

Oviedo / Auditorio Príncipe Felipe  
12, 13, 14 y 15 de septiembre 2006

# ACTAS DEL SIMPOSIUM



Simposium Nacional  
de la Unión Científica  
Internacional de Radio

**URSI2006**



Edita: Área de Teoría de la Señal y Comunicaciones  
Universidad de Oviedo  
Edificio Polivalente de Viesques, módulo 8  
Campus Universitario, 33203 - Gijón

Fotomecánica e Impresión: Gráficas Rigel, S.A.  
D.L. AS-4.015-06  
ISBN-13: 978-84-611-2488-6  
ISBN-10: 84-611-2488-X

<b>Sesión MOA.I, día 14, 11.30h, sala 03.....</b>	<b>1047</b>
ANÁLISIS DE MEZCLADORES DISTRIBUIDOS CON LÍNEAS DE TRANSMISIÓN COMPUESTAS 'DIESTRAS/ZURDAS' .....	1049
SENSOR DE POTENCIA DE RF DE ULTRA-BAJO COSTE BASADO EN DIODO SCHOTTKY .....	1055
SISTEMA RECEPTOR CON MEZCLADOR SUBARMÓNICO Y ANTENA INTEGRADA .....	1061
DETECCIÓN DE TEMPERATURA EN RADIOFRECUENCIA APROVECHANDO LA CARACTERÍSTICA NO LINEAL DE UNA UNIÓN SCHOTTKY.....	1067
HERRAMIENTAS DE OPTIMIZACIÓN NO LINEAL PARA EL DISEÑO DE MEZCLADORES AUTOOSCILANTES ARMÓNICOS DE MICROONDAS CON ALTA GANANCIA DE CONVERSIÓN.....	1073
DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN DESFASADOR VARIABLE DE RANGO AMPLIO BASADO EN UN MEZCLADOR AUTOOSCILANTE ARMÓNICO SINCRONIZADO.....	1079
<b>Sesión EM.II, día 14, 11.30h, sala 04.....</b>	<b>1085</b>
CARACTERIZACIÓN MODAL EFICIENTE DE GUÍAS DE ONDA BIANISÓTROPAS .....	1087
MODELADO DE MEDIOS QUIRALES EN SIMULADORES FDTD MEDIANTE LA TÉCNICA DE LA TRANSFORMACIÓN DE MOEBIUS .....	1093
COMPORTAMIENTO LEFT-HANDED EN UNA LÍNEA MICROSTRIP CARGADA CON SSRR Y EBG .....	1099
ANÁLISIS TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE MEDIOS QUIRALES ISÓTROPAS EN GUÍA RECTANGULAR .....	1105
EXTENSIÓN DEL MÉTODO DE MODOS ACOPLADOS PARA EL ESTUDIO DE MEDIOS QUIRALES ILIMITADOS.....	1111
<b>Sesión EDU.II, día 14, 11.30h, sala 05.....</b>	<b>1117</b>
MODULADOR DE FM CONTROLADO MEDIANTE PIC.....	1119
HERRAMIENTA EDUCATIVA PARA EL ESTUDIO DE UN SISTEMA DE ANTENAS INTELIGENTES.....	1125
UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA MICROWAVE OFFICE DE AWR PARA EL APRENDIZAJE DE LOS ERRORES SISTEMÁTICOS EN UN ANALIZADOR DE REDES .....	1131
HERRAMIENTAS DOCENTES PARA EL ESTUDIO DE PROPAGACIÓN DE ONDAS RADIOELÉCTRICAS .....	1137
SOFTWARE DIDÁCTICO DE SIMULACIÓN DE UN ANALIZADOR ESCALAR DE REDES .....	1143
FORMULACIÓN DE LA MATRIZ DE DISPERSIÓN EN EL MÉTODO TLM USANDO MATHEMATICA .....	1149
<b>Sesión CMS.IV, día 14, 11.30h, sala 06.....</b>	<b>1155</b>
DIMENSIONADO DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES ENTRE VEHÍCULOS PARA APLICACIONES DE SEGURIDAD VIAL .....	1157
ALGORITMO COORDINADO DE ASIGNACIÓN DE CANAL PARA SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES EN ENTORNOS DE TRÁFICO HETEROGÉNEOS.....	1163
MODELADO PARA LA GESTIÓN DE RECURSOS DE COMPUTACIÓN EN SISTEMAS SDR.....	1169
EMULACIÓN DE REDES AD HOC .....	1175
ROUTING AD HOC BASADO EN LA ESTABILIDAD DE LAS RUTAS.....	1181
POSICIONAMIENTO POR SATÉLITE MEJORADO EN ENTORNOS URBANOS MEDIANTE LOCALIZACIÓN CELULAR .....	1187
<b>Sesión ANT.III, día 15, 9.00h, sala 01.....</b>	<b>1195</b>
ANTENA TRIÉDRICA: RESULTADOS EXPERIMENTALES .....	1197
ANTENAS METÁLICAS BASADAS EN TRANSMISIÓN EXTRAORDINARIA.....	1203
ANTENAS LEAKY-WAVE ACTIVAS BASADAS EN METAMATERIALES COMPOSITE RIGHT/LEFT-HANDED .....	1209
ANTENA SINTONIZABLE DE DOBLE BANDA PARA COMUNICACIONES INALÁMBRICAS.....	1215
APLICACIÓN DE ANTENAS ACTIVAS A LA MINIATURIZACIÓN DE ANTENAS CONVENCIONALES DE RADIOENLACES .....	1221
DIPOLO PLANO DE BANDA ANCHA CON BALANCEADOR DE CORRIENTE INTEGRADO .....	1227
NUEVAS TÉCNICAS DE AJUSTE DE FASE EN REFLECTARRAYS .....	1233
ANÁLISIS EFICIENTE DE UN REFLECTARRAY MEDIANTE EL AIM.....	1239
<b>Sesión BIO.I, día 15, 9.00h, sala 02.....</b>	<b>1245</b>
REPERCUSIÓN DEL FILTRADO PASO BAJO EN MÉTODOS ICA Y SU APLICACIÓN A LA ELECTROCARDIOGRAFÍA .....	1247
TÉCNICAS DE PROCESADO APLICADAS AL PROCESO DE SEGMENTACIÓN MLC .....	1253

