

APROXIMACIÓN A LA TEORÍA DE ANTENAS MEDIANTE UN LIBRO ELECTRÓNICO INTERACTIVO

Carlos Subías⁽¹⁾, Jaume Anguera^(1,2), Lluís Vicent⁽¹⁾

(1) Dept. Teoria del Senyal i Comunicacions, Universitat Ramon Llull, Barcelona

(2) Technology Department, Fractus, Barcelona

csubias@coitt.es, jaumean@salleURL.edu, vicent@salleURL.edu

RESUMEN

El presente artículo muestra una herramienta docente para el soporte en la asignatura de teoría de antenas tanto para formato presencial como semipresencial. La herramienta consiste en un libro electrónico en el cual se fomenta la interactividad y la visualización de fenómenos electromagnéticos mediante videos. Se presentan algunas pautas para la creación del libreo electrónico y se presenta la estructura de algunos capítulos del libro electrónico de antenas.

1. INTRODUCCIÓN

En este artículo se va a mostrar la posibilidad de adaptar la herramienta informática Mathcad a la docencia de teoría de antenas como una nueva tecnología que aporta puntos de vista diferentes al estudio de antenas. El apoyo que pueden dar a la bibliografía clásica mejorando la comprensión y la visualización de los resultados está siendo muy útil [1,2,3].

Mediante el diseño adecuado, un libro electrónico no debe sustituir a uno tradicional como herramienta fundamental en un curso de antenas, sino que ha de mostrar un enfoque totalmente distinto. De este modo se pueden aprovechar las ventajas de la informática en capacidad de cálculo, interactividad etc., pero no se ha de olvidar mantener semejanzas en estructura de los contenidos para facilitar la comprensión, facilitando el salto de un medio a otro.

Para que se vea la forma de elaborar un libro electrónico, primero se explican las características del mismo y el porqué, para pasar después al contenido y la forma de utilizarlo.

2. CARACTERÍSTICAS DE UN LIBRO ELECTRÓNICO

Podríamos definir un libro electrónico como aquel documento informático que permite al usuario no solamente leer los conceptos sino interactuar con los mismos.

En un libro electrónico, como en todas las herramientas informáticas, se puede dividir sus características básicas en dos grandes grupos: las características físicas de formato, tipos de letra etc. y las funcionales que son las necesarias para que cumpla su función. Hay relación entre ellas porque las características físicas deben ayudar a conseguir las funcionales, por eso se explicaran primero estas últimas.

2.1 Características funcionales

El libro electrónico no se diseña como un sustitutivo a la bibliografía tradicional, sino como un apoyo. El objetivo del curso electrónico es mostrar los puntos más importantes sin entrar en los detalles puramente más matemáticos. Dada la dificultad de lectura en una pantalla y que además se necesitan unos contenidos manejables, se han de atacar directamente los conceptos, dejando en segundo plano el desarrollo completo. Al simplificar no se ha de

olvidar la rigurosidad y se han de incluir múltiples anotaciones y referencias a bibliografía donde se puede profundizar más en los detalles.

Se ha optado por la minimización de los desarrollos matemáticos ya que existe una extensa bibliografía de libros de texto sobre teoría de antenas donde el alumno puede encontrar todos los detalles de un riguroso procedimiento matemático.

En las demostraciones es muy interesante poder utilizar una herramienta de cálculo en tiempo real, al igual que en los ejemplos, de este modo se ve directamente la relación entre los parámetros y los resultados; se ahorra tiempo y la relación causa-efecto inmediato queda mucho más clara al usuario.

El trabajar con cálculo en tiempo real y gran cantidad de parámetros modificables por el alumno nos lleva a tener una herramienta con alta interactividad. La interactividad favorece la asimilación de los conceptos, pero hay que ser muy cuidadoso. Esta interactividad ha de estar siempre dirigida, no se puede permitir que el alumno haga cambios indiscriminados en los parámetros sino que hay que irle guiando para que realice las modificaciones adecuadas en cada momento y de este modo mostrarle las características principales del concepto estudiado.

