagnetic pollution, occupational exposure, ITU k.52, 195-2005 decree, ICNIRP, GPS, NMEA.

Recibido: diciembre 11 de 2006

Aceptado: octubre 16 de 2007

Introducción

La constante evolución de los servicios de telecomunicaciones ha generado una proliferación de sistemas de comunicación inalámbrica como radio, televisión, telefonía móvil, celulares, beepers, GPS, redes de área local y en la actualidad se vislumbra una rápida masificación de nuevos sistemas como son las redes inalámbricas de banda ancha Wi-Max, redes de área personal WiFi y redes de sensores inalámbricos (IEEE 802.15.4).

Es claro que todos estos sistemas mejoran la calidad de vida de los usuarios, acortando distancias, comunicando el mundo entero y permitiendo el acceso a la sociedad de la información a grupos de personas localizadas en lugares remotos. Pero al mismo tiempo son fuentes intencionales de ondas de radio que ocasionan una mayor ocupación del espectro radioeléctrico y generan cierta preocupación en la sociedad debido al aumento de la llamada polución electromagnética. Esto se ve reflejado en algunas publicaciones en medios de comunicación escrita en diversas partes del mundo donde se presentan los servicios de comunicación inalámbrica como una amenaza a la salud pública.

En Colombia, con el crecimiento de la telefonía móvil ha aumentado también la preocupación de la comunidad por los riesgos que la instalación de torres de telefonía celular cerca de sus lugares de vivienda o trabajo. Esto se evidencia en la cantidad de reclamos, derechos de petición y tutelas⁶ recibidas por entidades de control ambiental, como la CDMB⁷ en la ciudad de Bucaramanga. Esta problemática se ha discutido en algunos espacios académicos⁸, en un foro regional⁹ y otro nacional¹⁰; donde participaron expertos en el tema, representantes de la comunidad, la academia, empresas de telecomunicaciones y las diversas entidades de regulación. El Ministerio de Comunicaciones expidió el decreto 195 (Ministerio de Comunicaciones, 2005) a finales del año 2005, donde estableció para Colombia los límites de exposición de las personas a campos electromagnéticos

basándose en la recomendación K.52 (UIT,2000) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y definió los requisitos únicos para la instalación de estaciones radioeléctricas. A partir de estas discusiones se evidenció la necesidad de realizar estudios y campañas de medida locales que permitieran establecer el cumplimiento de la normatividad en el país. Si bien es cierto que el tema se viene estudiando en varios países (Giuliani *et al.*,2003; Davide *et al.*; 2001; Salovarda y Malaria ,2006), es necesario analizar las condiciones específicas de los servicios de radiocomunicación en Colombia. El Ministerio de Comunicaciones aunque cuenta con avanzados equipos de medida, carece de herramientas de análisis y protocolos de medida teniendo en cuentas las normativas aprobadas. Se requiere entonces, profundizar en las técnicas de medición para radiofrecuencia y realizar estudios de casos que permitan evaluar los niveles de exposición, y que generen una base de conocimiento lo suficientemente amplia acerca de la problemática, que permita sustentar los conceptos que entidades como las secretarías de planeación territorial o las entidades ambientales, solicitan al Ministerio de Comunicaciones respecto a las decisiones administrativas necesarias en los casos de reclamos y demandas de los usuarios que se sienten afectados por la instalación de algún tipo de antena. Por esa razón, el objetivo principal del trabajo presentado en este artículo fué desarrollar y validar una herramienta que permitiera al Ministerio de Comunicaciones realizar mediciones y análisis de intensidad de campos electromagnéticos, a partir de la normas K.52 de la UIT y del decreto 195 del 2005 del Ministerio de Comunicaciones, empleando los equipos de medida con los que contaba para las labores de análisis espectral.

Existen antecedentes de algunas investigaciones realizadas en la ciudad de Bucaramanga empleando los equipos del Ministerio de Comunicaciones (García *et al.*, 2004 y 2005), trabajos que han aportado al estudio de la problemática,

⁶ El derecho de petición está consagrado en la Constitución Política de Colombia como fundamental, es decir, que hace parte de los derechos de la persona humana y que su protección judicial inmediata puede lograrse mediante el ejercicio de tutela.

⁷ Corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga (Colombia). <http://www.cdmdb.gov.co>.

⁸ Seminario Internacional "Electromagnetic Fields and Human Health", Universidad Industrial de Santander, Noviembre 2006.

⁹ Foro regional, "Telecomunicaciones, salud y medio ambiente", Bucaramanga, Dirección territorial, Ministerio de Comunicaciones – Corporación autónoma regional para la defensa de la Meseta de Bucaramanga, CDMB. Diciembre 13 de 2003.

¹⁰ Foro Nacional, Ministerio de Comunicaciones – Ministerio de protección Social – Octubre 2004.

pero donde la información ha resultado muy limitada debido a la lectura manual de los instrumentos de medida. Surgió entonces la necesidad de diseñar un sistema portátil que permitiera la medición automática de campos electromagnéticos generados por sistemas inalámbricos para frecuencias de operación en el rango de 10KHz a 3GHz, a esta herramienta se le llamó EspecVIEW, la cual contiene, entre otros, un módulo de análisis para la comprobación de los límites de exposición relacionados en la recomendación K.52. Especview fue desarrollado empleando la plataforma software LabVIEW, un receptor miniport receiver EB200 (Rhode y Schwarz, 2000) y un GPS Garmin EtrexVista. La herramienta está compuesta por cinco módulos: adquisición de datos, georeferenciación, monitoreo AM-FM comercial, almacenamiento-análisis y comprobación de límites de exposición. En este artículo se describen los resultados alcanzados en las campañas de medida realizadas en tres puntos diferentes de la ciudad de Bucaramanga (Colombia) y una descripción de los módulos: adquisición de datos, georeferenciación y límites de exposición de la herramienta desarrollada.

