

SISTEMA AUTOMATIZADO DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE RF

A. Maya, D. Villota, J. C. García, G. Castellanos

Universidad Nacional Sede Manizales
Campus La Nubia, Vía Aeropuerto
jcgarcia@nevado.manizales.unal.edu.co

ABSTRACT

- In this work, the procedure for the implementation of a protocol for measurements of parameters in RF is presented. Those measurements of propagation of electromagnetic signals in the bands of HF, VHF and UHF are made. In addition, the equipment used for such effect and the automated system of measurement has been designed and developed. The objective of this work is in order to provide a guide which allows to obtain reliable results in the academic and industrial fields, making use of available resources of University.

RESUMEN

- En este trabajo se presenta el procedimiento y la implementación de un protocolo para mediciones de parámetros en RF y propagación de señales electromagnéticas en las bandas de HF, VHF y UHF, además de los equipos utilizados para tal efecto y el sistema automatizado de medición. El objetivo de este trabajo es el de proporcionar una guía que permita obtener resultados confiables tanto en el campo académico como en el industrial, haciendo uso de los recursos existentes en la universidad.

SISTEMA AUTOMATIZADO DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE RF

A. Maya, D. Villota, J. C. García, G. Castellanos
Universidad Nacional Sede Manizales
Campus La Nubia, Vía Aeropuerto

Resumen.- En este trabajo se presenta el procedimiento y la implementación de un protocolo para mediciones de parámetros en RF y propagación de señales electromagnéticas en las bandas de HF, VHF y UHF, además de los equipos utilizados para tal efecto y el sistema automatizado de medición.

El objetivo de este trabajo es el de proporcionar una guía que permita obtener resultados confiables tanto en el campo académico como en el industrial, haciendo uso de los recursos existentes en la universidad.

Abstract. - In this work, the procedure for the implementation of a protocol for measurements of parameters in RF is presented. Those measurements of propagation of electromagnetic signals in the bands of HF, VHF and UHF are made. In addition, the equipment used for such effect and the automated system of measurement has been designed and developed. The objective of this work is in order to provide a guide which allows to obtain reliable results in the academic and industrial fields, making use of available resources of University.

I. Introducción

Los sistemas de radiocomunicaciones se han desarrollado vertiginosamente en los últimos años, lo que ha generado una mayor preocupación por conocer de mejor forma los fenómenos de propagación de señales electromagnéticas tanto en espacios libres como confinados. Esto ha motivado que los temas de propagación electromagnética que por espacio de un buen tiempo no habían sido de interés para el mundo académico y laboral, estén siendo nuevamente considerados con interés en el plan curricular de formación de los alumnos de Ingeniería Electrónica.

Este trabajo tiene por objetivo implementar un sistema que permita de forma simple la realización de pruebas y mediciones sobre propagación electromagnética, en particular sobre la atenuación de las señales electromagnéticas en un área determinada y la evaluación de modelos de propagación para la predicción de pérdidas, además establecer un procedimiento adecuado para la correcta elaboración de dichas pruebas.

El objetivo del sistema automatizado es el estudio exhaustivo de mecanismos de propagación y en particular en condiciones de topografías quebradas, como las que se observan en la zona andina. El sistema está orientado a los rangos de frecuencia de HF, VHF y UHF. El sistema además, permite el estudio de los principales parámetros de los sistemas de radiación.

II. Metodología de Medición en RF

La motivación que se pueda tener para realizar un conjunto de medidas de propagación tiene por objetivo poder garantizar una cobertura de servicio inalámbrico, el desarrollar herramientas que ayuden en la toma de decisiones para cubrir un área de servicio con la menor inversión posible, garantizando un mínimo determinado nivel de calidad. Interesa poder determinar la mejor ubicación de los sistemas de radiación, así como establecer el nivel de atenuación de la señal debido a los diferentes mecanismos de propagación. Los siguientes son los aspectos considerados básicos en la metodología de medición de RF [1]:

- *Determinar el fenómeno a investigar con claridad:* Se desea determinar las condiciones de propagación en un área determinada, que en el caso particular corresponde al campus universitario. Relativo a estas mediciones, interesa medir el efecto de obstáculos ligeros, fijos o móviles (por ejemplo, el efecto de personas moviéndose en el campus).
- *Determinar el lugar en donde se efectuarán las mediciones:* Por cuanto el programa de Ingeniería Electrónica está ubicado en el campus de la Nubia (Ver Fig. 3), se consideró la disposición del laboratorio en el mismo.
- *Determinar la técnica a ser utilizada en las mediciones:* Básicamente se puede operar de dos formas, realizando mediciones en banda angosta o en banda ancha, la técnica más sencilla de realizar desde un punto de vista del equipamiento involucrado es la de banda angosta u onda continua, por lo cual fue la opción elegida. Esta técnica requiere de un generador de señales de RF [2] en el rango de frecuencias en el cual se realizarán las mediciones. La desventaja de esta técnica es que no permite aislar el haz directo, si existe, de las múltiples señales producto de la reflexión o difracción en paredes u obstáculos ligeros. Las estadísticas que se obtienen de este tipo de mediciones son: el perfil de atenuación respecto de la distancia y el exponente de atenuación.
- *Determinar el tipo de antena a ser utilizado:* El tipo de antena a ser utilizada no sólo depende del ancho de banda del método de medición, sino también de la capacidad de transmitir con un diagrama de radiación específico. Por ejemplo, en el caso de medir atenuación por propagación en espacios abiertos, conviene utilizar antenas omnidireccionales. Para la selección del sistema de radiación, se debe tener en cuenta el rango de trabajo y las ganancias [3].

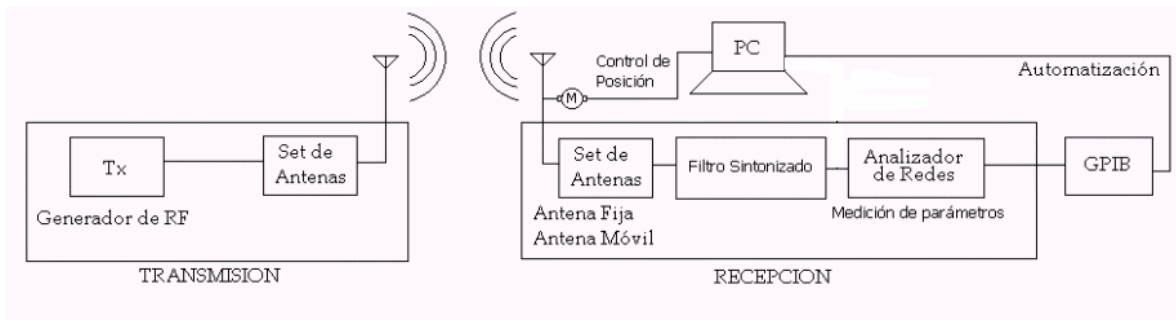


Figura 1. Diagrama de Bloques del Sistema

- *Establecer las características y parámetros de las antenas:* Los parámetros de interés son adaptación de impedancias, ganancias y alturas. Una forma de medir la adaptación de impedancias es mediante la relación de onda estacionaria (SWR). Otro parámetro importante es obtener el diagrama de radiación de las antenas en condiciones cercanas a las de espacio libre, esta medición debe realizarse en un espacio abierto. Para evitar que el campo eléctrico sea afectado por el sistema de alimentación es recomendable conectar la antena con un cable coaxial semi-rígido dispuesto ortogonalmente a la orientación de este campo y de baja atenuación. La distancia y altura que separa a las antenas entre sí, deben ser estudiadas para poder aplicar los modelos de campo lejano [3].

- *Modelo de propagación en espacio libre:* Para demostrar el efecto de la distancia, basta con recurrir a la ecuación de Friis (1). En efecto, la ecuación de Friis para el haz directo tiene la forma:

$$P_r = P_t \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2}, \quad (1)$$

Donde P_r [W] es la potencia recibida, P_t [W] es la potencia transmitida, G_r es la ganancia de la antena receptora, G_t es la ganancia de la antena transmisora, λ [mts] es la longitud de onda y d [mts] es la distancia entre transmisor y receptor [4].