Los parámetros modificables han de ser los mismos (o lo más parecidos posible) a los utilizados en las demostraciones de la bibliografía clásica. De este modo se facilita el trabajo con referencias, y puede haber una gran coherencia entre los diferentes apartados del libro digital. Por otro lado tampoco se ha de inundar de parámetros, porque si hay demasiados el estudiante puede perderse en medio de una gran serie de pruebas.

En resumen, se necesita un documento manejable, tanto en su extensión como en su tamaño en disco duro, sencillo de utilizar (no debe necesitar instrucciones de manejo), que pueda ser consultado de forma rápida (referencias cruzadas, etc.), con una interfaz amigable y divertida.

2.2. Características físicas, recursos de diseño electrónico

En este apartado se hablará de unos cuantos de los recursos de diseño utilizados en la redacción del libro electrónico para intentar cumplir con las características del apartado anterior [4-9].

La capacidad de lectura en una pantalla es del orden de una tercera parte que sobre un libro tradicional, por lo tanto es un punto muy importante facilitar la legibilidad de los contenidos. El texto ha de ser claro con una buena estructuración de los textos; los dibujos y los espacios en blanco en las hojas es muy importante de cara a facilitar la lectura. El tipo de letra ha de ser sencillo, sin remates en los extremos (*sans serif*, los remates en una pantalla se aprecian mucho menos que en el papel por la menor resolución con lo cual no aportan información y solo pueden servir para propiciar cansancio). El tamaño de la letra ha de ser lo bastante grande, y si es posible configurable por el usuario. También se facilita la lectura utilizando un interlineado mayor que en los textos escritos (el recomendado es 1.5 compromiso entre claridad y capacidad de las páginas).

Las líneas de texto no deben estar demasiado cargadas; las columnas estrechas se leen más rápido que las anchas (de ahí que la prensa se escriba en columnas estrechas) pero no hay que olvidar que es muy importante que en cada línea quede una unidad de significado completa, ayuda a dar claridad al texto.

Los tipos de letra en todo el libro deben ser uniformes, el cambio de tipo de letra, o la inclusión de negrita, subrayado etc. fija la atención en esas palabras potenciando la idea que representar. Por eso hay que ir con mucho cuidado con el énfasis, muy recomendable dejarlo sólo para títulos y alguna que otra palabra clave de cara a facilitar la lectura en diagonal.

Utilizar un tipo de letra diferente para cosas diferentes (ecuaciones y texto por ejemplo) ; puede ayudar a que el usuario distinga automáticamente diferentes partes en las hojas, pero un exceso conduce a un caos generalizado en el documento.

El tema de los colores es muy importante. No hay que recurrir tampoco en exceso al uso de colores porque se puede producir un efecto de árbol de navidad desagradable para el lector. En el texto principal debemos tener gran contraste entre la letra y el fondo (negro sobre blanco es el mejor). También hay que crear unas gamas de colores uniformes y utilizarla en todo el libro. Esta gama de colores ayuda a estructurar el documento, y sirve de guía al usuario (mejor incluso que el uso de negritas y/o mayúsculas en los títulos es diferenciarlos con colores usando una gradación de más a menos importante). En el libro electrónico se representan gran cantidad de gráficos, el uso de los colores en estos gráficos ha de estar relacionado con el del texto principal, para facilitar la integración de éstos en el documento.

El juego de colores recomendado en diseño electrónico es muy pequeño (256 colores de la paleta estándar como máximo), y aunque parezca una disminución de las posibilidades hay que tener en cuenta que nunca se sabe qué equipo tendrá el usuario y se ha de llegar al máximo número de usuarios posible. Hay que trabajar con colores suaves, baja saturación, para evitar cansancio en el lector, y con transiciones suaves entre unos y otros. Muy importante también tener en cuenta la relación entre los colores utilizados y la idea que se va a transmitir, porque la mayoría de los colores tienen una significación social bastante marcada.