Límites de exposición

Los límites propuestos por la comisión internacional sobre la protección contra radiaciones no ionizantes (ICNIRP) (ver Tabla 1) determinan los niveles de referencia máximos de exposición de las personas, ya sea en unidades de campo eléctrico (V/m), campo magnético (A/m) o densidad de potencia (W/m^2), para una frecuencia determinada; existiendo dos tipos de límites de exposición definidos: ocupacional y público general. El límite ocupacional se aplica a las situaciones donde las personas están expuestas a radiaciones electromagnéticas por causa de su trabajo; los límites de público general son aplicables para todas las personas cuyo oficio no está relacionado con las fuentes de emisión radioeléctricas. En la Figura 1 se observan las zonas de exposición: conformidad, ocupacional y rebasamiento, definidas por la recomendación UIT K.52.



Figura 1. Zonas de exposición a campos electromagnéticos

En la zona de conformidad la exposición potencial a los campos electromagnéticos, está por debajo de los límites aplicables a la exposición ocupacional/controlada y a la exposición no controlada del público en general. En la zona ocupacional la exposición está por debajo de los límites aplicables a la exposición controlada/ocupacional, pero sobrepasa los límites aplicables a la exposición no controlada del público en general y en la zona de rebasamiento, la exposición sobrepasa los límites aplicables a la exposición controlada/ocupacional y a la exposición no controlada del público en general. Además de las zonas, existen límites de exposición para campo eléctrico y magnético (ver las Figuras 2 y 3), definidos de acuerdo a la frecuencia de operación.

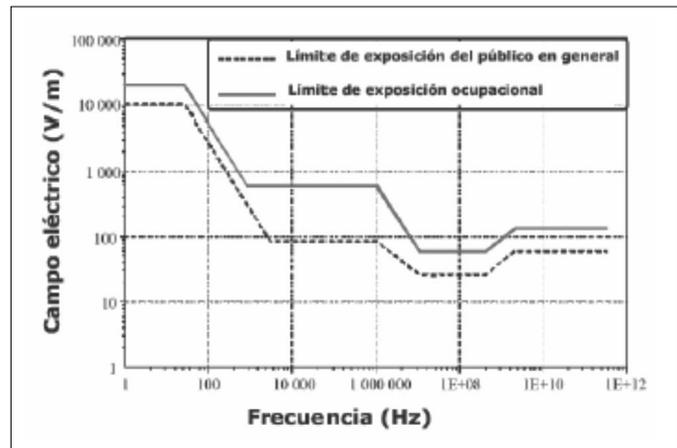


Figura 2. Límites de referencia ICNIRP de Intensidad de campo Eléctrico

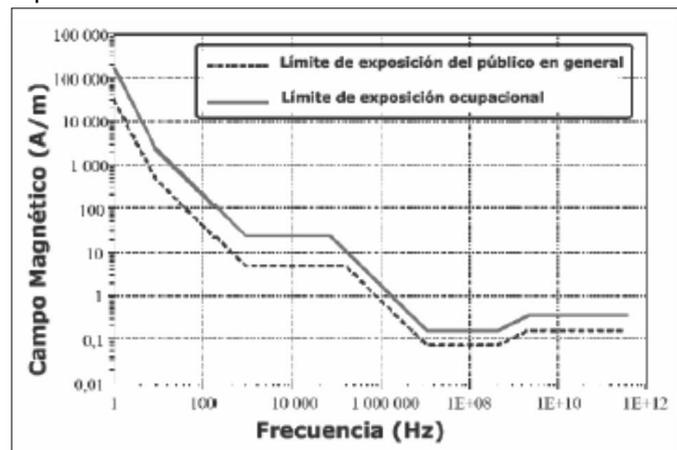


Figura 3. Límites de referencia ICNIRP de Intensidad de campo Magnético

Debido a la cantidad de servicios inalámbricos existentes y su acción simultánea sobre los individuos, se requiere una evaluación que considere el aporte de todas las señales presentes en un sitio en un momento dado. Para esta evaluación la recomendación K.52 proporciona una expresión para determinar el aporte de cada una de las fuentes. Para un rango de frecuencias comprendido desde 1kHz a 300GHz. En las frecuencias bajas (inferiores a 10 MHz), los efectos fisiológicos importantes se deben a la densidad de corriente inducida, mientras que a las frecuencias más altas (superiores a 100 KHz), los efectos fisiológicos importantes

se deben a la tasa de absorción específica SAR (Specific absorption rate). Para considerar el efecto de múltiples fuentes, se debe realizar una suma ponderada tanto para el campo eléctrico (Ecuaciones 1 y 2), como para el magnético (ecuaciones 3 y 4).

Tabla 1. Cuadro I.2/k.52 – Límites de referencia ICNIRP (valores eficaces sin perturbaciones)

Tipo de exposición	Gama de frecuencias	Intensidad de campo eléctrico (V/m)	Intensidad de campo magnético (A/m)	Densidad de potencia de onda plana equivalente S_{eq} (W/m ²)
Ocupacional	Hasta 1 Hz	-	2×10^5	-
	1-8 Hz	20 000	$2 \times 10^5 / f^2$	-
	8-25 Hz	20 000	$2 \times 10^4 / f$	-
	0,025-0,82 kHz	500/f	20 / f	-
	0,82-65 kHz	610	24,4	-
	0,065-1 MHz	610	1,6 / f	-
	1-10 MHz	610/f	1,6 / f	-
	10-400 MHz	61	0,16	10
	400 - 2000 MHz	$3f^{1/2}$	$0,008f^{1/2}$	$f/40$
2 - 300 GHz	137	0,36	50	
Público en general	Hasta 1 Hz	-	2×10^4	-
	1-8 Hz	10 000	$2 \times 10^4 / f^2$	-
	8-25 Hz	10 000	$5000 / f$	-
	0,025 -0,8 kHz	250/f	4/f	-
	0,8 - 3 kHz	250/f	5	-
	3 - 150 kHz	87	5	-
	0,15 - 1 MHz	87	0,73/f	-
	1 -10 MHz	$87/f^{1/2}$	0,73/f	-
	10 - 400 MHz	28	0,073	2
400 - 2000 MHz	$1,375f^{1/2}$	$0,0037f^{1/2}$	$f/200$	
2 -300 GHz	61	0,16	10	

NOTA 1 – f es la indicada en la columna gama de frecuencias.