- *Consideraciones generales de funcionamiento:* Al realizar las mediciones propiamente, debe asegurarse que:
 - o Todos los elementos están funcionando apropiadamente mediante una medición con condiciones de propagación cercanas a las de espacio libre en el lugar, se verifican los resultados obtenidos por la ecuación de Friis con un margen de error de a lo más 3 dB.
 - o Se toman suficientes medidas como para asegurar que se pueden obtener promedios estadísticos significativos.
 - o Al final de las mediciones se realiza un nuevo chequeo de que las mediciones en un punto específico corresponden a la ecuación de Friis.
- *Presentación de Resultados:* En la mayoría de los casos, sin embargo se desea tener una medida de la atenuación de gran escala, debido a las múltiples reflexiones no se cumple exactamente la ecuación de Friis. En cambio, a menudo se trata de obtener el coeficiente n de la ecuación 2:

$$P_r = P_t \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d_0)^2} \left(\frac{d_0}{d}\right)^n, \quad (2)$$

En la ecuación 2, d_0 es una distancia de referencia donde aún se cumple la ecuación de Friis en el ambiente de medición. La distancia d es un parámetro y el exponente n es el que se desea determinar. El hecho de considerar una distancia d_0 de referencia tiene una ventaja adicional, hace que el conjunto de mediciones sea independiente de la característica de las antenas. El exponente se determina como la pendiente de la recta que mejor se aproxima a la nube de todos los puntos de acuerdo al criterio del error cuadrático mínimo, para obtenerlos se plotean los puntos medidos sobre un grafico log-normal, así:

$$P_r[\text{dBm}] = P_r(d_0)[\text{dBm}] + n(\log d - \log d_0), \quad (3)$$

Esta expresión es la que determina la atenuación experimentada por la señal en ausencia de obstrucciones severas.

III. Sistema Automatizado de Medición en RF

En la figura 1 se muestra el diagrama de bloques del sistema de medición automatizado de parámetros de radio frecuencia. El corazón del sistema cuenta con un Analizador de Redes HEWLETT PACKARD 8712C [5] que opera en el rango de frecuencia de 300kHz a 1300 MHz el cual es suficiente para la realización de las mediciones que se pretende hacer. El analizador se usa como dispositivo receptor y medidor de parámetros tales como impedancia (Z), relación de onda estacionaria (SWR) y la potencia de la señal de prueba. El generador de RF HEWLETT PACKARD 8647A [2] se usa para crear las señales de prueba. Dentro de las opciones que ofrece el equipo están el tipo y el índice de modulación, la selección de frecuencia de portadora y la potencia de salida. Las pruebas a realizar se efectuarán con modulación FM, con frecuencias de portadora ubicadas en el rango de VHF y UHF y con una potencia de salida de 10dBm.

Las antenas de recepción y transmisión normalmente usadas son FMS omnidireccionales y Yagi logarítmicas montadas a una altura de 2 m. La selección de las antenas depende del tipo de prueba que se desee realizar y básicamente del rango en que se ubique la frecuencia que tendrá la señal de prueba, VHF o UHF.

