

rumiando sus nuevos textos para fijarlos, pulirlos y crearlos después. Así, se percibe la huella de la obra de este ingeniero: hombre tenaz, inspirado, apasionado y sumergido en su actividad técnico-profesional.

La revista *Tono*, en su número de presentación, ha querido hacer un homenaje póstumo a Aaron Bembassat Vila quien murió a



Aaron Bembassat Vila  
Foto cortesía de Bibiana Ribot Costa

finales del año 2003. Supe que casi hasta sus últimos días estuvo trabajando en uno de sus proyectos. El artículo que publicamos apareció, por primera vez, en *Telecommunications Journal*, boletín técnico editado por la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT), en junio de 1993. Debido a su importancia y a la sugerencia de personas de su

equipo de trabajo, publicamos esta versión 4.1, para, en el próximo número, incluir la nueva versión para Windows que estaba preparando. El equipo editorial de la revista *Tono* agradece a su viuda Bibiana Ribot Costa y a sus colaboradores la ayuda incondicional y la información ofrecida.

## S I S R E:

Desde 1974, como parte del esfuerzo por ampliar las comunicaciones a todas las regiones de Cuba y darse cuenta de que la calidad de los servicios brindada a los usuarios dependería de tal enfoque, comenzaron a llevarse a cabo la programación de los cálculos de propagación y a trabajar sobre la base de las soluciones adecuadas, antes de instalar los sistemas de radioenlace de línea de vista.

Se necesitaba el conocimiento completo de la teoría del método de cálculo para evaluar las hipótesis subyacentes, premisas y procedimientos y, a la vez, comprender las limitaciones sobre su aplicación práctica en cada ejemplo.

En los países en vías de desarrollo, el establecimiento de una arteria nacional principal, hace estallar, a menudo, el proceso de instalación de redes secundarias y terciarias de baja o media capacidad, como ramas de la ruta del tronco principal. Tales redes generalmente utilizan el spectrum VHF y la banda UHF más baja, donde es difícil despejar la zona de radio Fresnel, con el resultado que los *hops* —saltos— obstruidos asumen mayor importancia.

## software para calcular los perfiles de radio (Versión 4.1)

Por MsC. Aaron Bembassat Vila, Ing. Julio César Cruz García, Ing. A. Zequiera Rodríguez e Ing. M. B. Vidal

Traducción del inglés: Tania Rey Núñez

Los procesos para calcular la pérdida de propagación fueron estudiados, perfeccionados, aplicados y programados en Cuba y otras partes; también se investigó el problema de las reflexiones que resultó en un método analítico, aplicable a los perfiles de radio.

Para completar los cálculos del sistema, se incorporaron otros aspectos como el fenómeno de disminución y confiabilidad de propagación, y el cálculo de los niveles de ruido y de sistemas completos, que incluye los repetidores análogos —tanto pasivos como activos— y cubre los estándares nacionales e internacionales del mismo modo.

Como consecuencia, con el advenimiento de la tecnología digital, se realizó un extenso trabajo sobre los métodos para calcular la ejecución e indisponibilidad; la gama del sistema se extendió alrededor de 50 GHz, por encima de lo cual la absorción atmosférica y aerométrica llegó a ser considerable.

Durante el proceso de investigación se desarrollaron varias versiones del SISRE de microcomputadoras: 2, 7 y 35, de la serie NEC 9801; una cuarta versión, mejorada y optimizada sobre las máquinas IBM-PC-AT compatibles y, la siguiente versión, conocida como 4.1, que incorpora los métodos de cálculos digitales en la fase inicial —repetidores activos— y extiende el alcance del sistema a la aplicación mundial.

La versión 4.1 de SISRE y sus sucesores tienen que comparar varios métodos para el cálculo de la pérdida de propagación y seleccionar el más apropiado, de manera eficiente y rápida, al validar cada caso según sus restricciones de implementación; mejorar la eficiencia y fiabilidad del trabajo de los expertos; pulir

la metodología propuesta por los autores, como procedimientos de aplicación; compilar los últimos métodos que ofrecen los mejores resultados; preparar un método para las reflexiones de procesamiento generalizado para el evento de reflexión terrestre; disponer de métodos para calcular los enlaces en cadena análogos y digitales, con repetidores pasivos y activos, que validan las restricciones de implementación en cada caso; hacer uso de la computación en la toma de decisiones para dirigir el sistema de forma lógica, según los resultados obtenidos en cada caso; asegurar la validez del algoritmo para las diferentes configuraciones de las microcomputadoras compatibles con IBM; garantizar que el sistema esté estructurado, sea rápido y básicamente construido a partir de los procedimientos, para lograr mayor flexibilidad y facilidad de mantenimiento en el futuro; habilitar el sistema que será utilizado como simulador de proceso para los estudiantes, en las disciplinas de sistemas de propagación y radiocomunicación en Cuba y otros lugares, y así contribuir a la educación y capacitación; optimizar los resultados según las posibles variantes.

El sistema es el desarrollo de la teoría del cálculo de la conexión de radioenlace que comienza a partir de la teoría electromagnética, lo que constituye su base científica. Utiliza datos archivados en los perfiles de radio —dibujados en el monitor o *plotter*— y en los equipos análogos y digitales, por lo que puede realizar extensos cálculos de ejecución e indisponibilidad para todo el sistema, en dependencia del tamaño de la red y de acuerdo con los estándares nacionales e internacionales.

El paquete de software puede ser utilizado para estudiar el almacenamiento de datos y edición, los estudios ópticos para el perfil de radio, la optimización de la altura de la antena, los cálculos de la pérdida de propagación al usar diferentes métodos —exactitud analizada en la muestra de 123 *hops*. El Anexo 1, Figura 1, presenta un ejemplo calculado por la computadora para el perfil de un *hop* con un obstáculo cuya forma difiere de eso, el valor mínimo de K para las reflexiones por existir aspereza, bloqueo, divergencia del rayo reflejado y la efectividad de la diversidad del espacio, según las condiciones meteorológicas. El Anexo 2 muestra las características de un *hop* vigilado y cómo las mediciones, en la Figura 2, revelan las reflexiones; mientras que en la Figura 3 la diversidad del espacio, según K, es efectiva y mejora la fiabilidad del *hop*, y los cálculos completos de ejecución del sistema con los repetidores activos y pasivos.

SISRE es un sistema de cálculo de propagación para la línea de vista, o próximo a las conexiones de radioenlace de línea de vista, a frecuencias por encima de 30 MHz y por debajo de los 50 GHz, basado en el algoritmo de un paquete de software para las microcomputadoras compatibles con IBM. El sistema está dividido en dos partes esenciales: cálculos de los perfiles de radio y cálculos de ejecución para los sistemas de radioenlace —análogos y digitales—. La parte del perfil de radio incluye los procesos de análisis óptico de los perfiles y de los obstáculos potenciales para cualquier valor probable del factor radio terrestre (K) efectivo, optimización de la altura de antena, cálculos de la pérdida del paso de la difracción —al usar varios modelos matemáticos—

y pérdida total, análisis de la zona alrededor de la antena, estudios de las reflexiones —según las condiciones meteorológicas más probables—, cálculo de la diversidad del espacio contra el desvanecimiento del multipaso —la reflexión se excluye en este caso— como una función de la distancia y frecuencia del salto (*hop*) y, cálculo de la diversidad para el fenómeno de la conducción troposférica.

Los cálculos de ejecución incluyen métodos de los sistemas de radioenlace analógicos y digitales —tanto repetidores activos como pasivos— para la interferencia dentro o fuera del sistema, que tienen en cuenta los estándares nacionales e internacionales en la

telefonía, servicios de transmisión de radio y televisión que incluye la red troncal y las derivaciones secundarias para Cuba y otros países, de forma tal que puedan habilitarse los extensos cálculos para sistemas completos.

El sistema está validado, para cada método de parámetros y cálculos, por sus condiciones de implementación.

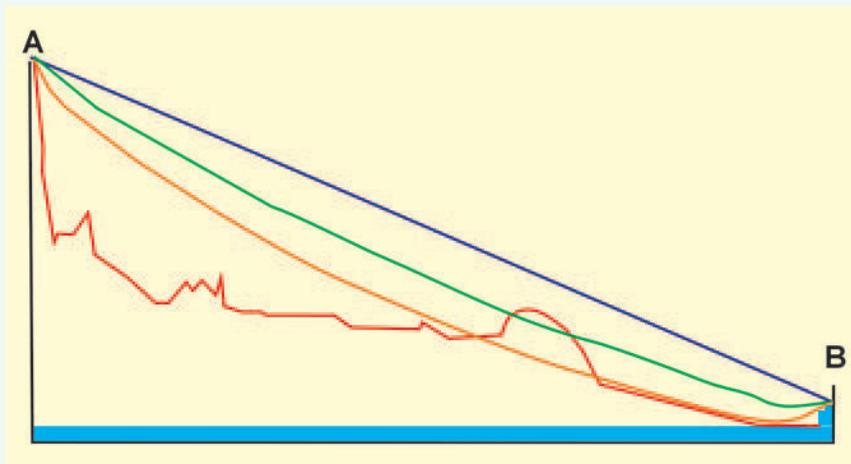
Las mediciones teóricas y el paquete de software han llevado a la conclusión, teórica y experimental, que el orden de la zona Fresnel, despejado en el punto de reflexión, no indica debidamente la energía del rayo reflejado.

Las aplicaciones del sistema comprenden cálculos de propagación para la red digital

de América Central, para un sistema de comunicación entre el Congo y Angola y para la red nacional de Viet Nam. Incluyen, además, todos los estudios y proyectos ejecutivos, la preparación de los planes anuales y quinquenales, para los sistemas de radioenlace en la telefonía y los servicios de transmisión de radio y televisión del Ministerio de Comunicaciones de Cuba, la optimización de diseño de equipos y parámetros de construcción para la incorporación en la red nacional, la capacitación de personal extranjero en Cuba y el apoyo en el desarrollo de los planes de estudios de Ingeniería en Telecomunicaciones en Cuba.

Los efectos de SISRE permiten que el algoritmo sea empleado en el cálculo rápido y exacto de los sistemas de radioenlace línea de vista en diferentes países, con resultados óptimos, incluso, en los casos altamente complejos.

Las aplicaciones de las primeras versiones del paquete de programa, en los últimos años en Cuba, han incrementado la fiabilidad y pavimentan el camino para el desarrollo profundo del sistema hasta la versión actual 4.1. En cualquier etapa, el resultado ha sido un ahorro económico considerable al país. 



 **Figura 1**

## Anexo 1

### Estudio del perfil de radio

Código: 4-222

Realizado por A. Bembassat Vila

Fecha: 7 de mayo de 1989

Estación A: Jacan

Estación B: Cárdenas (CMT N)

Valor K: 4/3

Distancia: 24.9648 Km.

Frecuencia: 360 MHz

Altura del terreno en A: 312 m

Altura del terreno en B: 5 m

Altura de la construcción técnica en la estación B: 9.6 m

Altura de antena en la estación A: 30 m

Altura de antena en la estación B (sobre el techo): 20 m

Distancia del obstáculo principal desde el extremo A: 17.2 km

Distancia del obstáculo principal desde el extremo B: 7.7648 km

Penetración del obstáculo principal: 37.4145 m

Primer radio de la zona Fresnel en el obstáculo principal: 66.7689

Despeje del porcentaje en el obstáculo principal: 43.9642

Despeje principal: 29.3544 m

Atenuación de espacio libre: 111.513 dB

Pérdida de difracción en el límite: 1.31862 dB

Pérdida de difracción esférica: 5.28628 dB

Pérdida de difracción: 2.68063 dB

Pérdida total de propagación: 114.193 dB

## Anexo 2

Código: 5-26

Realizado por A. Bembassat Vila

Fecha: 7 de mayo de 1989

Estación A: Salón

Estación B: Sierra Caballos (Isla de la Juventud)