NOTA 2 – Para las frecuencias entre 100 kHz y 10 GHz, el tiempo de promediación es de 6 minutos.

NOTA 3 – Para frecuencias de hasta 100 kHz, los valores de cresta pueden

obtenerse multiplicando el valor eficaz por $\sqrt{2}$ (*1.4142). Para impulsos de duración t_p , la frecuencia equivalente aplicable debe calcularse como $f=1/(t_p)$.

NOTA 4 – Entre 100 kHz y 10 MHz, los valores de cresta de las intensidades de campo se obtienen por interpolación desde 1,5 veces la cresta a 100 MHz hasta 32 veces la cresta de 10 MHz. Para valores que sobrepasen 10 MHz, se sugiere que la densidad de potencia de onda plana equivalente de cresta promediada a lo largo de la anchura del impulso, no sobrepase 1000 veces el límite S_{eq} o que la intensidad de campo no sobrepase los niveles de exposición de intensidad de campo indicados en el cuadro.

NOTA 5 – Para frecuencias superiores a 10 GHz, el tiempo de promediación es de $68 / f^{1,05}$ minutos (f en GHz).

Para los campos eléctricos:

$$\sum_{i=1KHz}^{1MHz} \frac{E_i}{E_{l,i}} + \sum_{i>1MHz}^{10MHz} \frac{E_i}{a} \leq 1 \quad (1)$$

$$\sum_{i=100KHz}^{1MHz} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1MHz}^{300GHz} \left(\frac{E_i}{E_{l,i}} \right)^2 \leq 1 \quad (2)$$

Donde:

E_i = Intensidad de campo eléctrico a la frecuencia j.

$E_{l,i}$ = Límite de referencia a la frecuencia i

Tabla 2. Constantes empleadas en las ecuaciones de campo eléctrico.

	Magnitud	Tipo de exposición
a	610 [V/m]	ocupacional
	87 [V/m]	público en general
c	$610/f$ [V/m] (f en MHz)	Ocupacional
	$87/f^{1/2}$ [V/m] (f en MHz)	público en general

Para los campos magnéticos

$$\sum_{j=1KHz}^{1MHz} \frac{H_j}{H_{l,i}} + \sum_{j>1MHz}^{10MHz} \frac{H_j}{b} \leq 1 \quad (3)$$

$$\sum_{j=100KHz}^{1MHz} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>1MHz}^{300GHz} \left(\frac{H_j}{H_{l,i}} \right)^2 \leq 1 \quad (4)$$

Donde

H_j = Intensidad de campo magnético a la frecuencia j

$H_{l,i}$ = límite de referencia a la frecuencia

Tabla 3. Constantes empleadas en las ecuaciones de campo magnético

	Magnitud	Tipo de exposición
b	24,4 [A/m]	ocupacional
	5 [A/m]	público en general
d	$1,6/f$ [A/m] (f en MHz)	ocupacional
	$0,73/f$ [V/m] (f en MHz)	público en general

Implementación del cálculo de Límites de exposición

Para el diseño del software se tiene en cuenta la Tabla 1, para la asignación del límite expresado en dBµV/m mediante la ecuación (5).

$$dB\mu V/m = 20 * \text{Log} \left(\frac{V/m}{1\mu V} \right) \quad (5)$$

Los rangos y niveles de la Tabla 1 permiten crear una máscara de límites de exposición sobre el espectro capturado como se observa en las Figuras 5 y 6, de manera que es posible determinar los sobrepasos.

Cuando una emisión supera el umbral preestablecido, se enciende una alarma y se registra el valor de la frecuencia que excede el nivel con su valor pico de sobrepaso, hora, fecha y posición geográfica, en una tabla de registro que mantendrá los valores. La Figura 6 presenta los límites de exposición para la banda comercial de amplitud modulada, desde 604 KHz hasta 1600 KHz, en una medida realizada

en las instalaciones de la dirección territorial del Ministerio de Comunicaciones en la ciudad de Bucaramanga (Colombia).

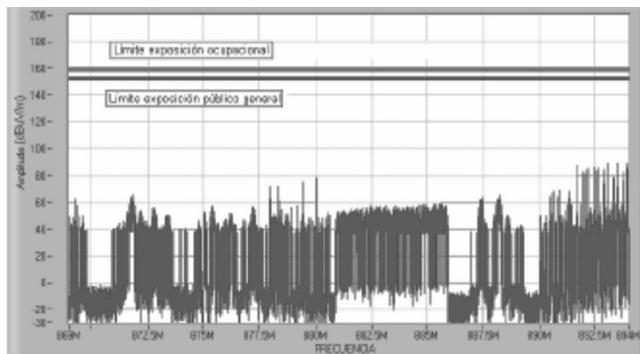


Figura 5. Mascara y señal de campo eléctrico

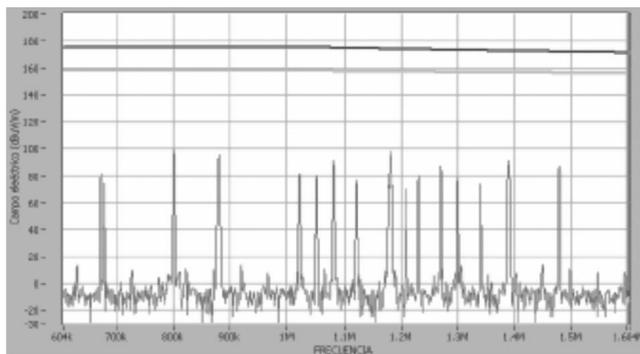


Figura 6. Mascara de límites de exposición ocupacional y público para la banda de AM.

Esta función de la herramienta, permite determinar las zonas de conformidad, detectar los emisores cuyo nivel superan los límites de exposición y además muestra la exposición porcentual tanto del público general, como el ocupacional.