El uso de todos estos recursos ha de potenciar la facilidad de lectura, la estructuración del texto, y servir de guía al lector. Muy importante para la interactividad resaltar los parámetros modificables, y las ideas más importantes para conseguir que se graben mucho mejor [1,2].

3. CONTENIDO DEL LIBRO ELECTRÓNICO

Este libro electrónico de antenas trabaja por el momento sobre antenas de hilo y agrupaciones de antenas [10]. Está estructurado en dos capítulos relacionados entre sí pero que se pueden trabajar de modo independiente. De hecho, cada sub-apartado de cada capítulo es independiente del resto y nos transmite un concepto. La unión entre todos ellos se da por la estructura global, idéntica en cada página y por referencias en los más complejos a partes más sencillas.



Fig. 1 Página principal del libro electrónico de teoría de antenas en su versión v1.0

El presente libro va a servir de complemento para los alumnos que cursan teoría de antenas en las carreras de ingeniería superior en electrónica y telecomunicación de la Universidad Ramon Llull- Barcelona.

3.1 Antenas de Hilo

En este capítulo se trabaja sobre las antenas más básicas los dipolos [11]. Se muestran sus características más relevantes tanto de su comportamiento como a la hora de diseñar dipolos para aplicaciones prácticas. Este capítulo consta de seis partes: dipolos, antenas de hilo sobre planos conductores, impedancia de entrada, monopolos cargados, ancho de banda y factor de calidad y animaciones de campo radiado. Estos apartados se desarrollan en nueve hojas a modo de ejercicios.

3.1.1. Dipolos

Los dipolos son las antenas más sencillas. El trabajo se separa en dos partes: en una primera se calcula la radiación de un dipolo cualquiera a partir de la corriente que circula por el mismo; en la segunda parte se calculan las características de radiación. Se ilustran diagramas de radiación en 2D y 3D, aprovechando el cálculo en tiempo real para ver las variaciones, e incluso en el diagrama 3D se puede cambiar el punto de vista.

El parámetro más relevante en este tipo de antenas es la longitud (se trabaja relacionando la longitud con la longitud de onda, λ), y toda la interacción con el alumno es en torno a este parámetro, mostrando las variaciones que produce al cambiarla.

Las características que se estudian del dipolo son: directividad, resistencia de radiación, eficiencia y ganancia ya que de este modo se pueden comparar los resultados con cualquier otro tipo de antenas.

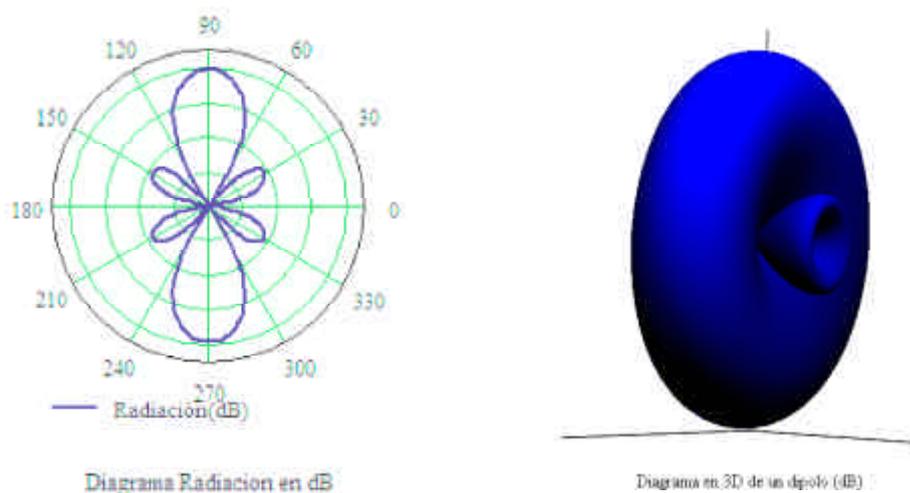


Fig. 2 Ejemplo de visualización de un diagrama de radiación 2D y 3D para un di polo de longitud $5\lambda/4$

3.1.2. Antenas sobre planos conductores

Las antenas sobre planos conductores son un caso muy extendido en la realidad, de hecho la tierra se comporta como un plano conductor dependiendo del margen frecuencial operación. Se trabaja en dos tipos de plano conductor, un Conductor Eléctrico Perfecto (PEC) y un Conductor Magnético Perfecto (PMC). El desarrollo dentro de las hojas de trabajo es análogo para poder realizar comparaciones directas.