Valor K: 4/3

Distancia: 107.657 Km

Frecuencia: 400 MHz

Altura del terreno en A: 564 m

Altura del terreno en B: 280 m

Altura de antena en la estación

A: 14 m

Altura de antena en la estación

B: 24 m

Tamaño de la antena A (y de diversidad if used): 4 m

Tamaño de la antena B (y de diversidad if used): 4 m

Inclinación descendente de la antena en la estación A:  $-0.145824^\circ$

Inclinación ascendente de la antena en la estación B:  $0.145824^\circ$

Perfil despejado 0.6 o más que la primera zona Fresnel

Pérdida del espacio libre:

145.122 dB

Pérdida total de propagación:

145.122 dB

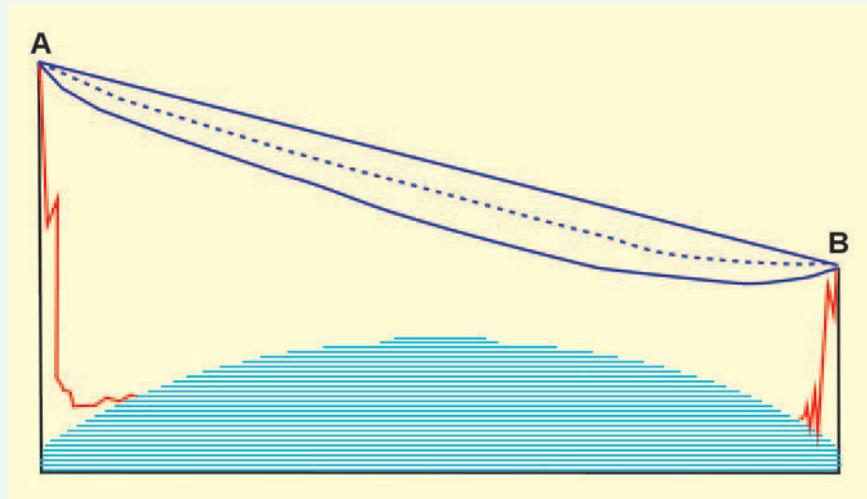


Figura 2

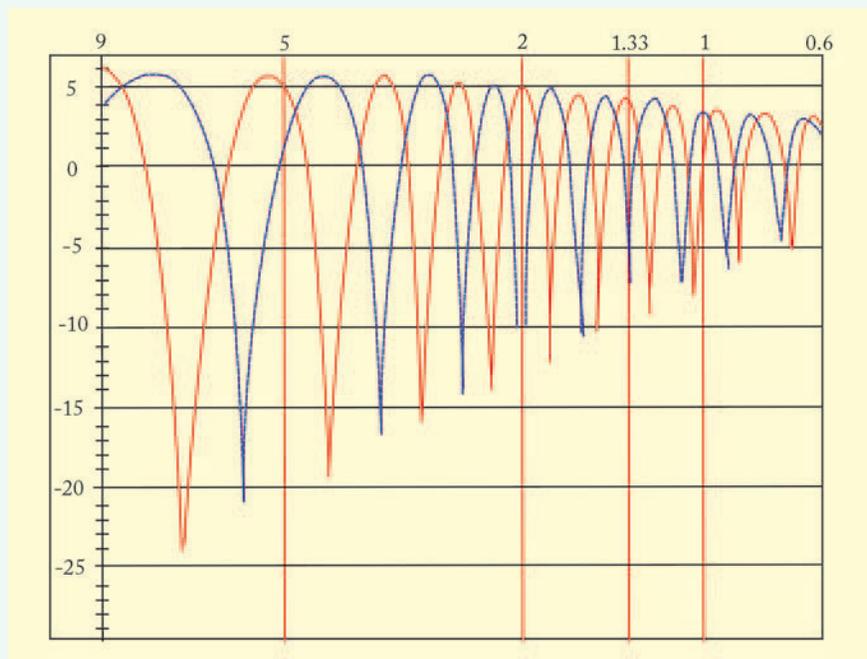


Figura 3

## Anexo 3

Fuerza total del campo (por reflexión) como una función de K en la estación de antenas B frecuencia: 1000 MHz, distancia: 107.66 km, altura de antena en la estación A: 14 m, altura de antena en la estación B: 26 m, altura (diversidad) de antena en la estación B: 24 m.