Adquisición de datos

La herramienta EspecView, utiliza el equipo Miniport receiver EB200 (ver la Figura 7) que permite obtener lecturas en un rango de 9KHz a 3GHz. Para su implementación, se estudió el protocolo de comunicación serial empleado por el instrumento y se desarrolló el algoritmo de comunicación, de manera que fué posible controlar todas las funciones del instrumento mediante comandos enviados desde el software. Para medir el espectro en el rango 9KHz a 3GHz fue necesario utilizar antenas adecuadas de acuerdo al rango de medida. Se emplearon tres antenas diferentes para barrer este rango del espectro (ver Tabla 4). Desde 9KHz a 20 MHz se utilizó una antena Loop HE200 HF marca RHODE&SCHWARZ; de los 20 MHz a 330 MHz, se seleccionó la antena Biconica SAS542 A.H. SYSTEMS, INC, y de los 20 MHz – 3GHz se utilizó una antena helicoidal de marca desconocida, suministrada por la empresa RHODE&SCHWARZ.

Durante la selección de las antenas, se consideró la disponibilidad de las mismas en todas las direcciones territoriales (sedes del Ministerio en Colombia), de manera que los resultados obtenidos con este trabajo se pudiesen replicar por los funcionarios en cualquier parte de Colombia.

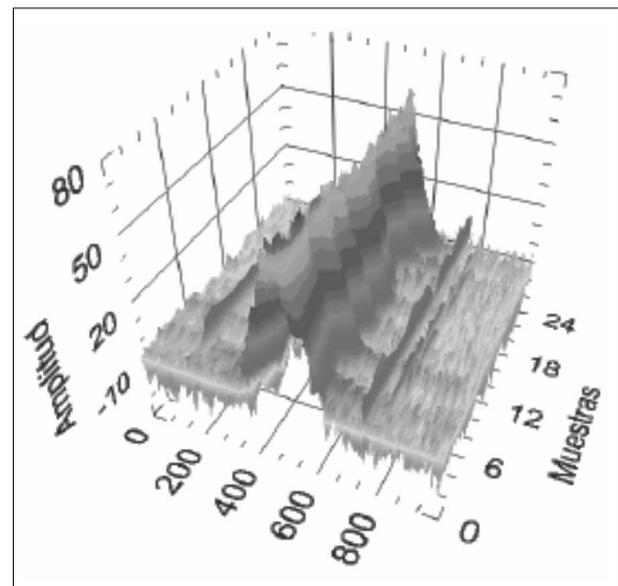
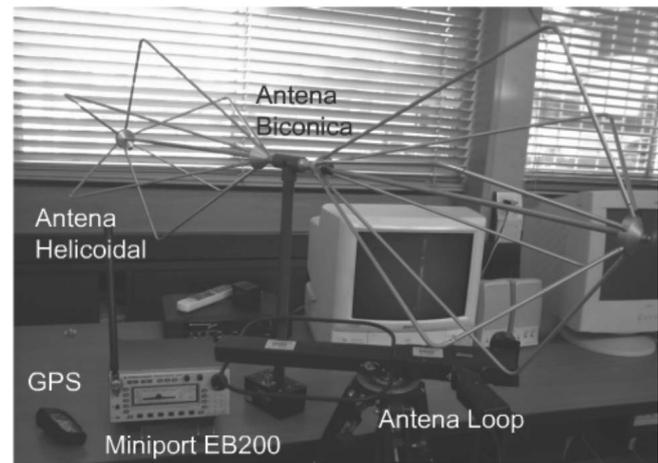


Figura 7. Equipos del sistema EspecVIEW y visualización de señales capturadas

En las mediciones de niveles de intensidad de campo, se hace necesario utilizar antenas con un patrón omnidireccional (Antenna Research Associates,1999; Rhode y Schwarz,2000) para considerar todas las posibles señales incidentes. En las Figuras 8 y 9 se presentan los patrones de radiación correspondientes a cada una de ellas. Las magnitudes de límites de referencia (ver Tabla 1) dadas por la Comisión Internacional de Protección Contra Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP) se establecen para medidas eficaces de Intensidad de Campo Eléctrico (V/m), Intensidad de Campo Magnético y Densidad de Potencia (W/m²), por esta razón se requiere una transformación de unidades de dBuV a dBuV/m para las medidas realizadas con el Miniport EB200; para esto se adiciona un factor k de antena al nivel de voltaje V indicado por el receptor de prueba, como muestra la ecuación 6.

$$E[\text{dB}(1\mu\text{V}/\text{m})] = V[\text{dB}(1\mu\text{V})] + k[\text{dB}(1/\text{m})] \quad (6)$$

$$k(\text{dB}/\text{m}) = -29.8 \text{ dB} + 20 \log f / \text{MHz} - G \quad (7)$$

donde G, corresponde a la ganancia de la antena en dB y f es el valor de la frecuencia expresado en MHz. Para cada

antena fue necesario determinar el valor de k. Este parámetro fue suministrado por el fabricante para las antenas loop de cuadro (ver la Figura 10) y biconica (ver la Figura 11). Para la antena helicoidal, este parámetro era desconocido, por lo cual fue necesario realizar una caracterización que permitiera calcularlo.

Tabla 4. Antenas del Sistema SpecVIEW.