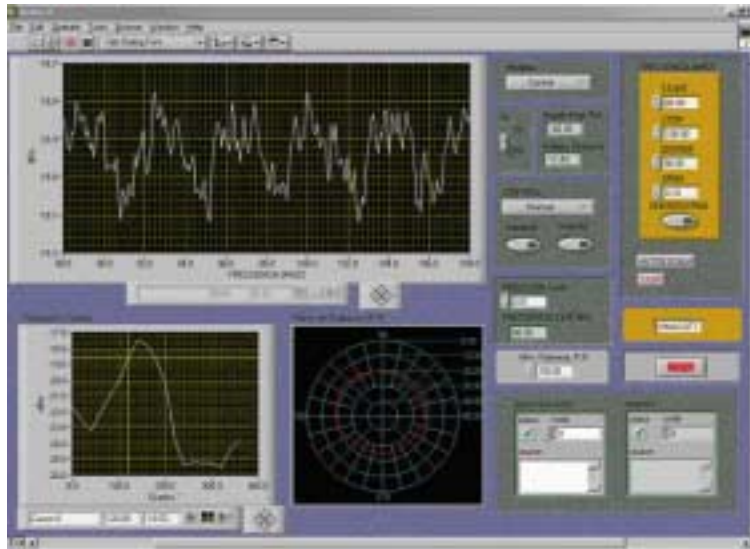


Figura 2. Interfaz de Usuario del Sistema

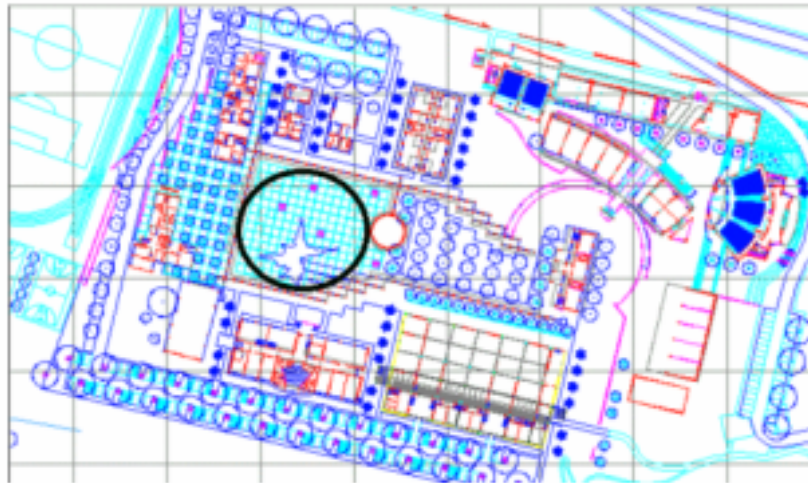


Figura 3. Plano del Campus “La Nubia” U. Nacional – Sede Manizales. Encerrado en el círculo grueso se encuentra la zona de medición de parámetros de RF.

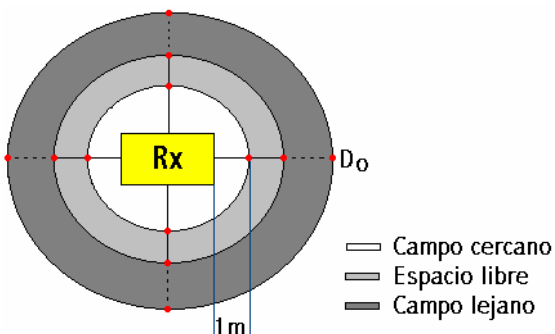


Figura 4. Zona de medición de parámetros de RF.

La etapa de recepción es automatizada en PC por medio de la interfaz GPIB. El software implementado para tales efectos se desarrolló en LabView® e integra el manejo remoto del equipo de medición, el control de posición de la antena de recepción en el punto de mayor nivel de potencia y la visualización de mediciones y resultados [6]- [7].

Para el manejo remoto del equipo es necesario seleccionar los parámetros de configuración tales como frecuencias de inicio

y parada y la medición a realizar. Mientras, para el control de posición de la antena se hace uso del puerto paralelo del PC tanto para alimentación como para las señales de control. Aquí se implementó un circuito de protección y adecuación de las señales del puerto, el cual es básicamente un inversor de giro y un amplificador. El control se puede realizar de modo manual y automático. En el segundo caso, se dispone de resoluciones de 5°, 10°, 15° y 20°, dependiendo de la calidad de medición que se desee.

En el sistema también se incluyen la estimación del patrón de radiación de la antena, la medición del coeficiente de reflexión Γ y el perfil de atenuación del sitio de medición con base a las mediciones de potencia realizadas y con base a los modelos de propagación que se aplican (Ver Fig. 2).

IV. Mediciones y Resultados

Determinar la técnica a ser utilizada en las mediciones. El procedimiento efectuado para la realización de los ensayos fue ubicar el receptor en un punto fijo y desplazar el transmisor a puntos determinados como se muestra en las figuras 3 y 4.

Tabla 1. Zonas de Propagación

Frecuencia portadora (MHz)	Longitud de onda λ (m)	Longitud Antena Tx (m)	Altura Tx (m)	Altura Rx (m)	Campo cercano (m)	Espacio Libre (m)	Campo Lejano (m)
108	2.77	1 (FMS)	2.5	2.1	0.72	0.72 – 7.58	> 7.58
108	2.77	1.3 (LP4)	2.5	2.1	1.22	1.22 – 7.58	> 7.58
300	1	1.3 (LP4)	2.5	2.1	3.38	3.8 – 21	> 21

Tabla 2. Tipos de Antenas

Ensayo	Antena	Frecuencia de prueba (MHz)	Tipo de Antena	Ganancia (dB)	Transmisión/Recepción	Altura (m)
1	FMS	108 (FM)	Omnidireccional	3	Tx	2.5
	LP4 Log.	108 (VHF)	Direccional	2-4	Rx	2.1
2	LP4 Log.	108 (VHF)	Direccional	2-4	Tx	2.5
	LP4 Log.	108 (VHF)	Direccional	2-4	Rx	2.1
3	LP4 Log.	300 (VHF)	Direccional	2-4	Tx	2.5
	LP4 Log.	300 (VHF)	Direccional	2-4	Rx	2.1

