

Software MAXWELL (v 1.1)

(Sistema Radioenlaces)

Por Ing. Julio César Cruz García, Ing. Juan Delgado

Arrebola, Ing. Aaron Bembassat Vila(t)

Unidad de Negocios Red, Dirección de Desarrollo y Asuntos
Regulatorios, ETECSA
julio@tel.etecsa.cu, juande@tel.etecsa.cu

En el número anterior de *Tono*, publicamos el artículo “SISRE: software para calcular los perfiles de radio (Versión 4.1)” con la intención de hacer un homenaje a la vida y la obra de Aaron Bembassat. Ahora incluimos esta nueva versión del software para Windows en la que estuvo enfrascado junto a su equipo de trabajo. El software Maxwell —su nuevo nombre— tiene el certificado de depósito legal en el Centro Nacional de Derecho de Autor (CENDA) desde el 9 de septiembre de 2004.

Maxwell, versión 1.1, es un software de cálculo de radioenlaces de visión directa, o casi directa, en la banda de 30 MHz a 50 GHz de fácil aprendizaje y utilización. Logra, de una manera **visual**, el diseño de sistemas de comunicaciones de punto a punto troposféricos y en visibilidad directa o casi directa. Está desarrollado sobre plataformas Microsoft Windows con Visual Basic. Su nombre se debe al autor de la base científica de la ingeniería eléctrica —la teoría electromagnética—, el británico James Clerk Maxwell.

Este sistema utiliza las experiencias de SISRE e incorpora nuevos aspectos como la determinación automática del número de obstáculos en los perfiles radioeléctricos; el tratamiento visual de perfiles radioeléctricos, escalable y con selección arbitraria de cuadrícula; la compatibilidad de impresión de resultados y gráficos con todas las impresoras del sistema; la posibilidad de guardar los principales datos de un proyecto —de perfiles radioeléctricos u ópticos, cálculos de calidad o indisponibilidad— para su uso posterior. Permite los cálculos de interferencias y de alteración del umbral de los receptores, la posibilidad de visualizar diferentes patrones de antenas; la actualización de los métodos de cálculos digitales con

mayor precisión en las fórmulas experimentales; y la introducción de nuevas variantes de diversidad, más complejas, por ejemplo, la cuádruple. Este software asume, además, los cálculos simultáneos en ventanas múltiples de los perfiles radioeléctricos y cálculos de calidad; la automatización completa del método de cálculo de atenuación por difracción en el método de Kalinin —cuando se altera por el usuario la forma de uno o de los dos obstáculos—. Permite el análisis visual de la intensidad de campo, en las reflexiones, con relación a variaciones de Kp , frecuencia y separación en las antenas de diversidades y posibilita el acercamiento o *zoom* dentro del gráfico. Puede también guardar los informes de resultados como documentos de Microsoft Word, y usar las funciones de cortar y pegar del sistema operativo en todas las ventanas que contengan gráficos y resultados.

El software Maxwell se subdivide en dos módulos principales:

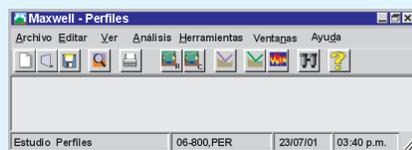


Figura 1 Perfiles

cálculos de perfiles radioeléctricos y cálculos de calidad o indisponibilidad de propagación de sistemas de radioenlaces (RE), analógicos o digitales.

El **módulo perfiles** incluye los tratamientos análisis óptico de perfiles; el análisis de posibles obstáculos para cualquier valor probable del factor efectivo del radio terrestre (K); la optimización de las alturas de las antenas; los cálculos de atenuación de propagación por difracción, según varios modelos matemáticos, y la total; el análisis de la zona cercana a las antenas, región donde no es válido el criterio de las zonas de Fresnel; el estudio de reflexiones generalizadas para el caso del terreno; el estudio de la efectividad de la diversidad de espacio por reflexiones, en función de las condiciones meteorológicas más probables; el cálculo de la diversidad de espacio en contra del desvanecimiento multitrayectoria —no se incluye la reflexión en este caso— en función de la distancia y la frecuencia del salto, y el cálculo por diversidad para el fenómeno de ductos troposféricos.

El **módulo de cálculo** incluye los métodos en radioenlaces analógicos o digitales, con repetidores activos o pasivos, tiene en cuenta las normas nacionales e internacionales para Cuba y otros países.

En este módulo se calcula la indisponibilidad de propagación total o la probabilidad (%) fuera de calidad total, de un sistema de radioenlace digital o analógico —con repetidores activos o pasivos— para telefonía, televisión o radiodifusión, con normas nacionales o internacionales, y se verifica el cumplimiento de los objetivos de calidad de la UIT-R, o de indisponibilidad definidos.