HE200 HF. Loop de Cuadro RHODE&SCHWARZ. (Rhode&Schwarz)	SAS542. Biconica A.H. SYSTEMS, INC. (A.H. Systems, 2005)	HELICOIDAL MARCA DESCONOCIDA
9KHz- 20 MHz	20 MHz- 330 MHz	20 MHz – 3GHz
		

Factor k para antena helicoidal

Para determinar este factor es necesario conocer la ganancia de la antena relacionada a la frecuencia de estudio como se muestra en la ecuación (7). La ganancia se calcula mediante la ecuación (8)

$$Gt(dBi) = Pr(dBm) - Pt(dBm) + Fo(dB) - Gr(dBi) \quad (8)$$

Donde, Gt(dBi) es la ganancia de la antena transmisora; Pr(dBm) la potencia recibida; Pt(dBm) la potencia transmitida; Fo(dB) corresponde a las pérdidas de espacio libre y Gr(dBi) es la ganancia de la antena receptora. Para determinar las pérdidas de espacio libre se emplea la ecuación (9)

$$Fo(dB) = 92.44 + 20 * \log_{10}(F/G) + 20 * \log_{10}(D/Km) \quad (9)$$

Donde Fo, es la pérdida de espacio libre (dB); F, la frecuencia en GHz; D, la distancia en kilómetros y G, la ganancia de la antena;

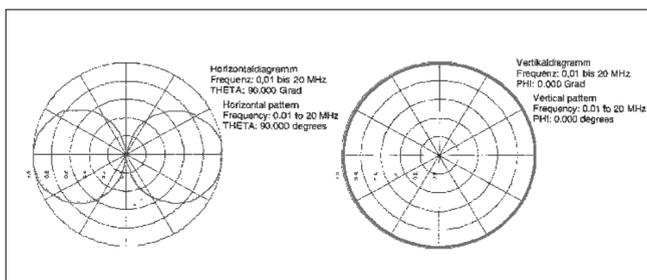


Figura 8. Patrón de radiación antena HE200 HF

El procedimiento para obtener la ganancia de la antena helicoidal consistió en la ubicación a una distancia de 30 metros dos equipos en espacio libre, uno operando como transmisor y el otro como receptor, la antena helicoidal

bajo prueba se instaló en el transmisor con una potencia constante de 13dBm como se muestra en la Figura 12.

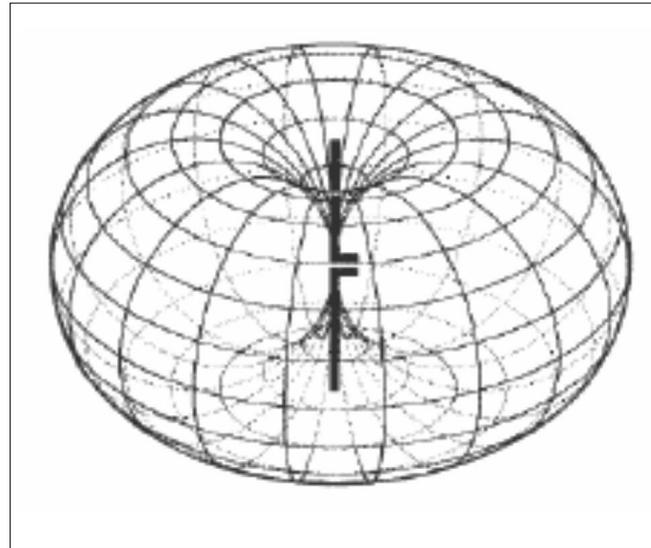


Figura 9. Patrón de radiación SAS542. Biconica A.H. SYSTEMS, INC.

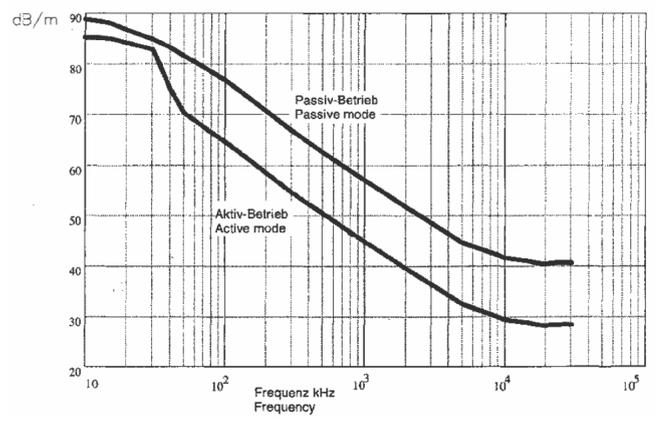


Figura 10. Factor k de la antena HE200 HF modos activo y pasivo.

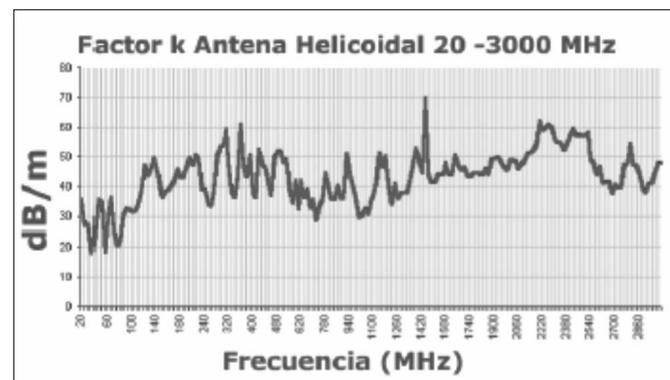


Figura 11. Factor k de la antena biconica SAS 542 en 1, 3 y 10 metros.

Se recorrió toda la banda desde 20MHz a 3GHz capturando la señal recibida. Los valores encontrados y la aplicación de

la ecuación de espacio libre (9) permitieron parametrizar el comportamiento de la ganancia respecto a la frecuencia y determinar el factor k correspondiente mediante la ecuación (7). Los resultados obtenidos para el factor k de la antena helicoidal se muestran en la Figura 13. El cálculo de este parámetro, permitió ajustar las mediciones realizadas con el equipo miniport receiver.