# HERRAMIENTAS DOCENTES PARA EL ESTUDIO DE PROPAGACIÓN DE ONDAS RADIOELÉCTRICAS

Yajaira Salgado Lorenzo, Rita García Umpierrez, Francisco Cabrera Almeida

Departamento de Señales y Comunicaciones

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

e-mail: [fcabrera@dsc.ulpgc.es](mailto:fcabrera@dsc.ulpgc.es)

**Abstract-** This article describes the design of a pair of educational software to predict the electric field in links point to point (EREPP) and the coverage in links point-multipoint (PROEM). These educational software have two types of propagation models: deterministic and empirical. Empirical propagation models are those based on observations and measurements alone. Okomura-Hata. Rec. UIT-P. 1546. Cost 231. These models predict mean path loss as a function of various parameters, for example distance, frequency, antenna height, etc. Deterministic models have an analytical solution. Ray Tracing. Diffracted and reflected waves. These educational programs are not guided to the final result. Their main objective is to give the student an useful tool to understand the theoretical concepts of the used models.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existen numerosas herramientas para la gestión de redes y el cálculo de parámetros radioeléctricos. Algunos de ellos tienen fines comerciales y otros están especializados en ayuda a la docencia.

Los programas comerciales hacen un estudio exhaustivo y completo. A su vez son muy directos, es decir los pasos intermedios no se especifican, sólo se muestra el resultado que ha dado lugar. Se caracterizan porque su principal objetivo es predecir la viabilidad de un enlace, ocultando los resultados intermedios que pueden carecer de interés en el ámbito profesional pero que pueden tener un interés especial para los entornos académicos.