Los círculos concéntricos empiezan a un metro del receptor, con distanciamientos de igual longitud (1m). En los límites de cada círculo y cada 90° se registran los valores de potencia medidos para luego ser promediados. El radio total del sector determinado es la distancia límite d_0 en la cual todavía se cumple la ecuación de Friis (1). Estos datos empíricos son comparados con los calculados aplicando la ecuación de Friis con los cuales se obtiene la gráfica del perfil de atenuación.

Determinar el tipo de antena a ser utilizado y establecer las características y parámetros de las antenas: El listado de las antenas empleadas se muestra en la tabla 2.

Los parámetros estimados con el sistema automatizado para la antena receptora (Yagi LP4) son (Ver Tabla 2):

- Impedancia: 50
- SWR: 1.543 Ω
- Coeficiente de reflexión: 0.213
- Patrón de Radiación (Ver figura 5).

Presentación y análisis de resultados. A continuación se presentan las tablas y las gráficas del perfil de atenuación para cada uno de los ensayos (En las figuras 7 y 8, la línea verde corresponde al perfil teórico y la línea negra al empírico).

Cálculo del coeficiente de atenuación. Para el cálculo del coeficiente de atenuación, para cada una de los ensayos, se reemplazaron los valores de potencia medida y distancia de las tablas 3 y 4 y el valor de la distancia de referencia (d_0) de la tabla 6 en las ecuaciones (4, 5 y 6).

La ecuación (3) es de la forma:

$$Y = n(x_0 - X) + y_0, \quad (4)$$

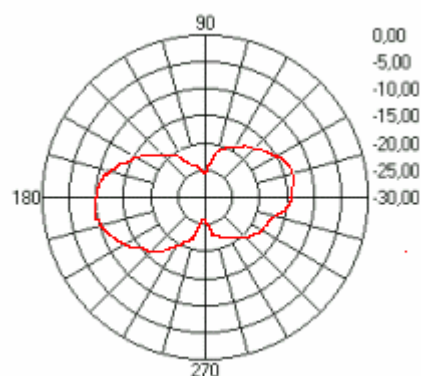


Figura 5. Patrón de Radiación: Antena LP4

siendo $Y = P_r$, $x_0 = 10 \log d_0$, $X = 10 \log d$, $y_0 = Pr(d_0)$. donde Y y X son vectores con tantos elementos como valores de potencia medida y distancia hayan. Reordenando los términos de la expresión (4):

$$(Y_i - y_0) = n(x_0 - X_i), \quad (5)$$

Para m valores de potencia medida y distancia se obtiene:

$$\begin{bmatrix} Y_1 - y_0 \\ Y_2 - y_0 \\ \vdots \\ Y_m - y_0 \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} x_0 - X_1 \\ x_0 - X_2 \\ \vdots \\ x_0 - X_m \end{bmatrix}, \quad (6)$$

La expresión (6) es de la forma: $B = nA$ y por lo tanto

$n = A^{-1} \cdot B$. Para encontrar el valor de n solo es necesario evaluar la anterior expresión con los valores específicos para cada ensayo (Ver Tabla 5).

El criterio para determinar si la ecuación de Friis se cumple en un punto específico obedece a dos aspectos importantes, el primero, cuando el margen de error entre la potencia de la señal medida y la potencia calculada difiere en más de 4dB y el segundo, cuando el receptor no es capaz de discriminar la señal que se está transmitiendo de otras señales presentes en el medio.