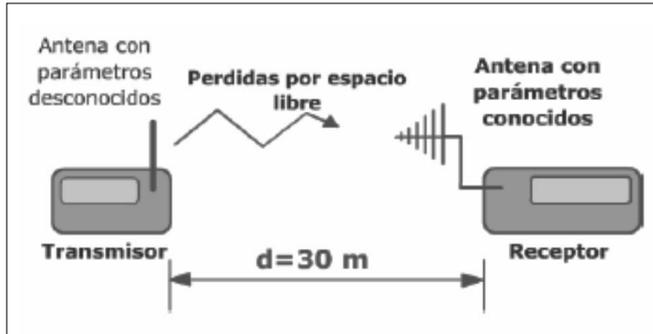


Figura 12. Montaje para la obtención de la ganancia de antena helicoidal

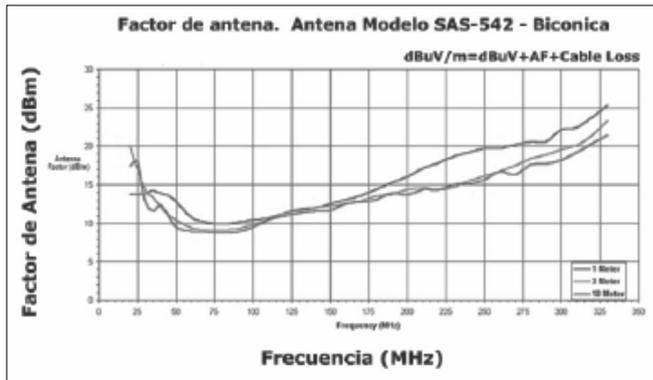


Figura 13. Factor k de la antena helicoidal

Georeferenciación

Este modulo permite obtener datos geográficos sobre latitud, longitud, altura, hora y orientación provenientes de un GPS Garmin EtrexVista; esta información es indispensable para georeferenciar medidas de intensidad de campo, generación de información sobre zona de servicio para estaciones radiales y seguimiento a señales ilegales. En este trabajo fue necesario realizar un estudio detallado de los protocolos y estándares utilizados por los dispositivos GPS, requeridos para el desarrollo del software. Se presenta a continuación la información acerca de la estructura del formato de datos NMEA que puede resultar de utilidad para crear otras aplicaciones que utilicen dispositivos GPS.

Comunicación serial con el GPS

Los datos se transmiten desde el GPS al PC vía RS232, a 4800 bps, 8 bits por dato, sin paridad y con un bit de parada utilizando el formato NMEA (National Marine Electronics Association); estos datos incluyen información PVT (posición, velocidad y tiempo); el formato NMEA se fragmenta en líneas de comandos llamados sentencias, que contienen

independientemente del orden, los datos necesarios para la georeferenciación. El estándar NMEA tiene dos letras como prefijo que identifican el tipo de equipo. Las sentencias de la marca Garmin se identifican como GP; cada sentencia comienza con el símbolo \$, tiene un máximo de 80 caracteres terminando con un fin de línea y retorno de carro; la información esta separada por comas y al final es enviado un dato de comprobación.

Sentencias NMEA

En la Tabla 5, se presenta una captura de datos obtenidos de un GPS Garmin a través del puerto serial, la trama de datos está compuesta por 12 sentencias con información típica que el EtrexVista (Garmin, 2000) genera cada 2 segundos y a partir de las cuales obtuvo la información necesaria diseñar la herramienta software.

Tabla 5. Datos capturados del GPS Garmin EtrexVista cada 2 segundos

```

$GPRMC,123519,A,4807.038,N,01131.000,E,022.4,084.4,230394
,003.1,W,*43
$GPRMB,A,,,,,,,,,A,A*0B
$GPGGA,200904,3907.3768,N,12102.4766,W,1,05,2.6,507.9,M,-
24.1,M,*7B
$GPGLL,3907.3768,N,12102.4766,W,200904,A,A*5E
$GPBOD,,,T,M,*47
$GPBWC,200904,,,,,T,M,,N,A*74
$GPVTG,311.9,T,296.6,M,0.0,N,0.0,K*4F
$GPXTE,A,A,,,N,A*51
$PGRME,8.4,M,12.0,M,15.0,M*25
$PGRMZ,1699,f*33
$PGRMM,WGS 84*06
$HCHDG,,,,,15.3,E*30
$GPRMC,200906,A,3907.3766,N,12102.4765,W,0.0,311.9,30110
1,15.3,E,A*32
    
```

Las cuatro sentencias de mayor relevancia para el desarrollo del módulo de georeferenciación son: \$GPRMC, \$GPGGA, \$PGRMM y \$HCHDG. Su interpretación se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Interpretación de algunas de las sentencias NMEA

Sentencia	Interpretación
\$GPRMC	Contiene la hora UTM (Proyección Universal Transverse Mercator) y el estado del GPS. Presente en la trama : \$GPRMC,123519,A,4807.038,N,01131.000,E,022.4,084.4,230306,003.1,W,*43
\$GPGGA:	Provee información de la posición en tres dimensiones y la exactitud de la medida. Presente en la trama : \$GPGGA,200904,3907.3768,N,12102.4766,W,1,05,2.6,507.9,M,-24.1,M,*7B,
\$PGRMM:	Indica cual es el datum de referencia utilizado. En la línea 11 de la tabla V, aparece la sentencia \$PGRMM, WGS 84*06, la cual indica que el datum utilizado es el WGS84.
\$HCHDG:	Corresponde a la información de la variación magnética. Este dato es importante para realizar una corrección del norte real. Presente en la trama: \$HCHDG,101.1,,,7.1,W*3C.

Campañas de medida

Se seleccionaron algunos sitios en la ciudad de Bucaramanga (Colombia) para establecer los niveles de exposición a público general y ocupacional para múltiples fuentes, empleando la herramienta EspecVIEW. La selección de los sitios se realizó teniendo en cuenta la proximidad a fuentes de radiación intencional. Se consideraron los servicios de Amplitud Modulada (AM), Frecuencia Modulada (FM) y telefonía móvil en las bandas donde se concentra la mayor cantidad de emisiones intencionales. Se seleccionaron tres sitios: Un conjunto habitacional del barrio Provenza, (ver la Figura 14) cerca a tres estaciones base de diversos operadores de telefonía móvil localizado en un área densamente poblada en el centro del área metropolitana de la ciudad de Bucaramanga (Conjunto Residencial). El otro sitio (Aeropuerto) corresponde a una zona muy cercana al aeropuerto Palonegro (ver la Figura 15), en el occidente de la ciudad, donde se encuentran algunos transmisores de FM, y un tercer sitio (Zona de transmisores) localizado en el extremo oriente de la ciudad (ver la Figura 16) donde están instalados transmisores de AM y telefonía móvil, en sus alrededores existen viviendas y restaurantes.