Los programas con fines didácticos están orientados al alumno y no tanto al producto final. Sin embargo, el estudio realizado no es menos riguroso. Dichos programas sirven para poner en práctica los conocimientos del alumno mediante la comparación de los cálculos elaborados por él, con los cálculos de la aplicación. Este tipo de programas aporta, además del resultado final, los parámetros que han tenido que ver en su cálculo. De este modo, se facilita al alumno el camino que debe seguir para llegar a la solución correcta.

Las herramientas docentes desarrolladas y que se presentan en este artículo tienen dos vertientes. La primera herramienta calcula el campo o potencia recibida para

enlaces punto a punto a partir de los modelos determinísticos de reflexión y difracción [1][2]. Además, se da la posibilidad de obtener representaciones topográficas de una zona, cálculos de distancias mínimas, rugosidad del terreno.

La segunda herramienta está orientada al cálculo de coberturas, válido para planificación de coberturas de GSM, FM, PMR, Radio Digital, TDT, etc. En esta parte de la aplicación se ha optado por seguir los modelos de la Recomendación P.1546 de la UIT-R, Okomura-Hata

Ambas herramientas se encuentran ubicadas en asignaturas de propagación dentro de la titulación de Ingeniero de Telecomunicación. Con estas herramientas docentes desarrolladas dentro del Grupo de Ingeniería de Comunicaciones, se pretende por un lado que el alumno comprenda algunos aspectos vistos en la teoría y por otro, el tener un conjunto de librerías para futuras aplicaciones de mayor relevancia.

## II. MODELOS DE PROPAGACIÓN

### A. Modelos de propagación punto a punto.

Existen una amplia gama de modelos dedicados a la predicción de campo en los enlaces punto a punto. En [3], se muestra mediante un cuadro de información los diversos métodos aplicables en función de la frecuencia, tal y como se muestra en la figura 1.

La recomendación P.368 es útil para caracterizar la propagación por onda de superficie que se da desde las bandas de VLF hasta parte de la banda de HF. Las recomendaciones P.533 y P.534 nos sirven para las comunicaciones por onda ionosférica. La recomendación P.530, predice el nivel de campo para los radioenlaces del servicio fijo con visibilidad. En este tipo de enlaces, la onda directa es la predominante, aunque también debe considerarse las posibles ondas difractadas (P.526) y reflejadas (P.527).

Las ondas difractadas provocan una atenuación en exceso en el receptor si dichas ondas llegan en contrafase

con respecto a la onda directa. Para determinar dicha atenuación, se aplica el método propuesto por la recomendación P.526, empleando para ello el polígono funicular entre los obstáculos dominantes dentro del vano.

Para caracterizar las posibles ondas reflejadas debido a reflexión especular, es necesario aplicar el modelo de tierra curva o plana dependiendo de la longitud del trayecto, caracterizando el coeficiente de reflexión del terreno mediante la conductividad y constante dieléctrica del terreno. Si el terreno no es liso, se debe alisar el perfil mediante la recta de regresión.

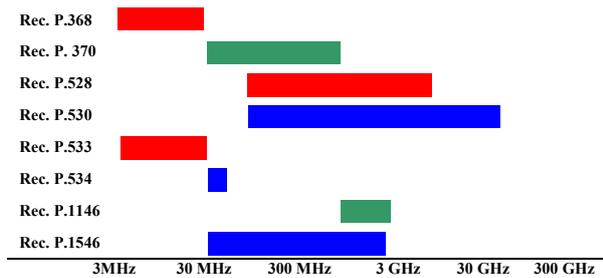


Fig. 1. Traslación de Frecuencias

**B. Modelos de propagación punto a zona.**

La modelización de los obstáculos resulta una tarea difícil cuando un terreno es irregular o es de tipo urbano, ya que el trayecto de propagación es muy variable. Para este tipo de casos, se han ido desarrollando modelos empíricos de predicción de propagación, lo cuales se basan en amplias campañas de mediciones para la posterior correlación de los resultados.

La predicción y modelado de los canales de radiocomunicación son una de las partes más complicadas que intervienen en el diseño de sistemas de comunicación, por lo general esta parte se hace de manera estadística, tomando como base mediciones realizadas en una zona específica.

Para este fin, se ha propuesto varios modelos, los cuales apuntan a predecir la potencia de la señal en un punto específico de recepción dentro de un área. De entre estos modelos, cabe destacar las recomendaciones P.370, P.1146, P.529, P.528 y P.1546. Cada uno de estos métodos o modelos están orientados a diversos servicios tales, como móvil aeronáutico, móvil marítimo, móvil terrestre y tienen además diferentes rangos de frecuencias en los que su predicción de nivel de campo eléctrico es válida, tal y como se muestra en la figura 1.

De entre ellos, el más genérico, aunque ello no quiere decir que el más exacto es el P.1546 que da cabida a los servicios de radiodifusión, móvil terrestre y móvil marítimo.

• *Recomendación UIT-R P.1546*

La recomendación P.1546 es útil para la predicción de servicios de radiodifusión, servicio móvil terrestre y servicio móvil marítimo. Esta recomendación reemplaza a la UIT-R P.370 y, al igual que ésta, es un instrumento fruto de un consenso internacional. Se presenta en forma de familia de curvas de propagación normalizadas para valores nominales de distancia, altura, frecuencia y tiempo. Dichos valores quedan expuestos en la Tabla 1.

Rango de Frecuencias:	30 a 3000 MHz
Rango de Distancias:	1 a 1000 Km
Frecuencias Nominales:	100, 600, 2000 MHz
Alturas Efectivas:	10 a 1200 m
Altura del Terminal:	10 m
Porcentaje de Tiempo:	1, 10 y 50 %
Porcentaje de Ubicaciones:	50 %
PRA:	1 Kw

Tabla 1. Valores Normalizados de la Recomendación

Una vez determinados los valores nominales de todos los parámetros que se encuentran por debajo y por encima del valor real, se procede a realizar la interpolación en tres niveles. El primer nivel se encarga de realizar las interpolaciones en función de la distancia y de la altura efectiva. El segundo nivel se encarga de recoger dos valores de campo de nivel 1 y realizar el valor de interpolación en función de la frecuencia. Por último el nivel 3 interpola dos valores de nivel 2 para realizar la interpolación en función del tiempo. Una vez realizado las interpolaciones, se debe realizar una serie de correcciones, como:

- Trayectos mixtos: Se efectúa el procedimiento de cálculo para cada tipo de propagación (mar y tierra).
- Corrección para la altura de la antena receptora/móvil: Si la altura de la antena receptora no coincide con el valor de referencia, 10m.
- Corrección por ángulo de despejamiento del terreno: La intensidad de campo se predice con mayor exactitud si se tiene en cuenta el terreno próximo a la antena receptora.
- Corrección para trayectos cortos urbanos y suburbanos: Distancias inferiores a 15 Km.
- Corrección por ubicaciones: Para el caso de antenas receptoras situadas junto al terreno rebasada un porcentaje de ubicaciones distinto del 50%.
- Campo máximo: Si es necesario se limita la intensidad de campo resultante al campo máximo posible.

Los valores finales tienen una correlación alta con los valores medidos para alturas efectivas altas. A medida que van bajando las alturas efectivas, dicha correlación va bajando.

- *Método Okomura-Hata*

Esta es una recomendación ampliamente usada. Es un método empírico desarrollado en ciudades japonesas y que ha servido de base para la planificación de sistemas móviles en la banda GSM. Posteriormente, se han realizado ampliaciones para poder usar dicho método en la banda DCS.

La sencillez de este método lo hace bastante atractivo para la explicación docente del mismo. Sin embargo, como todo modelo simplificado, hace que sólo valga para casos muy específicos, careciendo por tanto de generalidad. Los resultados de este método son parecidos a la recomendación P.1546 para distancias de hasta 10 Km y en los casos donde no haya correcciones.