Se trabaja con dos posiciones, horizontal y vertical, ortogonales entre sí, para poder comparar una con la otra. La forma de estructurar el ejercicio es igual que en el dipolo, primero se calculan los diagramas de radiación en 2D y 3D para sacar después las características de la antena, y poderla comparar con dipolos aislados u otro tipo de antena.

3.1.3. Impedancia de entrada

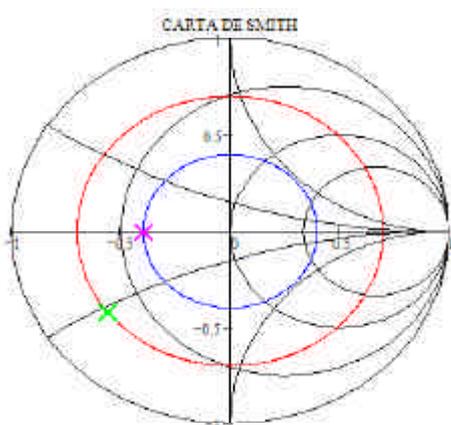
Este apartado es muy importante de cara a la implementación de sistemas físicos. A partir de ecuaciones de impedancia de entrada resueltas analíticamente se generan gráficos de coeficiente de reflexión, impedancia y puntos de resonancia. Mediante estas gráficas acercamos el resultado de unas ecuaciones complicadas, viendo directamente el comportamiento de las mismas. De este modo se facilita la comprensión del concepto de antena resonante y la importancia de la impedancia de una antena.

$$Z_e(h, a) = j \cdot 30 \frac{1}{(\sin(kh))^2} \int_{-h}^h \sin[k(h - |z|)] \left[\frac{e^{-j \cdot k \cdot \sqrt{(h-z)^2 + a^2}}}{\sqrt{(h-z)^2 + a^2}} + \frac{e^{-j \cdot k \cdot \sqrt{(h+z)^2 + a^2}}}{\sqrt{(h+z)^2 + a^2}} - 2 \cdot \cos(kh) \frac{e^{-j \cdot k \cdot \sqrt{a^2 + z^2}}}{\sqrt{a^2 + z^2}} \right] dz$$

Fig. 3 Mathcad permite resolver integrales simbólicas para luego estudiar de forma paramétrica un determinado comportamiento. En este caso, se utiliza para calcular la impedancia de entrada de dipolos

3.1.4. Monopolos cargados

En baja frecuencia es difícil construir una antena resonante eficiente. En este apartado se muestra como hacer resonar una antena eléctricamente corta mediante bobinas o condensadores.



Se trabaja sobre un monopolo sobre un plano eléctrico. El alumno interactúa con el monopolo y la carga que lo hace resonar a 0.25 λ viendo el efecto que esta produce según su posición y como se van modificando las características de la antena (eficiencia, directividad, ganancia).

La ayuda de la herramienta informática nos permite generar gráficas que varían al interactuar con los parámetros, así como cartas de Smith ayudando a entender mejor el concepto de antena resonante.

Fig. 4 Se fomenta la utilización de carta de Smith para estudiar el efecto que produce una carga en la impedancia de una antena eléctricamente pequeña

3.1.5 Ancho de banda

El comportamiento en frecuencia de una antena es muy importante dependiendo de la aplicación que se le vaya a dar. Este es un apartado que no se suele tratar muy a fondo en los manuales clásicos pero que hay que tener en cuenta a la hora de fabricar una antena.

El ancho de banda se calcula a partir de las ecuaciones de factor de calidad, se generan gráficas del límite de Chu y se puede ver de este modo la evolución y donde se encuentran las antenas de hilo [12,13]

3.1.6 Animaciones

Este apartado es una ampliación del de los dipolos. No se explica ningún concepto teórico nuevo. A partir de las ecuaciones de radiación del dipolo elemental en régimen permanente se representan graficas de campo radiado para cualquier antena de hilo. El desarrollo matemático no es completo, se calcula campo lejano en régimen permanente (el caso más sencillo), que es un caso muy representativo.

El alumno puede interactuar con el sistema creando todo tipo de animaciones de campo, modificando el tipo de antena y pudiendo comparar una y otra en tiempo real.

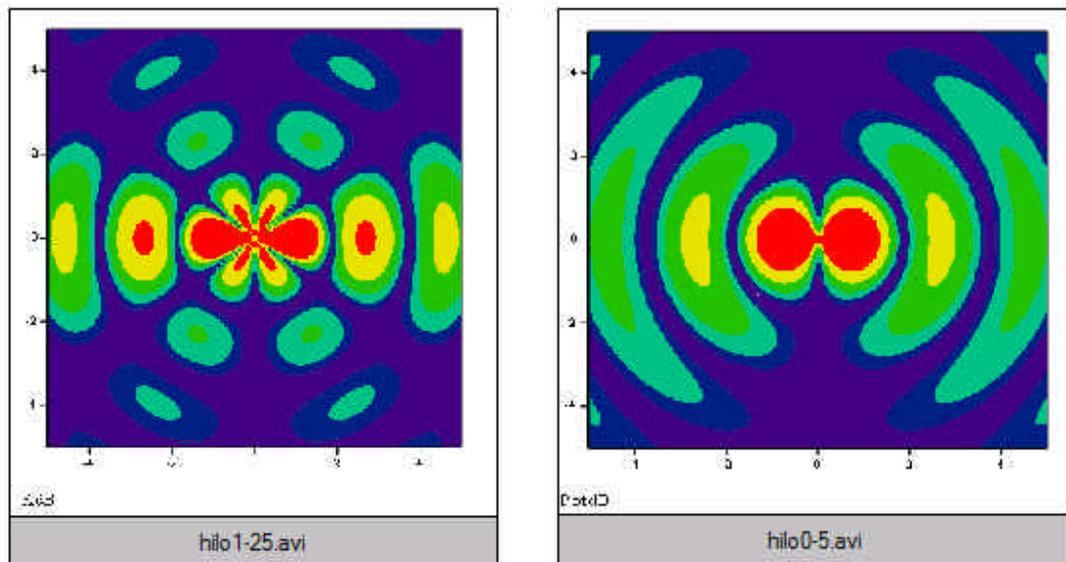


Fig. 5 Para consolidar el conocimiento teórico, el libro consta de diversos videos sobre radiación de antenas, barridos de haz, conformado de diagramas entre otros

3.2. Agrupaciones de antenas

Este capítulo trata las agrupaciones en sentido genérico, no necesariamente de antenas de hilo [14]. De este modo es independiente del capítulo anterior, pero si aprovecha los conceptos básicos explicados en el anterior, como por ejemplo la directividad.

Al ser un apartado de mayor complejidad matemática se potencia más que en el capítulo anterior la parte gráfica del desarrollo, que clarifica mejor los conceptos, es más amena y mucho más interactiva.

Este capítulo consta de cuatro apartados: hilos de corriente, agrupaciones lineales, agrupaciones bidimensionales y síntesis de agrupaciones. Estos apartados se desarrollan en siete hojas de trabajo, con ejercicios diferentes en cada una de ellas.

3.2.1. Hilos de corriente

Los hilos de corriente con los que se trabaja no son entes físicos, sino abstracciones matemáticas. Estos modelos matemáticos son muy útiles a la hora de introducir los conceptos básicos de la necesidad y utilidad de las agrupaciones de antenas.

Mediante tres tipos de distribuciones de corriente sencillas (uniforme, triangular, binómica) se presentan las características objetivo de los *arrays*, directividad elevada, barridos y posibilidad de apuntamiento del haz, y síntesis de diagramas.