En la Figura 14 se puede apreciar la proximidad de una de las antenas de telefonía móvil con la edificación de 5 pisos. Se seleccionó este sitio, por ser uno de los lugares donde la comunidad presentaba reclamos ante el Ministerio de Comunicaciones, por existir tres estructuras de antenas de telefonía móvil, cercanas a las viviendas. En la Figura 15, se observan las estructuras de las antenas omnidireccionales empleadas por transmisores de potencia localizados en el aeropuerto Palonegro.



Figura 14. Antena de telefonía móvil próxima al conjunto habitacional.



Figura 15. Mediciones realizadas en el aeropuerto Palonegro.



Figura 16. Mediciones realizadas en la zona de transmisores.

Esta zona se consideró sensible por la proximidad a las instalaciones del aeropuerto y porque sus empleados se ven expuestos constantemente a las señales provenientes de estos transmisores. En la Figura 16, es evidente la alta densidad de antenas en la estructura, lo cual preocupa a la comunidad aledaña. La mayoría de antenas instaladas en este lugar corresponden a reflectores parabólicos, con una alta directividad, empleados en servicios de microondas, los cuales requieren línea de vista con los otros puntos para su funcionamiento. También en estas estructuras se encuentran instaladas antenas para transmisiones de Amplitud modulada. Los resultados de las campañas de medida, se presentan en la Tabla 7.

Resultados de la campaña de medida

Conjunto Residencial

De acuerdo a los resultados consignados en la Tabla 7, se puede concluir que para este sitio no se exceden los límites en ningún caso. El máximo nivel alcanzado corresponde a la banda de servicios comerciales de Amplitud modulada con un valor porcentual de 0,00749 % para público

general y de 0,0010687 % para exposición ocupacional teniendo en cuenta la norma K.52. En las bandas celulares, aunque las antenas están ubicadas muy cerca al sitio de la medida (50 m) los niveles alcanzados para público general fueron de 0,00001859 % y 0,0000039039 % para exposición ocupacional.

Tabla 7. Resultados de mediciones en la ciudad de Bucaramanga

Sitios de medida	Banda de Frecuencia	AM [MHZ]	FM [MHZ]	CELULAR 1 [MHZ]	CELULAR 2 [MHZ]
	Rango de Frecuencia	10KHz - 15,01	88 - 108	869 - 894	1950 - 1990
CONJUNTO RESIDENCIAL	Exposición Percentual Público General (%)	0,007490	0,000037	0,000019	0,000011
	Exposición Percentual Ocupacional (%)	0,0010687000	0,000039000	0,000039039	0,000022952
	Sobrepaso Público	0	0	0	0
	Sobrepaso Ocupacional	0	0	0	0
	Intensidad de Campo Eléctrico (dBuV/m)	117,37	129,82	136,2	132,77
AEROPUERTO	Exposición Percentual Público General (%)	0,285549	0,0000032	0,0001736	0,00009933
	Exposición Percentual Ocupacional (%)	0,040700000	0,000068300	0,000036800	0,000019600
	Sobrepaso Público	0	0	0	0
	Sobrepaso Ocupacional	0	0	0	0
	Intensidad de Campo Eléctrico (dBuV/m)	109,606	112,247	116,215	114,733
ZONA DE TRANSMISORES	Exposición Percentual Público General (%)	1,749964	0,000777	0,006408	0,000342394
	Exposición Percentual Ocupacional (%)	0,249500000	0,001630000	0,013460000	0,0001719000
	Sobrepaso Público	0	0	0	0
	Sobrepaso Ocupacional	0	0	0	0
	Intensidad de Campo Eléctrico (dBuV/m)	124,147	123,68	139,905	133,894

Aeropuerto

Para este sitio no se encontró ningún caso de sobrepaso público u ocupacional, que superara los límites de exposición. En el sitio del aeropuerto, se encontró que los niveles más altos siguen correspondiendo a los servicios de AM alcanzado un porcentaje de 0,285549 % para la exposición a público general.

Zona de transmisores

Para la zona de transmisores se evidencia un aumento de los niveles para la exposición de público general con un valor de 1,74964 % en la banda de AM y un aumento de los niveles en la banda de telefonía móvil respecto del aeropuerto alcanzando valores de 0,006408 % para la exposición a público general y 0,001346 % para la exposición ocupacional. El caso más extremo no alcanza el 2% del límite establecido por la el decreto 195 del Ministerio de Comunicaciones en exposición a público general y corresponde al servicio de AM en cercanía de los transmisores. Para los otros servicios los niveles alcanzados están muy por debajo de los límites siendo el valor porcentual más alto de 0,006408 % registrado en inmediaciones de la zona de transmisores.

Conclusiones

Fue posible comprobar mediante una campaña de medidas y la herramienta de análisis SpecView, que los niveles de exposición a radiaciones electromagnéticas obtenidas en tres lugares de la ciudad, consideradas sensibles, no superaron en ninguno de los casos los límites de exposición. Se consideraron además de las bandas de telefonía móvil, emisiones de amplitud modulada, frecuencia modulada y televisión que se encuentran instaladas hace varios años en esos lugares. En todos los casos los niveles obtenidos superaron los 100

dBuV/m, con un valor máximo de de 139 dBuV/m. Niveles que están muy por debajo de los límites de exposición establecidos por la norma K.52.

SpecView es una herramienta portátil, que emplea equipos de propiedad del Ministerio de Comunicaciones y que permite automatizar mediciones en la banda de 10 KHz a los 10 GHz y realizar análisis especializados, como la comprobación de los niveles de exposición a radiaciones

electromagnéticas de acuerdo a los recomendación K.52 adoptada por el Ministerio de Comunicaciones en Colombia mediante el decreto 195 del 2005.

Es necesario realizar mediciones en otros sitios, de manera que se pueda perfeccionar el protocolo de medición y ampliar las bases de datos con medidas que

permitan analizar casos de reclamos por parte de la comunidad e identificar sitios que pudieran exceder los límites de exposición.

Se requiere realizar estudios en ambientes cerrados donde la explosión de servicios de comunicación inalámbrica de corto alcance hace que los niveles de exposición permanente se hayan incrementado en los últimos años, debido a la aparición de tecnologías como Bluetooth y redes inalámbricas de área personal W-LAN, y donde van a operar dispositivos con nuevas tecnologías inalámbricas de área personal, como ZigBee y Ultra Wide Band.

Perspectivas

El futuro es completamente inalámbrico y entregara grandes beneficios a toda la humanidad, pero los niveles de radiación electromagnética van a aumentar con el tiempo y es necesario dar importancia a los estudios de los efectos biológicos de las señales radioeléctricas de manera que sea posible generar parámetros de diseño y regulaciones en materia de seguridad para la instalación y operación de los sistemas inalámbricos, en sitios como viviendas y lugares de trabajo, donde los niveles de exposición son prolongados.

El IEEE aprobó en Octubre de 2005 un nuevo estándar, el IEEE C95.1 "Standar for safety levels with respect to human exposure to radio frequency electromagnetic fields, 3 KHz to 300 GHz". Está basado en el estándar anterior IEEE C95.1-1991. Esta nueva versión presenta algunas diferencias con respecto a las disposiciones actuales de la ICNIRP para las bandas de telefonía móvil así como para dispositivos y sistemas inalámbricos actuales. Actualmente se trabaja en la integración de esta norma a la herramienta SpecView.

Bibliografía

A.h. systems, inc., Biconical Antenas., [en línea] California, Chatsworth, 2005. Disponible en Internet: URL: <http://www.AHSystems.com>.

Antenna research associates, inc., Technical manual electric field receiving antenna., Beltsville, Maryland, 1999.

Aravind, M. K., Parthasarathy, T., Rao, P. N. A. P., Pande, D.C., Low cost solution for emission measurement. Electromagnetic Interference and Compatibility., Proceedings of the International Conference on., 21-23 Feb, 2002, pp. 240 – 242.

Davide, F., Paolo, G., Renato, S., Roberto, V., Measurements and numerical evaluation of the electric field in the near-zone of radio base station antennas., Antennas and Propagation Society International Symposium, Digital Object Identifier 10.1109/APS.2001.960102, IEEE, Vol. 3, 8-13, July, 2001pp. 338 - 341.

EMC '03., 2003 IEEE International Symposium on., Vol. 2, 11-16 May, Digital Object Identifier: 10.1109/IC-SMC2.2003.1429004, 2003, pp. 717 - 719.

García, A. P., Ortega, H., Jaimes, A., Gallo, F., Prieto, M., Simulación y validación de los niveles de irradiación electromagnética en las inmediaciones de una radio base para la verificación de normas en condiciones andinas., Universidad del Valle, Colombia, 2004.

García, A. P., Ortega, H., Carreño, Y., Predicción de pérdidas por propagación por medio del modelo andino UIS., Universidad Industrial de Santander, Colombia, 2005.

Gardiol, F., Biological Effects of Portable Communication Equipment, Applied Electromagnetics and Communica-

tions., ICECom 2005, 18th International Conference, 12-14 Oct., 2005, pp. 1 – 6.

Garmin., Manual de usuario: Etrexvista., Estados Unidos, 2002.

Giuliani, L., Bedini, A., Giliberti, C., Borra, M., Environmental investigation on the electromagnetic field levels in the urban area of Rome (Italy)., D'Emilia, E.; Palomba, R. Electromagnetic Compatibility, 2003.

Hewlett Packard., Spectrum analysis: field strength measurement., Application note 150-10.

Lin, C. J., A new standar for Safety Levels with respect to human exposure to Radio-frequency radiation., Universidad de Illinois, Chicago, IEEE Antennas and propagation Magazine, Vol. 48, No. 1, Febrero 2006.

Ministerio de Comunicaciones., Decreto 195: límites de exposición de personas a campos electromagnéticos., Bogotá, 2005. Disponible en: URL:<http://www.mincomunicaciones.gov.co>

Rhode & Schwarz., Manual Miniport Receiver EB200., Alemania, 2000. Disponible en internet: URL:<http://www.rohde-schwarz.com>.

Rohner, Ch., Rhode & Schwarz., antenna basics., Alemania, 2003. Disponible en internet: URL:<http://www.rohde-schwarz.com>.

Salovarda, M., Malaric, K., Measurements of Electromagnetic Smog., Electrotechnical Conference, MELECON 2006, IEEE Mediterranean, Digital Object Identifier 10.1109/MELCON.2006.1653140, 16-19 May, 2006, pp. 470 – 473.

Unal, E., Gokcen, A., Kutlu, Y., Effective electromag-

novedades **Alfaomega Colombiana S.A.**



NEUMÁTICA E HIDRÁULICA

Antonio Creus Solé
408 págs ilustr.
Rústica 17 X 24 cm
ISBN 978-970-1-0903-6
Coedición: Alfaomega - Marcombo

En Este Libro de neumática e hidráulica se muestra La evolución continua de la industria en la obtención de nuevas materias, su mecanización y la obtención de un producto final elaborado.

Resumen del contenido:

Generalidades -Actuadores neumáticos -Actuadores hidráulicos Actuadores eléctricos y digitales -Motores neumáticos -Motores hidráulicos -Instalaciones -Apéndice -Glosario -Referencias -Índice de figuras

Adquiera nuestros textos en el punto de venta **Alfaomega Carrera 15 No 64a - 29** o en las principales librerías del país.

Afíliase a nuestro **CLUB DEL CONOCIMIENTO** a través de nuestra página web, y reciba descuentos en nuestro punto de venta, contenidos actualizados vía Internet, información de novedades, prioridad en productos promocionales y entregas a domicilio sin costo adicional.

Visite nuestra página Web:
www.alfaomega.com.co