### III. HERRAMIENTAS DE PREDICCIÓN

Las aplicaciones desarrolladas son PROEM (PROpagación Empírica [4]) y EREP (Estudio Radioeléctrico de Enlaces Punto a Punto [5]). Estas dos herramientas desarrolladas mediante el lenguaje de programación Delphi [6], son válidas en cualquier entorno gráfico Windows 95/98/ME/2K/NT/XP. Las principales funciones que permite realizar estas aplicaciones son:

- Captura y Estructura de Datos topográficos: uno de los principales potenciales que tiene una herramienta de predicción de coberturas de campo eléctrico es contar con un potente y fiable mapa topográfico. Dicho mapa topográfico se ha dispuesto mediante una estructura tipo *raster* de tipo matricial regular con coordenadas UTM con un paso de resolución de 160 m, al que se le ha añadido los puntos singulares.
- Elección del modelo. Las aplicaciones desarrolladas permiten por un lado elegir los estudios de reflexión y difracción a través de los modelos de tierra plana, tierra curva, difracción por obstáculo redondeado, múltiples obstáculos. Para los estudios de cobertura se da la elección de los modelos 1546, Okomura Hata y COST231.
- Gestión de los parámetros de los puntos transmisores y receptores. En cualquier momento, se pueden añadir, borrar y modificar cualquier parámetro concerniente con la ubicación de los transmisores y receptores. Los parámetros más comunes son: Coordenadas UTM, altura, potencia, frecuencia, tipo de antena, ganancia, ancho de haz.
- Obtención de gráficas de perfiles de terreno. Se puede acceder a visualizar cualquier perfil, donde da las características de distancia, rugosidad,

desnivel. De forma adicional, se puede realizar *zooms* en las zonas de más interés.

- Visualización de las zonas de cobertura. Una vez establecido el punto transmisor y elegido la distancia máxima de estudio, se establece un estudio de paso 160 m y un paso angular de 30 grados. Este paso angular depende del número de radiales. Este número es configurable, llegando a pasos de hasta 1 grado.
- Trabajar sin mapa digital. Otra opción válida y contemplada en las aplicaciones es la de realizar los cálculos sin el mapa digital. Los parámetros físicos del terreno han sido obtenidos mediante programas comerciales y con ellos se rellena un formulario donde obtenemos el campo previsto.

### IV. RESULTADOS

Para mostrar los resultados que pueden dar dichas herramientas, se presenta el mapa digital del norte de la Isla de Tenerife tal y como se ve en la figura 2. Se ha situado un punto transmisor en el municipio de San Cristóbal de La Laguna. En dicha figura, se puede observar un mapa de cobertura, en la que cada color indica el nivel de campo recibido. A la izquierda se observa la leyenda donde se ubica el color con el campo recibido.

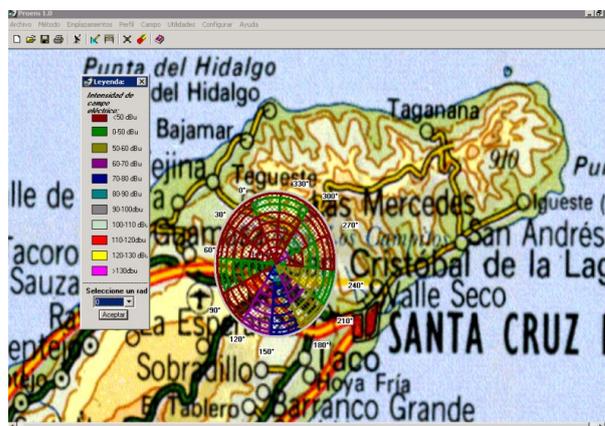


Fig. 2. Mapa de cobertura

En el punto transmisor, se ha colocado un transmisor en la banda comercial de FM con una antena cuyas características radiantes se encuentran en la parte izquierda de la figura 3. En la parte derecha de dicha figura se observa el perfil correspondiente al radial de cero grados cuyo vano tiene una distancia de 3.6 Km. En dicha figura, se observa que existe un obstáculo dominante y único que será vértice del polígono funicular entre el transmisor y receptor para el cálculo de las pérdidas por difracción.

V. CONCLUSIONES

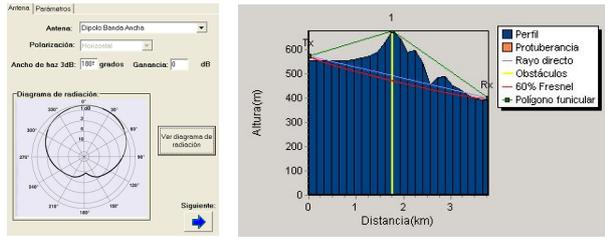


Fig. 3. Características de antena y perfil.

A partir de este perfil, se ha realizado el cálculo del campo previsto a través de los métodos determinísticos que nos lo proporciona la herramienta EREPP y los métodos empíricos que lo proporciona la herramienta PROEM.

En la figura 4 se observa en la parte izquierda el perfil de estudio y el nivel de campo previsto usando para ello la recomendación 1546. En la parte derecha se observa el mismo perfil pero ahora el campo previsto usando el método de Okomura-Hata. Se observa claramente como las correcciones debidas a despejamiento negativo, hacen que en las zonas de sombra próximas a las cimas, el nivel de campo decae. Sin embargo el método de Okomura-Hata al no tener en cuenta dichas correcciones hace que el nivel de campo decaiga más gradualmente.

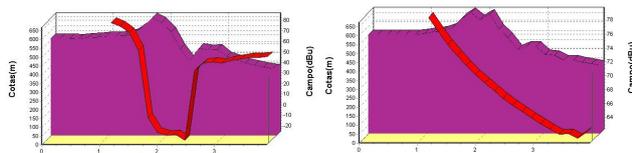


Fig. 4. Perfil y Nivel de Campo.

La aplicación EREPP nos da el valor de campo para puntos específicos usando para ello las recomendaciones 526 y 527 dando un valor de 68 dB $\mu$ V/m. Para validar dichos modelos en el entorno de estudio queda por realizar una campaña de medidas mediante un medidor de campos y verificar la verosimilitud de los cálculos previstos.

En la tabla 2 están los valores de campo de cada uno de los métodos citados. Se observa que el error cometido en el modelo 1546 es del 8.5% en el de Okomura del 28.5% y de los determinísticos del 3%. Como era de esperar los modelos empíricos son los que cometen un error mayor frente al previsto por el determinístico.

Modelos	Nivel de Campo (dB $\mu$ V/m)
P. 1546	64
Okomura-Hata	50
P. 526-527	68
Campo Medido	70

Tabla 2. Comparación de Niveles de Campo

Se ha conseguido desarrollar dos herramientas complementarias en las que se realiza por un lado, un estudio por modelos determinísticos y por otro con modelos empíricos. El uso de estas dos herramientas provee al alumno la posibilidad de corroborar por un lado los resultados realizados hechos en papel para dar así una seguridad en el resultado final. Por el otro lado, se dispone al alumno de realizar un estudio de planificación de coberturas mediante un entorno agradable y sencillo.

Además de estas dos herramientas, el Grupo de Ingeniería de Comunicaciones se provee de las librerías realizadas para ponerlas como módulos en nuevas aplicaciones futuras.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por los proyectos del MCyT TEC2004-09615-C03, TEC2005-08377-C03 y TEC2005-07010-C02.

REFERENCIAS

- [1] Rec. UIT-R P.526, "Propagación por Difracción".
- [2] Rec. UIT-R P.527, "Características eléctricas de la superficie terrestre".
- [3] Rec. UIT-R P.1144-2, "Guía para la aplicación de los métodos de propagación de la Comisión de Estudio 3 de Radiocomunicaciones".
- [4] Y. Salgado Lorenzo, "Implementación de una herramienta para los modelos de propagación empíricos en señales de radiodifusión". Grupo de Ingeniería de Comunicaciones. PFC-EUITT. ULPGC. 2005
- [5] R. García Umpierrez, "Aplicación para la ayuda a la docencia de los modelos determinísticos de Propagación Radioeléctrica". Grupo de Ingeniería de Comunicaciones. PFC-EUITT. ULPGC. 2005
- [6] Francisco Charte Ojeda, "Guía Práctica para usuarios: Delphi 7", editorial Anaya Multimedia, 1996.