3.2.2. Agrupaciones lineales

Tenemos dos páginas que trabajan sobre agrupaciones lineales: la primera a modo de introducción trabaja con las llamadas distribuciones canónicas (uniforme, triangular, binómica) relacionándolas con los hilos de corriente como un muestreo de los mismos.

El usuario puede modificar los parámetros de elementos, distancia entre elementos y fase progresiva (apuntamiento del haz), comparando en todo momento los efectos sobre las tres distribuciones a la vez. De este modo se le introducen también las limitaciones por *aliasing* y otras distorsiones.

En un segundo ejercicio se deja crear al alumno su propio *array*, dando los parámetros a cada elemento y viendo los resultados en tiempo real. Además se comparan los resultados que obtiene con las agrupaciones canónicas, y mediante comentarios guía se le lleva a hacer los experimentos más relevantes.

3.2.3. Agrupaciones bidimensionales

Las agrupaciones bidimensionales con las que se trabaja son las agrupaciones planas. Se relacionan estas agrupaciones con las agrupaciones lineales, indicando que en según que casos una agrupación plana se comporta como dos agrupaciones lineales anidadas.

Se muestra el comportamiento en cuanto a directividad y apuntamiento igual que en los apartados anteriores, y aprovechando la posibilidad de los diagramas en 3D el usuario puede apuntar el haz en cualquier dirección del espacio.

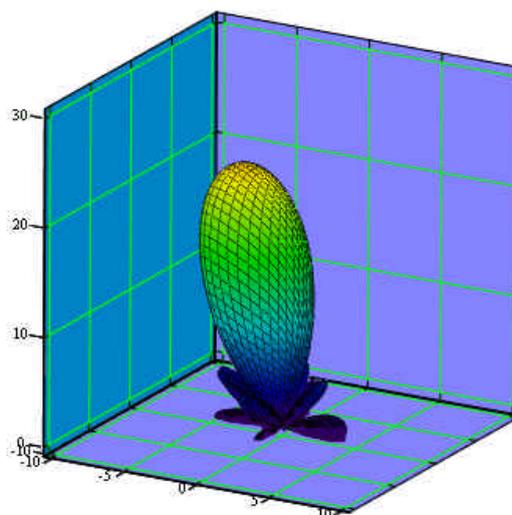


Fig. 6 Diagrama 3D de una agrupación bidimensional. El alumno puede manipular las fases para observar el efecto del desajuste del haz principal

3.2.4. Síntesis de agrupaciones

El libro acaba con un acercamiento a la síntesis de diagramas de radiación mediante arrays de antenas. El método de síntesis que se utiliza es el de Fourier, por ser muy conocido entre los alumnos de otras materias como la de procesado de señal.

Se trabaja con diagramas en forma de abanico, teniendo en cuenta la posibilidad de apuntar en cualquier dirección y limitando (el usuario) la amplitud de los lóbulos secundarios. Hay tres hojas de trabajo, una primera introductoria que muestra la capacidad de síntesis según el número de elementos, una segunda donde se sintetizan diagramas sencillos y en la tercera se controlan los lóbulos secundarios.

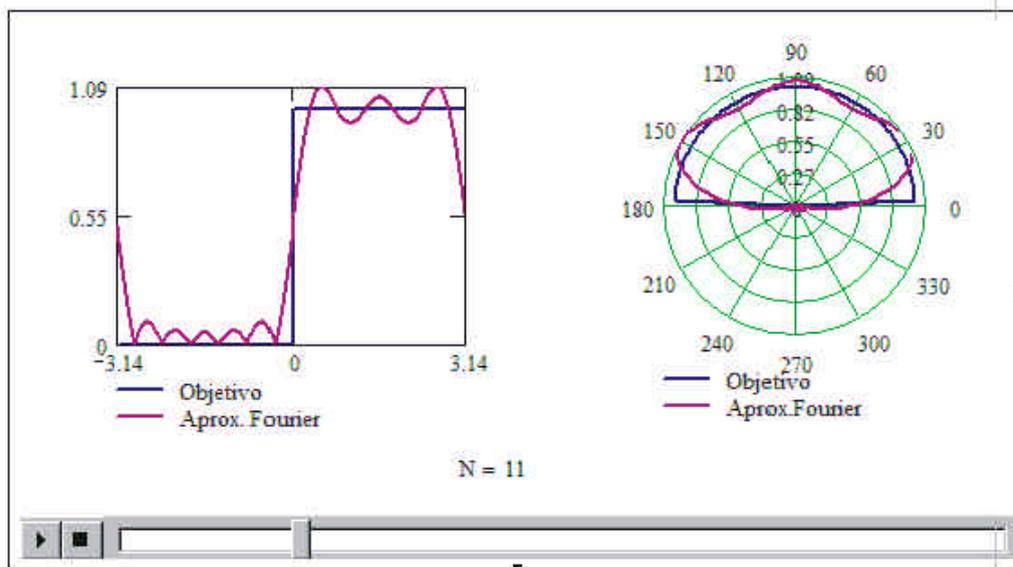


Fig. 7 El uso de películas ayuda a comprender qué sucede al variar un parámetro. En este caso se estudia como se aproxima un diagrama a un patrón al aumentar el número de fuentes de una agrupación

4. CONCLUSIONES

El concepto del libro electrónico es un concepto revolucionario en el campo de la docencia. La posibilidad de interactuar con las ecuaciones que se explican, el cálculo en tiempo real que permite modificar los resultados mediante unos parámetros clave y los gráficos (animaciones, 3D...), modifican la forma de asimilar la información por parte del alumno.

Pero estas características por sí solas no garantizan el aprendizaje correcto de los conceptos, ni siquiera que el alumno reciba el mensaje que se pretende dar. No tenemos garantizada una comunicación óptima entre el autor y el alumno. El libro electrónico ha de tener un diseño muy cuidadoso. Un diseño muy diferente del de un libro escrito, porque el canal de comunicación es muy diferente. A este libro electrónico se le ha dado un diseño específico para documentos electrónicos y de este modo se maximiza la utilización por parte del alumno.

Se aprovecha a fondo el MathCAD, un programa que mediante el “Live Document Interface” aparte de realizar los cálculos necesarios de la teoría de antenas proporciona la

interactividad y el diseño gráfico. Un programa muy potente que aúna las características de un procesador de textos, una hoja de cálculo y un lenguaje de programación matemático.

5. BIBLIOGRAFIA

[1] K.W. Whites, "Visual Electromagnetics for MathCAD", McGraw-Hill, 1998.

[2] R.R. DeLyser "Using MathCAD in electromagnetics education", IEEE Transactions on education, vol. 39 n° 2, mayo 1996

[3] P.S.Kildal, "Foundation of antennas: a unified approach", Studentlitteratur, Lund

[4] <http://www.libros-electronicos.net>

[5] <http://www.virtualibro.com>

[6] <http://www.gaiferos.com>

[7] <http://proyecto-e-book.zonadesign.com.ar/>

[8] <http://www.maestrosdelweb.com>

[9] <http://www.angelfire.com/az2/educacionvirtual/>

[10] C.Subías, "Libro electrónico: una aproximación a la teoría de antenas", proyecto fin de carrera, Ingeniería Superior de Telecomunicación, Universitat Ramon Llull, Juny 2003, Director J.Anguera.

[11] C.A. Balanis, "Antenna Theory, Analysis and Design", Harper & Row, NY 1992

[12] J.S. McLean "A Re-Examination of the fundamental limits on the radiation Q of electrically small antennas" IEEE Transactions on antennas and propagation, vol. 44 n° 5, mayo 1996

[13] J.C.-E.Sten, A.Hujanen, P.K. Koivisto "Quality factor of an electrically small antenna radiating close to a conducting plane", IEEE Transactions on antennas and propagation, vol. 49 n° 5, mayo 2001

[14] N.E. Arias, "Calculating multi-element antennas using MathCAD", Applied microwave & wireless, February 2001