Dentro del módulo perfiles existen ventanas fundamentales. La ventana entrada de un nuevo perfil permite la entrada manual de los datos fundamentales del perfil, con la presentación preliminar de su topografía, vegetación y edificios. Para el caso de Cuba, existe la posibilidad de la extracción de datos de la base digitalizada y la validación de coordenadas dentro de los límites geográficos del territorio nacional y búsqueda de las hojas cartográficas. Debe señalarse que en este programa, la distancia máxima de un perfil radioeléctrico es

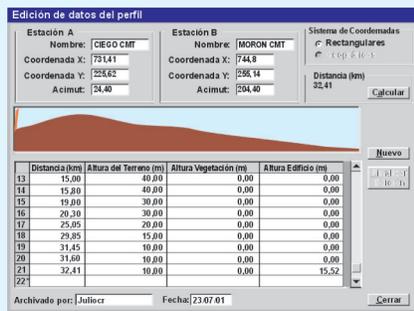


Figura 2 Entrada de nuevo perfil

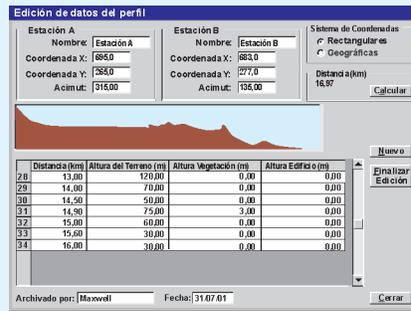


Figura 3 Modificación de perfil

La ventana de datos para el estudio radioeléctrico establece los datos fundamentales para el estudio radioeléctrico con diferentes variantes (Figura 4) entre las cuales están el método, donde se selecciona la altura de antena y el por ciento de liberación para calcular la otra o se preestablecen ambas alturas de antena —para ver el perfil, después de seleccionada una de las tres variantes, se entra en el método visual—; en estos casos se calcula la zona cercana a la antena. La altura permisible máxima será de 250m. El método visual lleva a otro diálogo donde se escogen las alturas de antena al estilo WYSIWYG —What You See Is What You Get— y también se estudian las zonas cercanas a las antenas.

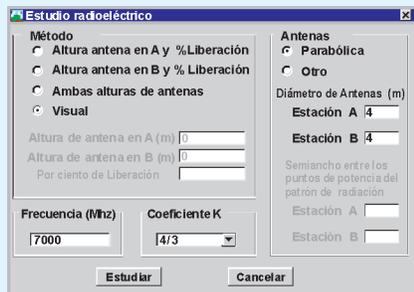


Figura 4 Estudio radioeléctrico

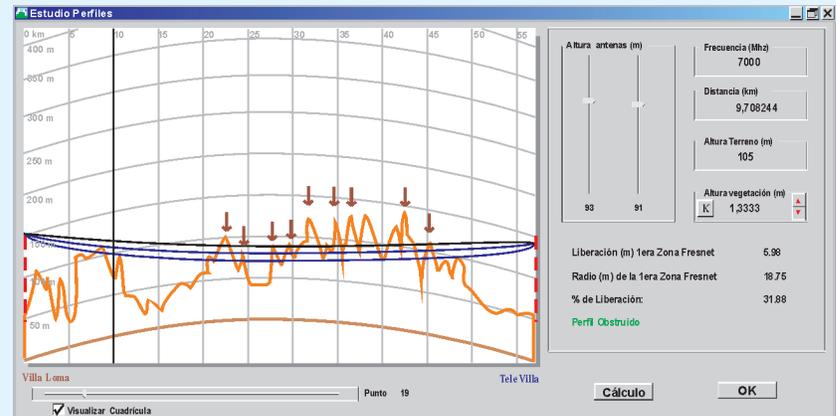


Figura 5 Estudio de perfiles

de 270 km, que permite realizar hasta perfiles de sobre-salto (*over-reach*).

Puede seleccionarse un sistema de coordenadas geográficas o rectangulares —de la misma zona de proyección—. Según el tipo de coordenadas establecidas, el rango de valores será permisible y, en el caso de Cuba, válida que se

encuentren dentro del territorio nacional. La altura de la vegetación no debe exceder los 35 metros, y la de los edificios a 250 m (Figura 2).

El software tiene, también, una ventana para modificar el perfil existente, la cual modifica los datos del perfil activo sin archivarlo hasta que se desee (Figura 3).

La variante frecuencia determina la frecuencia del enlace y el rango permisible es de 30 a 50 000 Mhz; y el semiancho entre los puntos de media potencia del patrón de radiación es un dato necesario cuando las antenas no son parabólicas o la frecuencia del enlace es inferior a los 700 Mhz. Rango: >0 a 40 grados.

Estudio visual del perfil es una ventana de diálogo que permite seleccionar las alturas de antenas y hacer un estudio preliminar de rugosidad y reflexiones, sin tener en cuenta la zona cercana a las antenas. El coeficiente K puede tener variación y explorar la información de los puntos del perfil. Esta ventana será ampliada si se desea, y podrá visualizarse o no la cuadrícula de referencia.

El perfil se visualiza y representa las antenas, la línea de visibilidad directa —línea negra—, la zona de Fresnel al 100% —azul oscuro— y al 60% —azul—, reflexión, si se presenta, —línea roja—, y si se bloquea —línea discontinua—.

Los edificios se representan en azul y la vegetación en verde. Las flechas indican los obstáculos: obstáculo principal —↓—, otras obstrucciones —↓—.

La barra de desplazamiento posibilita el movimiento de una guía dentro del área de dibujo del perfil para seleccionar los puntos con datos, y permite ver en ese punto la distancia, la altura del relieve, de vegetación o edificio si existe, liberación y radio —en metros— de la primera zona de Fresnel y el por ciento de liberación. Las barras de desplazamiento permiten seleccionar de 3 a 250m las alturas de antenas —sin tener en cuenta la zona cercana a dichas antenas—.

El valor del coeficiente K puede variarse entre valores preestablecidos —0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,3333; 2; 5,6 y 100— y puede variar con el aumento o disminución de su valor en 0,1.

En la ventana del estudio visual de perfil se muestra información sobre datos del perfil —distancia, altura del relieve, altura de vegetación o edificio—, cambian cuando varía la posición de la barra de desplazamiento de puntos. Brinda, además, la información —de forma preliminar— de perfil obstruido o liberado, y si presenta o se bloquean las

reflexiones para la K seleccionada solamente; e indica la liberación y radio, en metros, de la primera zona de Fresnel y el por ciento de liberación.

En el estudio de las obstrucciones, el número de obstáculos, y de ellos, el principal, lo determina el programa —aparece en la barra de título de la ventana— y, además, el método o métodos que son posibles de aplicar para el caso en cuestión.

Los métodos de atenuación a aplicar son la difracción en arista, difracción esférica, esfera equivalente —Kalinin—, Deygouth y tierra plana —Bullington— y están determinados por el número de obstáculos y su forma.

En los métodos de borde afilado, difracción esférica y Deygouth se analiza la forma del obstáculo en función de los puntos del perfil que se definen como datos. Si faltan datos, debe modificarse el perfil para agregarlos.

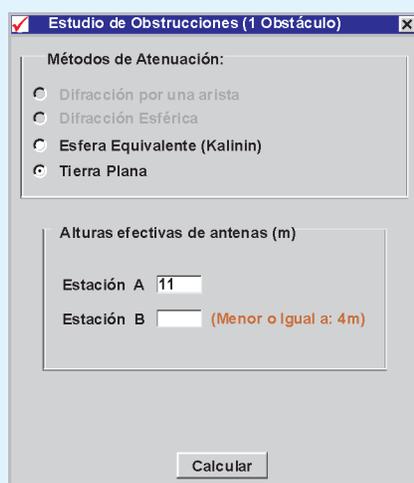


Figura 6 Estudio de obstrucciones

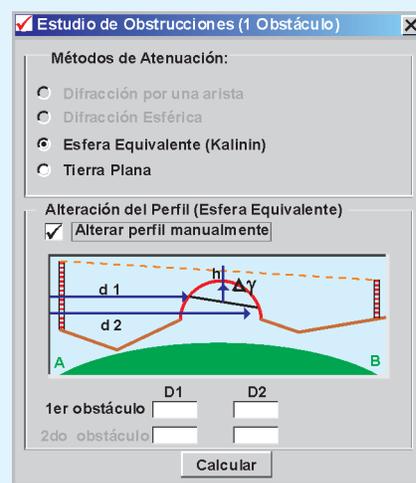


Figura 7 Estudio de obstrucciones

El método de difracción esférica se aplica en aquellos casos donde la única obstrucción es la superficie esférica del mar.

El método de la esfera equivalente se aplica independientemente de la forma y dimensiones del obstáculo —si tiende más a una esfera es más exacto—; es aplicable a uno o dos obstáculos, y uno o ambos pueden alterarse como una esfera equivalente por el usuario, si lo desea, o trabajar de modo automático.

El método de Deygouth, puede aplicarse a dos o más obstáculos del tipo de borde afilado que sobrepasen la línea de visibilidad; y el método de tierra plana es aplicable a la difracción de acuerdo con los datos del perfil que se dispongan.

Para calcular la atenuación, los métodos se determinan por el número de obstáculos y la forma del perfil.

La casilla de chequeo escoge entre introducir los valores de distancia y calcularlos automáticamente. Los valores de D1 y D2 son las distancias desde el origen del perfil hasta la secante paralela a la línea de visibilidad directa, que conforma la esfera equivalente alrededor del obstáculo modificado por el usuario, y es válido para deformar uno o dos obstáculos según el caso.

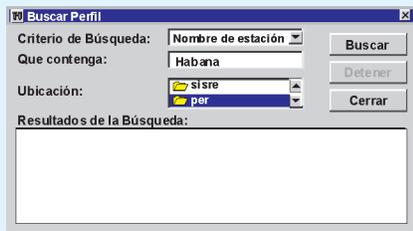


Figura 8 Búsqueda de perfil

El rango de valores de las alturas efectivas de antenas para el método de Tierra Plana, será recomendado por el programa para una estación, a partir de fijar un valor en la otra estación y cumplir con la validez de este método.

Se calcula la atenuación, según el método seleccionado, para el obstáculo o los obstáculos, la atenuación de espacio libre y la atenuación total de propagación.

La búsqueda de perfiles puede realizarse (Figura 7) y permite seleccionar el criterio —nombre de estación, coordenadas, acimut, nombre de usuario, fecha de archivo

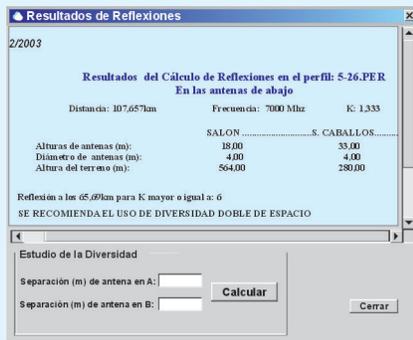


Figura 9 Estudio de reflexiones

o nombre del perfil—, se descarta la coincidencia entre mayúsculas y minúsculas en el contenido del criterio.

El estudio de reflexiones se realiza a partir de 700 Mhz, donde el patrón interferencial de las antenas comienza a estrecharse y, menos de 15 000 Mhz, donde la distancia del salto es corta y no se considera la opción de diversidad de espacio.

Para realizar este estudio se habilita la posibilidad del uso de

diversidad, si es necesario. Si faltan datos para analizar la rugosidad de la zona de reflexión y determinar la existencia de reflexiones, debe agregarse puntos para modificar el perfil.

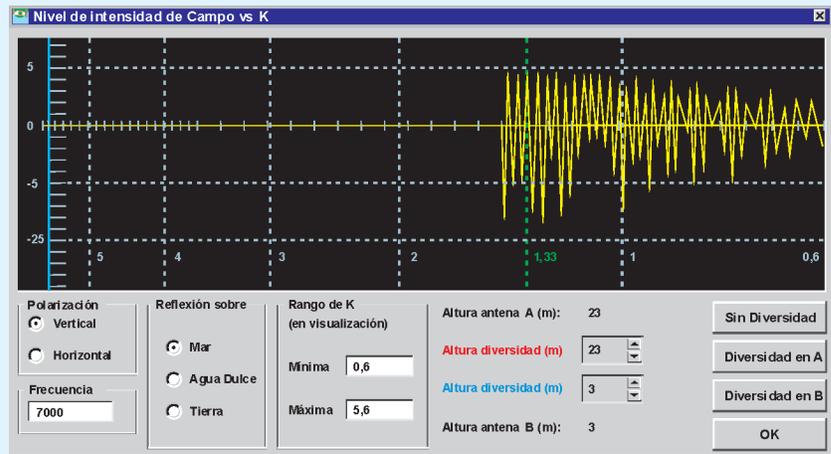


Figura 10 Curvas de nivel de intensidad en relación con K

Intensidad de Campo vs K

En el gráfico de la figura 10 se presentan las curvas del nivel de intensidad de campo en relación con el coeficiente K —podrá seleccionarse el rango de K para la visualización de las curvas y de ese modo examinar dicha zona con más detalles—. El cambio de las alturas de diversidad permite visualizar mediante un gráfico las curvas resultantes

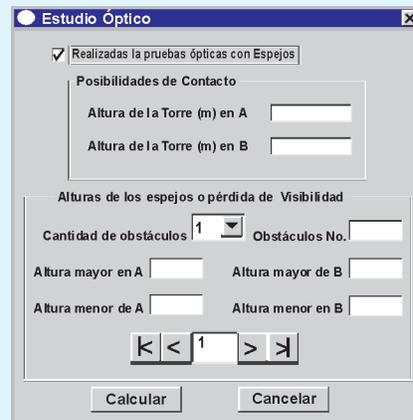


Figura 11 Estudio óptico de pruebas con espejos

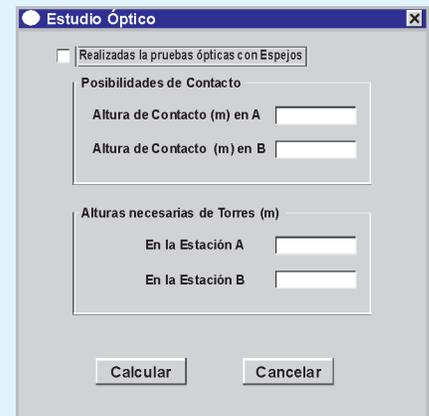


Figura 12 Estudio óptico de pruebas realizadas sin espejos

y seleccionar las adecuadas. De igual modo ocurre con las variaciones de frecuencia, las cuales no cambian la frecuencia del estudio, sólo es para investigaciones.

El estudio óptico se presenta para dos variantes: una, las pruebas realizadas con espejos; y la otra, las pruebas realizadas sin espejos.

Si se realizan pruebas con espejos se introducen las alturas de torres para posibilitar el contacto; se establece el número de obstáculos y, para cada uno de ellos, el orden y las alturas de los espejos —mínima y máxima para cada estación—, determinándose la posición y altura precisa de cada obstáculo (Figura 11).

Cuando no se realizan pruebas con espejos se introducen las alturas de posibilidad de contacto y de torres, para cada estación, como muestra la figura 12.

El módulo de cálculo tiene ventanas principales. Para la entrada de los datos del equipo analógico, cada *tag* contiene un

grupo de parámetros que se activarán bajo determinadas condiciones, según el servicio que ofrezca dicho equipo.

Los datos para radiodifusión tienen en cuenta, además de los casos de los equipos de radiodifusión, la variante de que la señal de audio se module en FM

como una subportadora de radiodifusión por encima de la señal de video en el equipo de microondas.

Misceláneas

La indisponibilidad de propagación total se calcula, o la probabilidad (%) fuera de calidad total, de



Figura 13 Edición de datos de un equipo digital

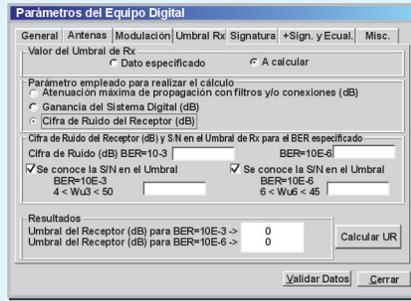


Figura 14 Umbral del receptor

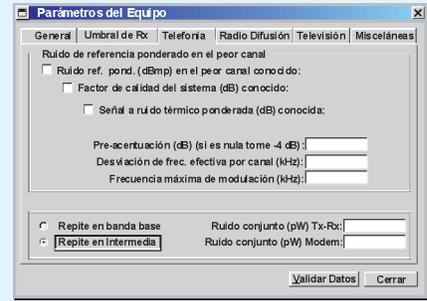


Figura 15 Datos para telefonía

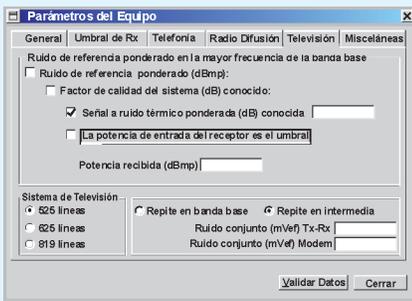


Figura 16 Datos para televisión

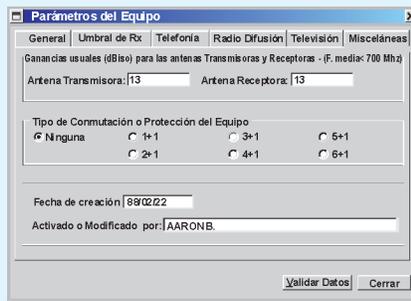


Figura 17 Parámetros para el equipo analógico

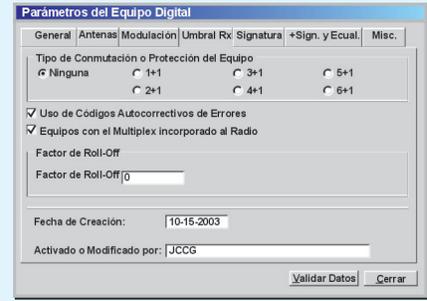


Figura 18 Parámetros para el equipo digital

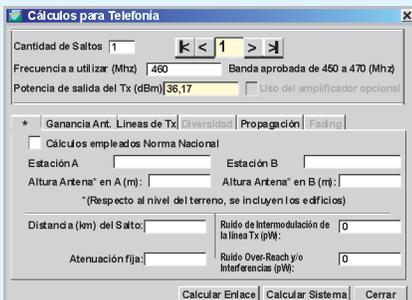


Figura 19 Cálculo del Sistema —telefonía, radiodifusión, o televisión—

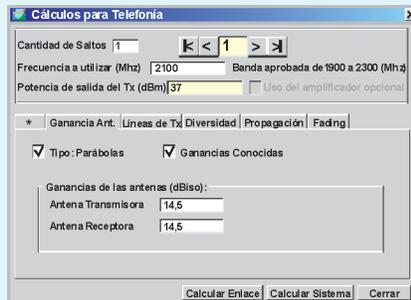


Figura 20 Ganancia de las antenas

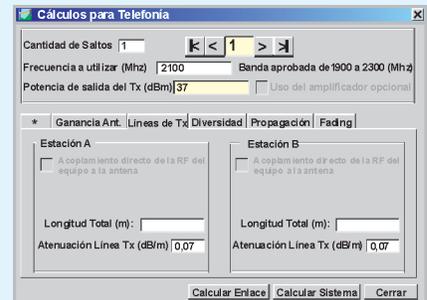


Figura 21 Líneas de transmisión

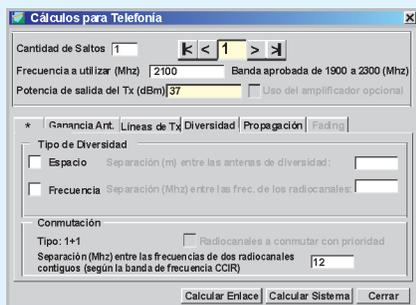


Figura 22 Uso de la diversidad y conmutación

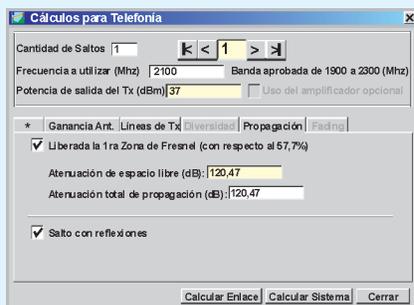


Figura 23 Liberación de la zona de Fresnel y reflexiones

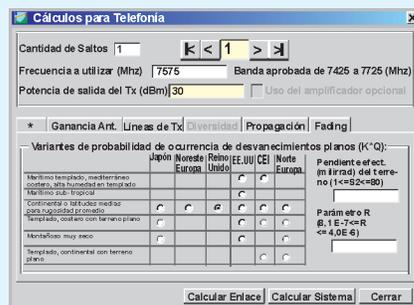


Figura 24 Desvanecimientos planos

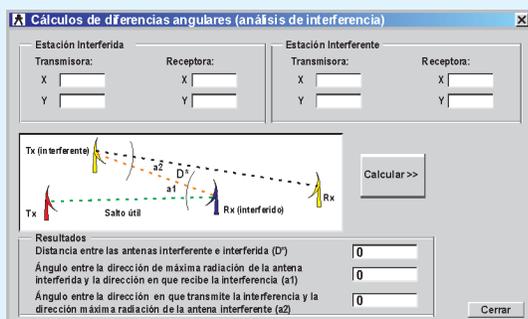


Figura 25 Cálculo de diferencias angulares

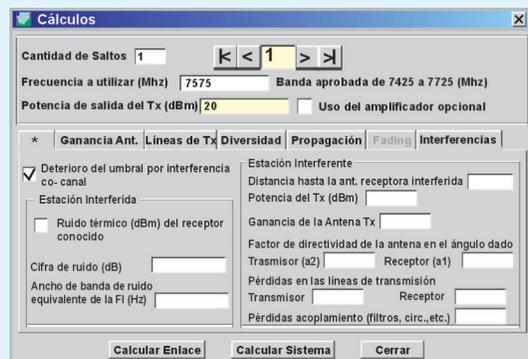


Figura 26 Cálculos

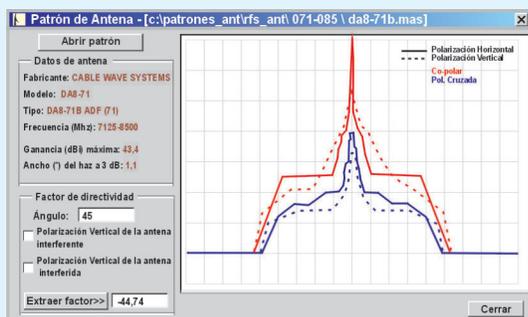
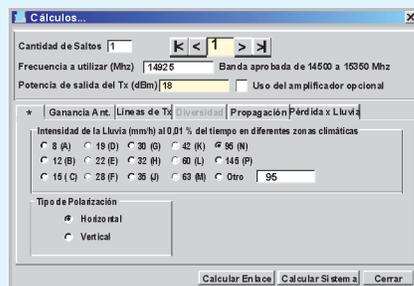


Figura 27 Patrón de antena

Figura 28 Cálculos de pérdidas por lluvias



Uso de la diversidad y conmutación

un sistema de radioenlace digital o analógico para telefonía, televisión o radiodifusión —con normas nacionales o internacionales—, y se verifica si se cumplen los objetivos de calidad de la UIT-R, o de indisponibilidad definidos.

Si las ganancias de las antenas parabólicas no son conocidas, el *check mark* se retira y se procede a calcular sus ganancias (Figura 20).

En caso de usar la diversidad híbrida, debe marcarse —desde el punto de vista de los cálculos de calidad— la diversidad de espacio. Si se emplea la diversidad cuádruple, debe marcarse la de espacio y la de frecuencia.

Desvanecimientos planos

Los desvanecimientos planos se activan para los casos en que los cálculos no estén referidos a Cuba y para frecuencias < 10000 Mhz.

Cálculo de sistemas de interferencias

Los patrones de las antenas se utilizan para extraer el factor de directividad de la antena en el ángulo dado en el cálculo de interferencias; incluye los patrones angulares de las antenas parabólicas de los actuales fabricantes.

La opción pérdidas por lluvia se activa para los casos en que los cálculos no estén referidos a Cuba y con frecuencias >10000 Mhz.

La opción cálculos de sistemas debe ser seleccionada por el

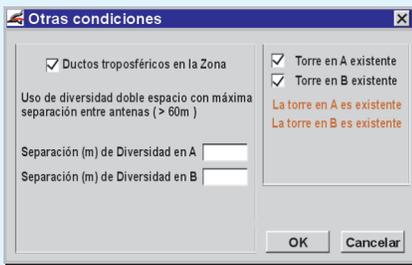


Figura 29 Cálculos de diversidad por ductos troposféricos

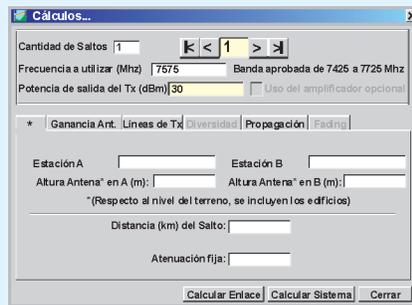


Figura 30 Cálculos de sistema

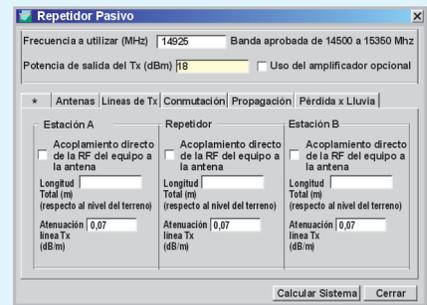


Figura 31. Repetidor pasivo —telefonía, radiodifusión, o televisión—

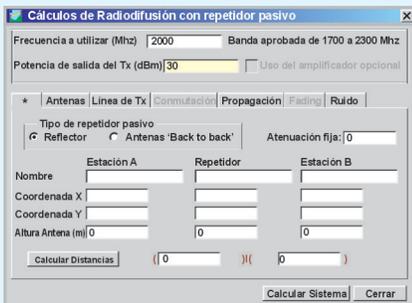


Figura 32 Cálculos de radiodifusión con repetidores pasivos

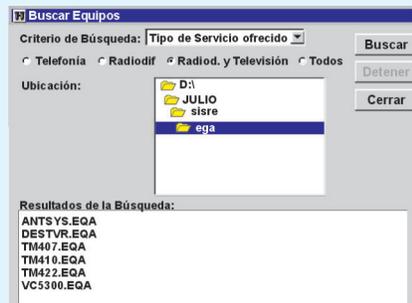


Figura 33 Búsqueda de equipos

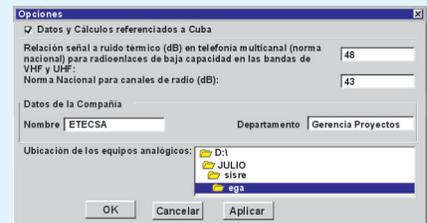


Figura 34 Opciones generales

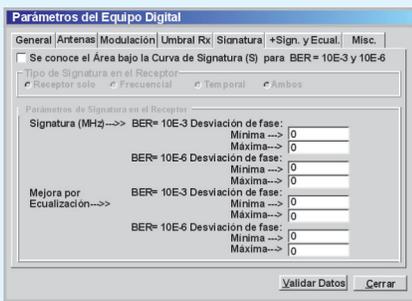


Figura 35 Signatura del equipo digital

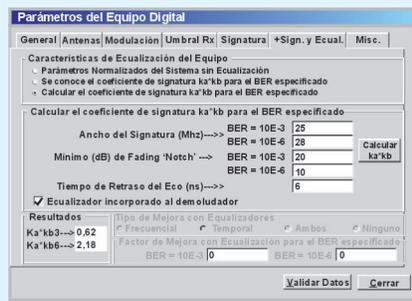


Figura 36 Parámetros del equipo digital

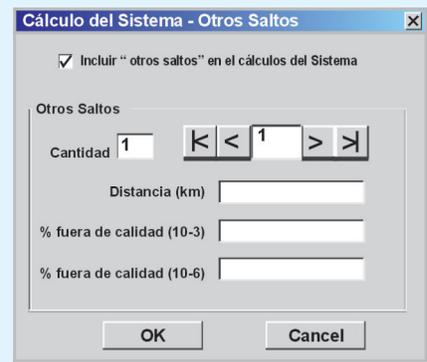


Figura 37 Otros saltos

usuario para calcular sistemas de radioenlaces de uno o más saltos y comparar los resultados del cálculo de calidad o indisponibilidad con las normas nacionales o internacionales.

Este programa permite calcular la indisponibilidad de propagación y el cumplimiento de objetivos de este parámetro, además de la calidad, hasta el margen sobre el umbral, de un salto con equipos digitales o analógicos y repetidor

pasivo. Si en uno de los saltos hay reflexiones, no es recomendable el uso de un repetidor pasivo.

Tampoco es aconsejable en frecuencias menores de 1000 Mhz y por encima de 15000 Mhz, debido a su baja eficiencia de operación.

Para los cálculos de calidad o indisponibilidad se usan las normas internacionales.

El uso de un repetidor de dos o más reflectores en la zona de Rayleigh es una solución costo-

sa, difícil de construir y ajustar; y no es recomendable.

La diversidad de espacio con reflector es muy costosa; en *Back to Back*, por su baja eficiencia, se obtienen bajos márgenes de desvanecimiento, y la diversidad de frecuencia requiere de separación de frecuencias fuera de las semibandas UIT-R.

La longitud de las líneas de transmisión en las estaciones A y C, se considera de acuerdo con las

alturas de las antenas y la longitud adicional del equipo a la torre.

En frecuencias superiores a 10 Ghz, la longitud de las líneas de transmisión puede ser nula porque los equipos se acoplan directamente a las antenas en RF. Si existe un pequeño tramo de guía de onda de interconexión, la pérdida que introduce, en transmisión y recepción, puede considerarse como atenuación fija.

La búsqueda de equipos analógicos puede realizarse según criterios, nombre del equipo, nombre del archivo, tipo de servicio ofrecido, tipo de conmutación, capacidad radiocanal, nombre de usuario. La figura 33 muestra cómo debe hacerse la selección en la lista para lograr la correcta búsqueda de equipos.

Otra de las posibilidades de esta versión de Maxwell es establecer las opciones fundamentales para la aplicación en cuanto a datos y cálculos referentes a Cuba u otro país, las normas para el cálculo y los datos generales de la compañía para el encabezado de los informes (Figura 34). Además, se establece la ubicación o directorio donde se encuentran los archivos con los datos de los equipos.

En los equipos digitales, si el área bajo la curva de la signatura se desconoce, y no se activa esta opción, entonces se activan otros métodos eficientes para el cálculo de la signatura —parámetros normalizados del sistema sin ecuación ($Kn = Ka * Kb$), se conoce el coeficiente de signatura $Ka * Kb$ para el BER especificado, y dada la curva de la signatura para el BER especificado (de 10^{-3} y 10^{-6})—.

Pueden incluirse otros saltos de interés en el cálculo de los sistemas digitales o analógicos (Figura 37), para realizar cálculos integrales de sistemas, por ejemplo, la inclusión de un pasivo en un sistema de

radioenlaces que posee repetidores activos.

Maxwell constituye un sistema de cálculos de propagación de visión directa, o casi directa, en las frecuencias superiores a 30 Mhz donde las variaciones de los parámetros electromagnéticos del medio —conductividad, permitividad y permeabilidad complejas— tienen influencia secundaria; y por debajo de 50000 Mhz, pues la atenuación provocada por los gases todavía es permisible.

El sistema está validado, para cada parámetro —dentro de la gama de valores lógicos— introducido por el usuario y para cada método de cálculo, por sus condiciones de aplicación.

Pueden realizarse cálculos de sistemas de radioenlaces con repetidores activos o pasivos —si hay reflexiones no es conveniente el uso de repetidores pasivos—, tanto digitales como analógicos en los servicios de telefonía, televisión o radiodifusión.

La calidad de los sistemas de radioenlaces —de uno o más saltos— puede calcularse en dos versiones de las normas de operación: la nacional y la internacional.

En la variante digital pueden realizarse cálculos de interferencia intra o extra sistemas o por sobresalto —*over-reach*—, en función de la frecuencia, para tener en cuenta la degradación de la calidad —deterioro del umbral— de la red provocada por perturbadores, a una misma frecuencia —co-canal— o frecuencia cercana, en dependencia de la atenuación por filtros de radiofrecuencia del sistema analizado, y si alcanzan a otros saltos en dependencia de su distancia relativa al perfil útil, la topografía, topología de la red, y la discriminación de las antenas.

A pesar de que la aplicación es una herramienta de uso profesional, es

sencilla y posee un diseño lógico del cálculo tradicional. Las variantes y sugerencias de métodos, de manera automática, evitan errores en la entrada de datos y resultados incorrectos o incoherentes. La nueva organización de los componentes para el cálculo y la interfase, brindan una fácil y rápida manera de obtener resultados sin grandes esfuerzos. Los resultados del sistema se han comparado con los prácticos.

Bibliografía

Brodhage and Hormuth. *Planning and Engineering of Radio Relay Links*. Pub. Siemens Aktiengesellschaft, Heyden & Son Ltd.: 1977.

Bullington, K. "Radiopropagation Fundamentals". *The Bell System Technical Journal*, vol. 36, (May 1957): 593-626.

Bullington, K. "Radiopropagation at Frequencies Above 30 Mc.". *PI.R.E.*, (October 1961).

Connaissance des liaisons hertziennes. Pub. Alcatel Radiocommunication. France: Space & Defense Group, jan. 1990.

Henne, I.; P. Thorvaldsen. *Planning of line-of-sight Radio Relay Systems*. Pub. ABB Nera. Norway: jun 1994.

Point to Point Radio Relay Systems. Asociación de Estudiantes de Ingeniería. Pub. Universidad de La Habana, 1961.

Reference Data for Radio Engineers. 5th Edition. USA: I.T.T., 1968, pp. 12-27.

UIT-R Report 338-6, 1990 Propagation Data and Predictions Methods Required for Terrestrial Line-of Sight Systems. Annex. to vol. V, Propagation in Non-Ionized Media. Geneva ISBN 92-61 -04211 -2.

UIT-R Rec. P-526-6 Propagación por difracción, Ginebra.

UIT-R Rec. P-530-10 Datos de propagación y métodos de predicción necesarios para el diseño de sistemas terrenales con visibilidad directa, Ginebra.

UIT-R, Rec. P453-8 Indice de refracción radioeléctrica: su fórmula y datos sobre la refractividad, Ginebra.

UIT-R, Rec. F-752-1 Técnicas de diversidad para sistemas de relevadores radioeléctricos, Ginebra.

UIT-R, Rec. F-1093 Efectos de la propagación multitrayecto en el diseño y funcionamiento de los sistemas de radioenlaces digitales con visibilidad directa, Ginebra.

UIT-R, Rec. F-634-1 1990 Error Performance Objectives for Real Digital Radio Links Forming Part of a High-Grade Circuit within an Integrated Services Digital Network, vol. IX.