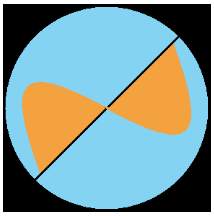
Antena Libro



En el caso común de un dipolo extendido, la longitud adecuada de alambre para operar en el aire es un 5 por ciento menor que la longitud calculada para el vacío. Este documento está referido al vacío. En el caso de la antena libro, ignoro las consecuencias de operar en el aire.

(1-a) Características de la emisión

La energía se transfiere del alambre de la antena a la radiación emitida. A nivel elemental, la materia está constituida por cargas Q_o, del mismo tipo que las cargas constituyentes del fotón. El valor medio de la posición de cada Q_o dentro de la materia es fijo. El valor medio de la energía que dos Q_o determinan por interacción mutua es constante. Entonces ese valor medio es formulable aplicando las leyes electrostáticas y magnetostáticas.

En el documento titulado James Clerk Maxwell Conocimiento Prohibido hemos visto que la mitad de $m\ C^2$ es energía del campo eléctrico y la otra mitad es energía del campo magnético. Entonces el valor medio de la energía total es el doble del valor medio de la energía energía del campo eléctrico. Esto permite basar los cálculos en el campo eléctrico, multiplicando por 2 el resultado.

Podemos plantear algunas preguntas referidas al proceso de emisión.

- ¿ Podrían ser iguales, en alguna condición, la energía del fotón y el doble de la energía electrostática entre dos cargas Q_o de la materia ?
- ¿ Es razonable suponer que cuando se transfiere energía de la materia a la radiación, las Q_o de la materia y las Q_o de la radiación resuenan a la misma frecuencia ?
- Si la materia y la radiación resuenan a la misma frecuencia en la transferencia, ¿ podríamos calcular la longitud del segmento resonante correspondiente a esa frecuencia ?

La permeabilidad μ_o y la permitividad ε_o son, respectivamente, la inductancia por unidad de longitud y la capacitancia por unidad de longitud del vacío, como vimos en el documento dedicado a Maxwell. A un segmento trazado en el vacío le correspoden una inductancia y una capacitancia determinadas por esas constantes. Entonces cada segmento resuena a la frecuencia que su longitud determina. En el vacío, la relación entre longitud y frecuencia de resonancia es biunívoca. Lo mismo sucede si tomamos un rollo de cuerda para guitarra, cortamos trozos de longitudes distintas e instalamos los trozos de forma tal que todos queden con la misma tensión. Entre la longitud y la frecuencia de resonancia de los trozos observaremos una relación similar a esa que corresponde a los segmentos del vacío.

(1-b) Longitud de transferencia

Deseamos determinar el intervalo de longitud r que posibilita la transferencia de energía de la materia a la radiación. Las cargas libres en la materia tienen valor e . Las cargas en la radiación tienen valor Q_o . Se transfiere a la radiación la energía del campo magnético de las cargas libres. Por eso igualaremos la energía del fotón con el valor medio de la energía magnética de las cargas e , que es igual al valor medio de la energía coulombiana.

$$\frac{2\ \pi\ Q_o^2}{\varepsilon_o\ C}\ \nu = \frac{1}{4\ \pi\ \varepsilon_o}\ \frac{e^2}{r_1} \tag{1}$$

Simplificamos y después despejamos.

$$\frac{2\ \pi\ Q_o^2}{C}\ \nu = \frac{1}{4\ \pi}\ \frac{e^2}{r_1}$$

$$r_1 = \frac{1}{8\ \pi^2}\ \left(\frac{e}{Q_o}\right)^2\ \frac{C}{\nu}$$

Recordamos

$$\frac{C}{\nu} = \lambda$$

Entonces,

$$\boxed{r_1 = \frac{1}{8\ \pi^2}\ \left(\frac{e}{Q_o}\right)^2\ \lambda} \tag{2}$$

$r_1 \quad \rightarrow \quad$ distancia entre cargas e para transferencia de energía óptima

En el documento dedicado a Maxwell vimos los siguiente.

$$\frac{e}{Q_o} = \frac{-3 + \sqrt{13}}{2} \tag{3}$$

En caso de haber razonado bien, la ecuación (2) indica que para emitir ondas con longitud de onda λ , la separación entre las cargas e de la materia debe ser igual a λ dividida por 861,286970... . Entonces necesitamos trozos de material conductor separados por una distancia r_1 igual a

$$r_1 = \frac{\lambda}{861,286970...}$$

para transferir energía eficientemente de la materia a la radiación.

(2-a) Transferencia óptima

La transferencia óptima se logra en resonancia. ¿ Cuál es en el vacío la longitud que resuena con una frecuencia dada ?

Sabemos que μ_o y ε_o son respectivamente inductancia y capacitancia por unidad de longitud.

$$\mu_o = \frac{\mathscr{L}}{r_2} \tag{4}$$

$$\varepsilon_o = \frac{\mathscr{C}}{r_{_2}} \tag{5}$$

$\mathscr{L}$ $\rightarrow$ inductancia
$\mathscr{C}$ $\rightarrow$ capacitancia
$r_{_2}$ $\rightarrow$ longitud del segmento resonante

Multiplicamos M.A.M. (3) por (4) . Después despejamos.

$$r_{_2}^2 = \frac{\mathscr{L}\,\mathscr{C}}{\mu_o\ \varepsilon_o} \tag{6}$$

En resonancia se cumple lo siguiente.

$$\mathscr{L}\,\mathscr{C} = \frac{1}{\omega^2} \tag{7}$$

En (5) aplicamos (6) .

$$r_{_2}^2 = \frac{1}{\omega^2\ \mu_o\ \varepsilon_o} \tag{8}$$

Recordamos lo siguiente.

$$\omega = 2\ \pi\ \frac{C}{\lambda}$$

$$\mu_o\ \varepsilon_o = \frac{1}{C^2}$$

Aplicamos eso en (7).

$$r_{_2}^2 = \frac{C^2}{\left(2\ \pi\ \frac{C}{\lambda}\right)^2}$$

Simplificamos, ordenamos y radicamos.

$$\boxed{r_{_2} = \frac{\lambda}{2\ \pi}} \tag{9}$$

En (9) está expresada la longitud del segmento resonante, que coincide con el diámetro del fotón. La sección transversal del fotón es un círculo cuyo diámetro es igual a $r_{_2}$. Por ser el fotón cilíndrico, todos los diámetros de la sección transversal resuenan a la frecuencia de la propagación.

(2-b) Sistema irradiante óptimo

Las ecuaciones (2) y (9) implican lo siguiente. Para construir un sistema irradiante óptimo necesitamos delimitar electromagnéticamente una región del vacío que tenga el tamaño indicado en (9) . Específicamente, delimitarla utilizando conductores separados mutuamente por la distancia indicada en (2).

Por ejemplo, para el centro de la banda de 80 m , en el vacío tendríamos lo siguiente.

$$\lambda = 82,701368\ m \cong \quad 82,701\ m$$

$$r_1 = 0,09602068861339148969222811514883 4\ m \cong 0,096\ m \leftarrow \boxed{9,6\ cm}$$

$$r_2 = 13,16233151766189398090601906389 5\ m \cong 13,162\ m \leftarrow \boxed{13\ m\ con\ 16\ cm\ y\ 2\ mm}$$

Otro ejemplo.

Para el centro de la banda de 2 m , en el vacío tendríamos lo siguiente.

$$\lambda = 2,053373\ m \cong \quad 2,053\ m$$

$$r_1 = 0,0023840...\ m \cong 2,384\ mm \leftarrow \boxed{2,4\ mm}$$

$$r_2 = 0,32680446296143440129376015984751\ m \cong 0,32680\ m \leftarrow \boxed{32,7\ cm}$$

La separación r_1 debe ser respetada cuidadosamente y debe ser muy pareja en todo el recorrido del alambre. Si fuese posible respetar todos los decimales, con precisión hasta el orden atómico, la transferencia de energía sería óptima. En la práctica, cada decinal respetado mejorará el rendimiento.

(3-a) Cumplir en la práctica las condiciones óptimas

- Una posibilidad, para banda de 80 m, es disponer dos alambres paralelos, con una separación mutua de $0,096\ m$, es decir de $9,6\ cm$. La masa del transmisor conectada a uno de los alambres y el terminal vivo al otro alambre.
- ¿ Qué longitud debería tener ese par de alambres ? La longitud del segmento resonante es r_2 . ¿ Significa eso que podemos disponer un par alambres rectos de longitud r_2 ?

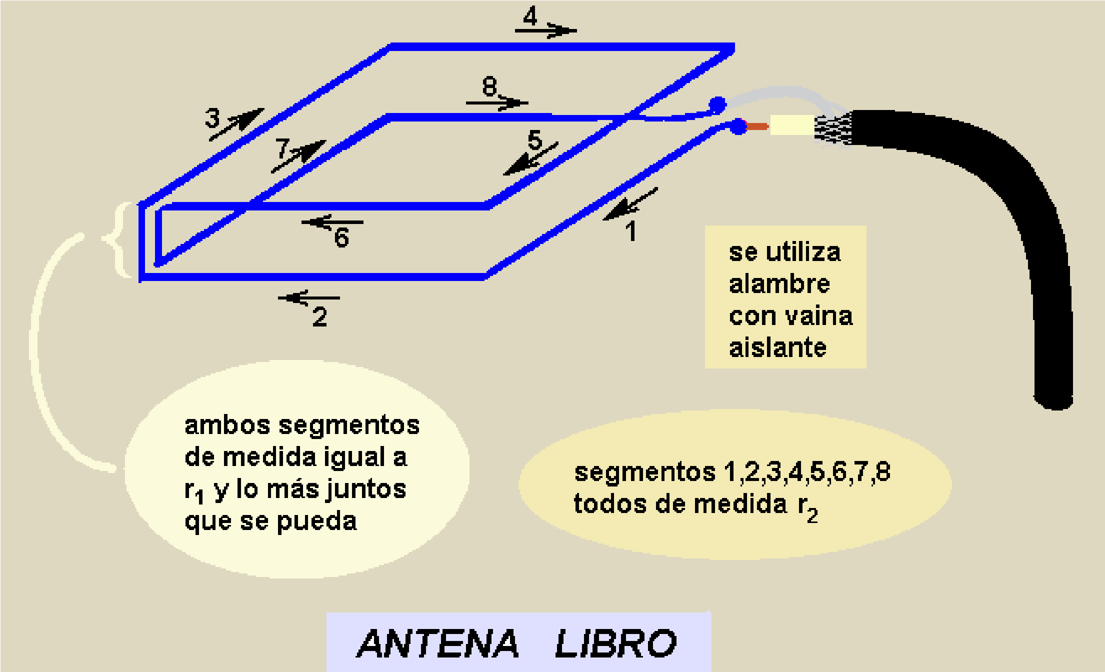
  Razonemos. En caso de disponer alambres de longitud r_2 , no tendríamos un segmento del vacío resonando a la frecuencia de propagación, porque el segmento estaría ocupado por materia, que es el alambre.

  Para tener segmentos de longitud r_2 libres de materia, el par de alambres debe enmarcar una región del espacio que, en alguno o algunos de sus trazos geométricos, tenga medida r_2 . Una posibilidad es formar con el par de alambres un marco cuadrado, con lados de medida r_2 . Cada par de lados mutuamente paralelos obra como un par de marcas materiales separadas mutuamente por una distancia r_2 y, entre esas marcas, hay infinitos segmentos del vacío con medida resonante.

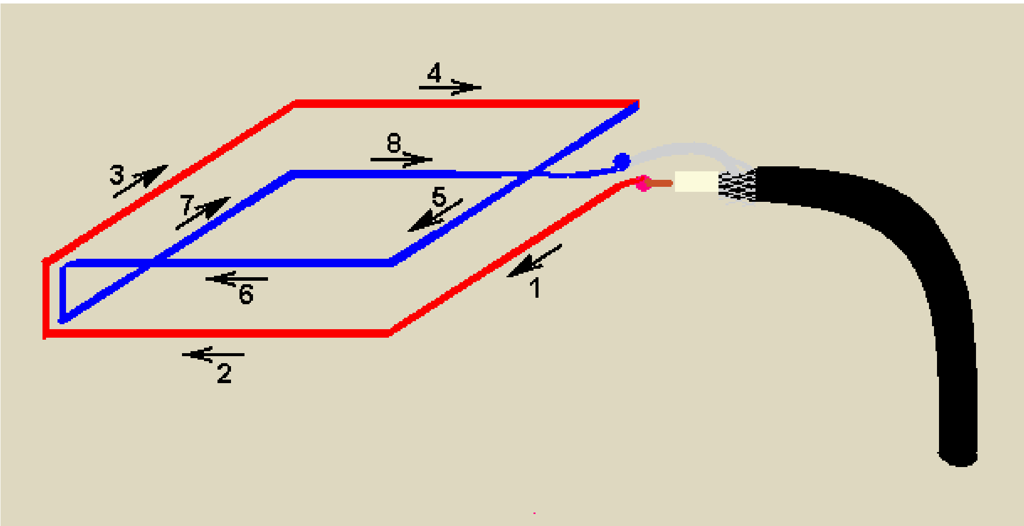
  ¿ Sería un tipo de antena cuadro ? Geométricamente sí, aunque el razonamiento que nos guia seguramente difiere de la teoría de la antena cuadro habitual.
- Cada alambre tiene dos extremos. El par tiene 4 extremos. Y el transmisor tiene dos terminales. ¿ Cómo resolveremos la diferencia numérica ?

(3-b) Estructura de la antena

Pensemos en los dos segmentos de alambre de medida r_1 . El sentido de la corriente en un segmento es opuesto al sentido en el otro. Aproximándolos todo lo posible lograremos que se contrarresten mutuamente los efectos de esos tramos. No se contrarrestarán totalmente porque siempre queda una separación, aunque sea mínima. Pero lo harán en una proporción sufuciente para lograr que los 8 tramos de medida r_2 sean los únicos que contribuyen netamente al campo creado por la antena, como si los dos tramos de medida r_1 no existieran.



¿ Cómo se concibe esa estructura ? Para facilitar la descripción utilicemos el gráfico siguiente.



- ¿ Qué tendríamos en caso de cortar el alambre en el vértice donde se unen los segmentos 4 y 5 ? Las partes roja y azul contendrían cargas de signos opuestos en cualquier fase del ciclo. Los tramos 1 y 7 mantendrían cargas iguales y opuestas separadas por una distancia igual a r_2 . Lo mismo sucedería entre 2 y 8 , 3 y 5 , 4 y 6 . Si conectásemos la antena a una batería que provee tensión continua, tendríamos 4 dipolos eléctricos combinados. Alimentando la antena con radiofrecuencia, tendremos corriente de desplazamiento donde fue practicado el corte. ¿ Qué significa ? La corriente de desplazamiento es un fenómeno que no transporta cargas, pero el campo magnético que produce equivale al campo magnético producido por una corriente. Esa es la razón del nombre.

- ¿ Nada cambia entre cortar y no cortar el alambre en ese vértice ? Cambia la respuesta de la antena respecto a campo eléctricos que aparezcan en el lugar de ubicación. En comparación con la resistencia de radiación, que en el vacío es 376,73 Ω , la resistencia del alambre es muy pequeña. El alambre es casi un cortocircuito entre los terminales en esa comparación. Muy poca energía proveniente de los campos elécricos del ambiente será captada por la antena. Con el vértice abierto la antena capta una gran proporción de esa energía. En el contexto de telecomunicaciones, capta mucho ruido.

- El rendimiento en transmisión no debería cambiar, es decir, debería ser el mismo con el vértice unido 1o cortado.

(4-a) Impedancia de la antena

Realmente no sé como calcularla. La medida $r_2 = \frac{\lambda}{2\ \pi}$ corresponde a resonancia y coincide con el diámetro del fotón, que tiene en el vacío una impedancia $Z_o \cong 376,73\ \Omega$.

Hipotéticamente, la medida r_1 corresponde a la transferencia óptima de energía entre la materia y la radiación. La transferencia es óptima cuando las impedancias son iguales. Si todo estuviese bien razonado eso significaría que, en contexto de las cargas electrónicas, r_1 corresponde a una impedancia igual a Z_o .

En caso de haber razonado bien, la impedancia de la antena sería igual a $Z_o \cong 376,73\ \Omega$ para la frecuencia de resonancia. Esto es solamente una conjetura. No hay seguridad.

(4-b) Ganancia en comparación con el dipolo extendido

No sé cómo calcularla. En caso ser óptima la transferencia de energía entre materia y radiación, debería superar notablemente la ganancia del dipolo extendido.

(4-c) Patrón de radiación

La circulación de la corriente por los 8 tramos de medida r_2 equivale a una bobina cuadrada, de dos espiras, con separación entre espiras igual a r_1 .

Con espiras circulares no habría direcciones predominantes. Con espiras cuadradas el predominio existe, en alguna proporción. ¿ Cuánta en esta antena ? Estrictamente lo ignoro. ¿ Alguna conjetura ? Si, supongo que hay predominio en dos direcciones.

El costado donde están los lados (3,7) nos hace recordar al lomo de un libro. Los otros tres costado son (4,8) , (5,1) , (6,2) . Imaginemos una línea que une (3,7) con (5,1) . En esa línea y en la línea que une (6,2) con (4,8) la proporción de potencia irradiada superaría a la proporción de las otras direcciones. La proporción mínima estaría en las diagonales.

¿ Cuánta diferencia de energía irradiada habría entre los costados y las diagonales ? Lo ignoro. ¿ Conjetura ? En un cuadrado con lados iguales a r_2 tenemos

$$r_3 = r_2\ \sqrt{2} \tag{10}$$

$r_3 \quad \rightarrow \quad$ diagonal del cuadrado

A una distancia de la espira mayor que 10 λ, el campo magnético dado de espira cuadrada es muy similar al campo magnético de una espira circular. Entonces el campo magnético no es la causa más importante del predominio direccional.

¿ Y el campo eléctrico $\vec{E}$? Tiene más importancia en la directividad, porque la amplitud de $\vec{E}$ depende del cuadrado de la distancia respecto a la carga eléctrica. No sé plantear un cálculo bien hecho. ¿ Alguna estimación, aunque sea grosera ? Tal vez la conjetura siguiente.

Supongamos que, en aproximación grosera, se cumple lo siguiente.

$$E_c = k\ \frac{q}{(r_2)^2} \tag{11}$$

$$E_d = k\ \frac{q}{(r_3)^2} \tag{12}$$

E_c $\rightarrow$ campo eléctrico en la dirección de los costados
E_d $\rightarrow$ campo eléctrico en dirección diagonal
k $\rightarrow$ constante relacionda con la geometría y con la permitividad

En (12) podemos reemplazar r_3 como indica (10) .

$$E_d = k\ \frac{q}{\left(r_2\sqrt{2}\right)^2}$$

Resolviendo la operación del denominador queda

$$E_d = k\ \frac{q}{2\ (r_2)^2} \tag{13}$$

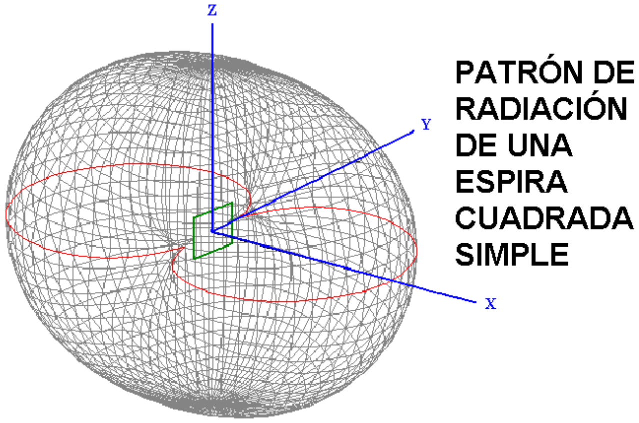
Si comparamos (13) con (11) , notamos que la amplitud de $\vec{E}$ en dirección diagonal es la mitad de la amplitud en la dirección de los costados.

En los cálculos correspondientes a campos, la aritmética no sirve. Es decir no sirven las 4 operaciones comunes que hacemos con el dinero y con muchas cosas habituales. La potencia irradiada en una dirección depende de los dos campos, magnético y eléctrico. La operación matemática del caso se denomina *producto vectorial*. Cuando en un punto ambos campos son mutuamente perpendiculares, el valor del producto vectorial es igual al producto aritmético de los dos valores. Sin perpendicularidad el resultado es menor que el producto aritmético. Es decir, interesan los valores de ambos campos y el ángulo que forman entre ellos.

Si en todos los puntos del espacio alrededor de la antena ambos campos fuesen mutuamente perpendiculares, tendríamos dos ventajas. 1) La potencia irradiada sería máxima. 2) El producto vectorial quedaría como el producto aritmético. Obviamente, no es ese el caso de la antena. Pero el significado de (13) podría, como aproximación grosera, ser válido. Es decir, en dirección diagonal, el módulo del campo eléctrico valdría la mitad de lo que vale hacia los costados. Si el módulo del campo magnético, en aproximación grosera, vale lo mismo en ambas direcciones, entonces el flujo de potencia en dirección diagonal valdrá la mitad de lo que vale hacia los costados.

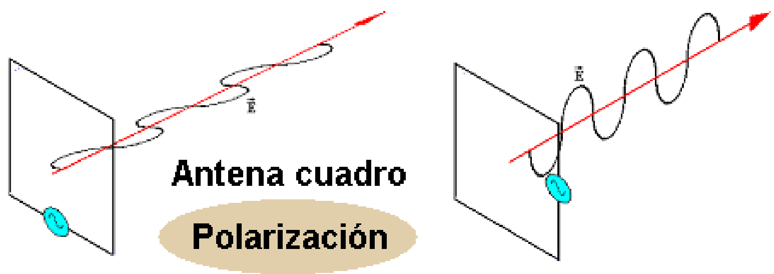
Si esa conjetura fuese válida tendríamos, en aproximación grosera, 6 dB menos en la dirección diagonal. En las otras direcciones la disminución no llegaría a 6 dB . En términos de omnidirectividad tendríamos asimetría, que en la dirección más desfavorable llegaría a 6 dB aproximadamente. Pero esto es una conjetura, basada en hipótesis. No hay seguridad.

La antena equivale a dos espiras muy juntas, porque tenemos $r_1 << r_2$. En términos aproximados, radia como lo haría una espira cuadrada simple.



(4-d) Polarización

Estrictamente ignoro el comportamiento de la antena libro en términos de polarización. Si se asemeja a una espira cuadrada simple, podría polarizar como una antena cuadro. Esto es solamente una conjetura sin seguridad.



Aunque la conjetura valiese, los terminales de la antena libro no están en el centro de un lado. Están en un vértice. Esto podría modificar la polarización de las ondas emitidas. Las pruebas prácticas son imprescindibles para asegurar los datos.

Conclusión

La antena libro no está lista para quien apunte al uso práctico. Es un proyecto en desarrollo, cuya única ventaja es, por el momento, la posibilidad de investigar algo nuevo sin gasto monetario, o con un gasto mínimo.

Las conjeturas respecto a ganancia y patrón de radiación son prometedoras. La conjetura respecto a impedancia permite suponer que, tal vez, sea necesaria la adaptación. Una posibilidad es usar como adaptador el cable coaxial. Un cable coaxial de longitid igual a media λ , o varias veces media λ, sirve cuando son iguales la impedancia de la antena y la impedancia del transmisor. Cuando son distintas sirven otras longitudes, que cumplen la función de adaptar impedancias. El cable coaxial tiene esa propiedad.

Por ahora no tengo otros datos. Tal vez logre Usted alguna comprobación.