Tabla 3. Datos Ensayo 1

Distancia	P. Medida (dBm)	P. Calculada (dBm)
1	-5,856	1,890
2	-8,040	-4,131
3	-12,300	-7,653
4	-13,500	-10,151
5	-13,863	-12,090
6	-17,600	-13,673
7	-18,221	-15,012
8	-17,458	-16,172
9	-20,918	-17,195
10	-21,415	-18,110

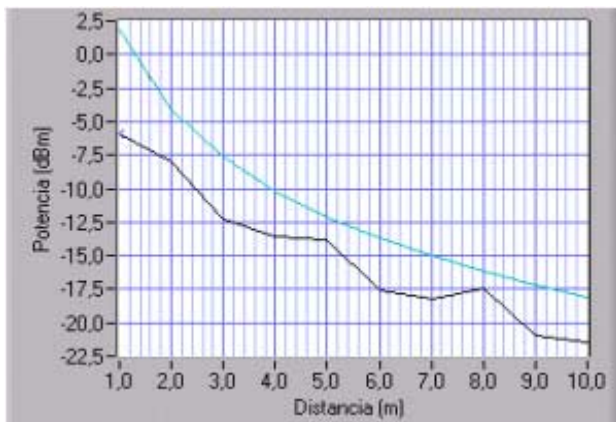


Figura 7. Perfil de Atenuación (Ensayo 1)

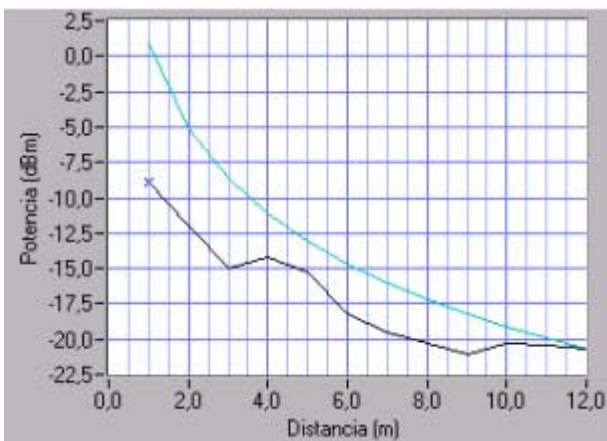


Figura 8. Perfil de Atenuación (Ensayo 2)

Tabla 4. Datos Ensayo 3

Distancia	P. Medida (dBm)	P. Calculada (dBm)
1	-9,490	-7,984
2	-11,501	-14,005
3	-15,726	-17,527
4	-17,521	-20,025
5	-19,470	-21,964
6	-21,746	-23,547
7	-23,689	-24,886
8	-25,047	-26,046
9	-27,961	-27,069
10	-29,490	-27,984
11	-28,219	-28,812
12	-29,866	-29,568
13	-28,363	-30,263
14	-28,710	-30,907
15	-29,606	-31,506

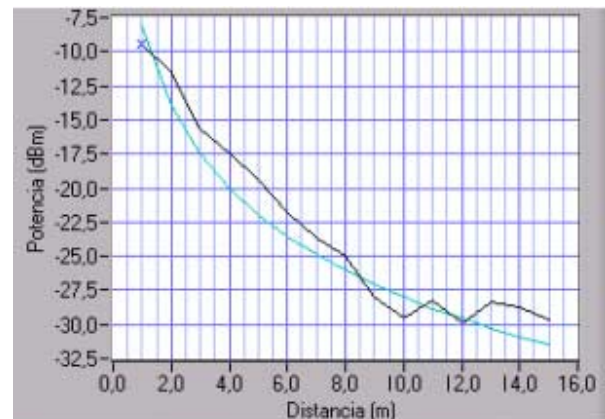


Figura 9. Perfil de Atenuación (Ensayo 3)

Tabla 5. Análisis de Datos

Ensayo	Promedio Pot. Calculada (dBm)	Promedio Pot. Medida (dBm)	
1	-11.22	-14.91	
2	-13.57	-15.67	
3	-23.09	-24.13	
Ensayo	Margen de error (dB)	d_0 (m)	Coef. de Atenuación n
1	3.68	10	1.5065
2	2.09	12	0.9009
3	1.05	10	1.7487

Con base en las tablas y gráficas obtenidas se puede observar lo siguiente:

- En el desempeño del enlace juega un papel muy importante el tipo de antenas utilizadas. Por ejemplo, en el primer ensayo en el que se utilizaron antenas diferentes para transmisión y recepción, se obtuvo un margen de error de 3.68dB y una distancia d_0 de 10m, mientras que en el segundo ensayo, realizado a la misma frecuencia con antenas iguales para transmisión y recepción, se obtuvo un margen de error de 2.09dB y una distancia d_0 de 12m lo que significa que se puede predecir el comportamiento de la señal en un rango más amplio y con mayor precisión.
- Los datos medidos en la zona de espacio libre se aproximan mucho a los datos calculados con la ecuación de Friis (5), mientras que en la zona de campo cercano difieren notablemente, especialmente en los dos primeros ensayos que fueron efectuados con una frecuencia de 108MHz.
- En los dos primeros ensayos, la ecuación de Friis es aplicable hasta cercanías del campo lejano (10 y 12m respectivamente); en el tercer ensayo se puede notar que a partir de la distancia d_0 (10m) el receptor no identifica la señal transmitida por lo tanto se considera que la ecuación de Friis ya no se cumple.
- Una mayor altura en las antenas garantiza menor reflexión con la tierra y una zona de espacio libre más amplia, por lo cual se realizaron los ensayos a una altura mínima de 2m (Ver ecuación 3).

V. Conclusiones

Se ha implementado un sistema que permite realizar, de forma simple, ensayos y mediciones sobre propagación electromagnética, en particular, la atenuación de señales electromagnéticas en un área determinada y la evaluación de modelos de propagación para la predicción de pérdidas. Además de establecer un procedimiento para la correcta elaboración de dichos ensayos.

El sistema explota de manera útil los equipos existentes en el laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, y facilita su manejo a través de la interfaz de usuario. Éste se convierte en una buena alternativa para la realización de prácticas y pruebas concernientes a la medición de parámetros comunes en los enlaces de RF, como potencia, SWR, Impedancia, Parámetros S, entre otros, puesto que la interfaz de usuario integra un amplio número de opciones que permiten optimizar la medición, además de realizar un control de posición en el punto de mejor recepción de potencia.

La calidad de un sitio de pruebas se determina por la exactitud con la cual se requieren las mediciones de emisión. Las incertidumbres permitidas son grandes, reflejando la exactitud de los receptores disponibles y la incertidumbre de 1 dB, generalmente especificada como rango de guarda para las antenas. Por esto, un valor de incertidumbre debido al sitio de medición mismo alrededor de 1 dB se considera

aceptable. Todos estos factores componen la incertidumbre en la medición de la atenuación del sitio. El criterio para una medición válida es que los valores de atenuación calculados concuerden con el valor medido en 4 dB.

De acuerdo a lo anterior, el *Campus La Nubia* de la Universidad Nacional no se puede considerar como un sitio ideal de referencia para establecer un laboratorio de mediciones de parámetros de RF, puesto que no se cuenta con los requerimientos básicos recomendados. Se comprobó que, por estar en la zona cercana al Aeropuerto, se generan interferencias importantes que afectan el desempeño de cualquier radioenlace. Se requieren investigaciones más exhaustivas y la aplicación de estándares para la implantación de un laboratorio de este tipo.

VI. Referencias

- [1] R. Feick, W. Grote, H. Hristov, “*Criterios y procedimientos para mediciones de propagación electromagnética*”, www.elo.utfsm.cl.
- [2] *Operation and Service Guide, HP 8647A Signal Generator*. Hewlett-Packard Company. 1994 USA.
- [3] TOMASI Wayne, *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Prentice Hall Hispanoamérica. 1996 México.
- [4] T. Rappaport, “*Wireless Communications*”, Prentice-Hall, New York, 1996.
- [5] *Users’s Guide, HP 8712C y HP8714C RF Network Analyzers*. Hewlett-Packard Company. 1997 USA.
- [6] LÁZARO Antonio Manuel, *LabView Programación gráfica para el control de instrumentación*. PARANINFO. 1997 España.
- [7] *Programmer’s Guide, HP 8711C,12C,13C,14C RF Network Analyzers*. Hewlett-Packard Company. 1997 USA.

VII. Autores

Julio César Garcia Alvarez, es Magister en Ingeniería Electrónica y de Computadores de la Universidad de los Andes (2000). Es Ingeniero electrónico de la Universidad Nacional de Colombia (1998). Es actualmente Instructor Asociado en la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, en los cuales se desempeña como docente y director en las áreas de Telecomunicaciones y Telemática. Es director del proyecto “PROPELA (Applied Electromagnetic Propagation)”. e-mail: wg_julces@hotmail.com

Adrián Maya, Ingeniero Electrónico de la Universidad Nacional. Sus áreas de interés son las comunicaciones y la telemática.
e-mail:

Daniel Villota, es Ingeniero Electrónico de la Universidad Nacional. Sus áreas de interés son las comunicaciones y la telemática.
e-mail: