

Relación pitagórica entre antenas tradicionales y antenas Escalares

Carlos Alejandro Chiappini

Abstract:

ESPAÑOL

En el diseño de las antenas tradicionales la medida de referencia λ es casi 5% menor que la longitud de onda λ_o correspondiente al espacio libre. Un planteo teórico da en primera aproximación 4,58365434(...)%. Un apartado de este documento está dedicado a eso.

Geométricamente podemos concebir a la medida λ como proyección, es decir, como un segmento recto de medida λ_o proyectado sobre una recta oblicua. Esta proyección determina un triángulo rectángulo con λ_o en la hipotenusa y λ en el cateto adyacente. El teorema de Pitágoras permite calcular el cateto opuesto y el resultado sorprende, porque se aproxima muy bien a $\frac{15}{8} \frac{\lambda_o}{2\pi}$, medida altamente eficiente en antenas escalares.

Encontrar una aproximación muy buena no es formular una equivalencia matemática.

¿Qué se requiere para formularla? La aproximación supone que la permitividad ε del metal irradiante es igual a la permitividad ε_o del vacío. Abandonando esa hipótesis podemos formular la equivalencia.

ENGLISH

In the design of traditional antennas, the reference measurement λ is almost 5% smaller than the wavelength λ_o of the free propagation. A theoretical approach gives as a first approximation 4.58365434(...)%. A section of this document is dedicated to that.

Geometrically we can conceive the measure λ as a projection, that is, as a straight segment of measure λ_o projected on an oblique line. This projection determine a right triangle with λ_o on the hypotenuse and λ on the adjacent leg. The Pythagorean theorem allows us to calculate the opposite leg and the result surprising, because it closely approximates $\frac{15}{8} \frac{\lambda_o}{2\pi}$, highly efficient measurement on scalar antennas.

Finding a very good approximation is not formulating a mathematical equivalence. What is required to formulate it? The approximation supposes that the permitivity ε of the irradiating metal is equal to the permitivity ε_o of the vacuum. Abandoning this hypothesis we can formulate the equivalence.



Relación pitagórica entre antenas tradicionales y antenas escalares

PARTE 1 - ¿ Por qué en antenas tradicionales restamos casi 5% ?

Desde muchas décadas atrás los radioaficionados conocen empíricamente la necesidad de dar al irradiante de onda completa una medida casi 5% menor que la longitud de onda. En el curso previo a tramitar la licencia el instructor y otras personas nos proveyeron ese dato.

Asistimos al curso en Radio Club Quilmes, LU4DQ. Desde ese momento necesité averiguar la razón de aquel dato empírico.

(1-a) Documentos previos

Este documento pertenece a una secuencia, que hasta el momento incluye tres documentos. Cada uno está preparado para ser comprendido sin leer los otros. El primero es mucho más extenso que los dos siguientes y es autónomo. Para quien acepte algunas ecuaciones sin preguntar por el origen, también resultan autónomos los dos restantes. Para quien necesite conocer el origen, el segundo se basa en el primero y el tercero en los dos anteriores. Muestro en orden las ubicaciones del primero y del segundo.

<http://www.vixra.org/abs/1711.0313>

<https://www.vixra.org/abs/2205.0017>

(1-b) Contexto del análisis

El primer documento de la serie contiene teoremas referidos a la unidad elemental de radiación electromagnética. La energía de esta unidad está repartida en dos campos, el campo eléctrico y el campo magnético. La teoría cuántica denomina fotón a esa unidad elemental y le atribuye la energía siguiente.

$$W = h \cdot \nu \quad (1)$$

W → energía de la unidad elemental de radiación

h → constante de Planck

ν → frecuencia de la radiación.

Los teoremas del primer documento demuestran que h es igual a una combinación de constantes electromagnéticas, en la forma siguiente.

$$h = 2 \pi \mu_o C Q_o^2 \quad (2)$$

μ_o → permeabilidad magnética del vacío

C → velocidad de la propagación en el vacío

Q_o → carga elemental de la polarización del vacío

Esos teoremas también demuestran la relación entre la carga electrónica q_e y la carga Q_o de la polarización del vacío.

$$\frac{q_e}{Q_o} = \frac{-3 + \sqrt{13}}{2} \quad (3)$$

También están contenidos en ese documento los teoremas que conducen a las ecuaciones (1),(2), (3) en forma independiente de la teoría cuántica. Independiente porque los únicos postulados de esos teoremas son las leyes del electromagnetismo.

La cultura popular relaciona la teoría cuántica con los fenómenos elementales. Supongo que nombrar esa teoría es un modo de ayudar a quien encuentra por primera vez el concepto de unidad elemental. Aprovechando el nombre popular, denomino fotón a la unidad elemental de radiación electromagnética.

Antes de las investigaciones que detectaron al electrón y crearon argumentos teóricos para formular las consecuencias, existían antenas que funcionaban bien. ¿ Necesitamos realmente analizar fenómenos elementales para optimizar nuestras antenas ? Ignoro cuántas respuestas son posibles. Solamente señalo que teniendo en cuenta los fenómenos elementales podemos responder otras preguntas y acceder a un modo nuevo de optimización.

PARTE 2 - ¿ Por qué reducimos casi 5 % ?

(2-a) Balance de la energía elemental

Las antenas tradicionales de onda completa mejoran cuando el irradiante es casi 5 % más corto que la longitud de onda. He preguntado por qué y las respuestas han sido vagas. Cada persona ofreció una respuesta distinta. Así supe que una respuesta teórica certera no estaba disponible. Intenté sin éxito buscar en internet y en bibliotecas. Entonces decidí buscar directamente en la física.

Las leyes físicas indican que cuando un metal irradia los electrones oscilan en forma grupal, formando una onda. Esta onda electrónica contiene parte de la energía entregada por el transmisor. ¿ Qué proporción contiene ?

Es razonable suponer que la proporción es constante en todo el irradiante. Ejemplo. Si en el primer milímetro del irradiante la onda recibe x % del total entregado por el equipo, en el milímetro siguiente y en toda la longitud del conductor se mantiene la misma proporción.

Comencemos planteando el balance de energía en términos elementales. Cada porción elemental de energía entregada por el transmisor se reparte entre la radiación emitida hacia el espacio circundante y la onda electrónica que se forma dentro del conductor. En esta onda la carga elemental es la carga q_e del electrón . En la onda del espacio libre es Q_o . ¿ Encontramos otras diferencias que alteren la forma básica de la ecuación de energía elemental ?

No hay otras diferencias evidentes que puedan alterar la forma básica de la ecuación. Por eso supondremos que hay analogía matemática entre la energía elemental de la onda libre y la energía elemental de la onda electrónica, refiriendo cada una a la carga correspondiente.

Cuando la onda libre se propaga en el vacío tenemos lo siguiente.

$$E_o = 2 \pi \mu_o C Q_o^2 \nu \quad (4)$$

E_o → energía elemental de la propagación en el vacío

μ_o → permeabilidad en el vacío

ν → frecuencia

En física el símbolo de frecuencia es la letra griega ν , nombrada nu. En ocasiones podemos confundir a ν con la letra v de nuestro idioma. Recordemos la diferencia.

Para la onda electrónica tenemos la analogía siguiente.

$$E_b = \pi \mu v q_e^2 \nu \quad (5)$$

E_b → energía elemental de la onda electrónica

μ → permeabilidad en el interior del conductor

v → velocidad de propagación en el conductor

En (5) falta el factor 2 que vemos en (4) porque el transmisor provee a los electrones solamente la energía necesaria para que oscilen, que corresponde a la componente magnética de la onda. La energía de la componente eléctrica no proviene del transmisor. Es energía constitutiva del sistema.

El transmisor provee una energía elemental E , igual a la suma $E_o + E_b$.

$$E = E_o + E_b \quad (6)$$

$E \rightarrow$ energía elemental erogada por el transmisor

(2-b) Especificar las variables del balance

La energía E corresponde a la onda electromagnética establecida en el irradiante. La formula es completamente análoga a (4), adecuadamente especificada para μ y para v .

$$E = 2 \pi \mu v Q_o^2 \nu \quad (7)$$

$E \rightarrow$ energía elemental entregada por el transmisor

$\mu \rightarrow$ permeabilidad magnética en el irradiante

Efectuamos en (6) los reemplazos acordes con (4), (5) y (7).

$$2 \pi \mu v Q_o^2 \nu = 2 \pi \mu_o C Q_o^2 \nu + \pi \mu v q_e^2 \nu \quad (8)$$

En cada medio, la velocidad de propagación está determinada por la permeabilidad magnética y por la permitividad propias del medio. Especifiquemos esa relación para el irradiante y para el vacío. Por comodidad expresaremos las velocidades elevadas al cuadrado.

$$v^2 = \frac{1}{\mu \varepsilon} \quad \leftarrow \text{ irradiante} \quad (9)$$

$$C^2 = \frac{1}{\mu_o \varepsilon_o} \quad \leftarrow \text{ vacío} \quad (10)$$

Operamos en (9).

$$\mu v = \frac{1}{v \varepsilon} \quad \leftarrow \text{ irradiante} \quad (11)$$

Operamos en (10).

$$\mu C = \frac{1}{C \varepsilon_o} \quad \leftarrow \text{ vacío} \quad (12)$$

Efectuamos en (8) los reemplazos acordes con (9) y con ((10).

$$2 \pi \frac{1}{v \varepsilon} Q_o^2 \nu = 2 \pi \frac{1}{C \varepsilon_o} Q_o^2 \nu + \pi \frac{1}{v \varepsilon} q_e^2 \nu$$

Dividimos ambos miembros por $2 \pi Q_o^2 \nu$

$$\frac{1}{v \varepsilon} = \frac{1}{C \varepsilon_o} + \frac{1}{2} \frac{1}{v \varepsilon} \left(\frac{q_e}{Q_o} \right)^2$$

Despejamos

$$\frac{1}{C \varepsilon_o} = \frac{1}{v \varepsilon} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{q_e}{Q_o} \right)^2 \right] \quad (13)$$

La velocidad de propagación es igual a la longitud de onda multiplicada por la frecuencia. Especificamos eso para cada medio.

$$C = \lambda_o \nu \quad (14)$$

$$v = \lambda \nu \quad (15)$$

En (13) aplicamos (14) y (15). Después simplificamos.

$$\frac{1}{\lambda_o \varepsilon_o} = \frac{1}{\lambda \varepsilon} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{q_e}{Q_o} \right)^2 \right]$$

Despejamos λ .

$$\lambda = \frac{\varepsilon_o}{\varepsilon} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{q_e}{Q_o} \right)^2 \right] \lambda_o \quad (16)$$

En frecuencias de radio, la diferencia entre ε y ε_o es demasiado pequeña para tomarla en cuenta. Es indetectable. Esto se mantiene así hasta llegar al infrarrojo. Significa que en el diseño de antenas podemos admitir la igualdad de esos dos términos y el cociente resulta igual a uno.

$$\frac{\varepsilon_o}{\varepsilon} = 1 \quad \leftarrow \text{para frecuencias de radio} \quad (17)$$

De este detalle hay una descripción adecuada en la página siguiente.

https://es.abcdef.wiki/wiki/Relative_permittivity#Metals

Lo relacionado con nuestra tarea está casi en el final de la página.

Aplicamos en (16) lo indicado en (17).

$$\lambda = \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{q_e}{Q_o} \right)^2 \right] \lambda_o \quad (18)$$

Operando en (3) llegamos a lo siguiente.

$$\begin{aligned} \left(\frac{q_e}{Q_o} \right)^2 &= \frac{22 - 3 \sqrt{13}}{4} \\ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{q_e}{Q_o} \right)^2 &= \frac{-14 + 6 \sqrt{13}}{8} \end{aligned} \quad (19)$$

Aplicamos (19) en (18).

$$\lambda = \frac{-14 + 6 \sqrt{13}}{8} \lambda_o \quad (20)$$

Expresemos el resultado numéricamente.

$$\lambda = 0,95416345659799196983941595060287(\dots) \lambda_o \quad (21)$$

¿ En qué porcentaje es λ menor que λ_o ?

$$p = \frac{\lambda_o - \lambda}{\lambda_o} \cdot 100 \quad (22)$$

p → diferencia porcentual entre λ_o y λ

Aplicando valores resulta lo siguiente.

$$p = 4,583654340(\dots) \% \quad (23)$$

Como aproximación grosera podemos aceptar lo siguiente.

$$p \sim 5 \% \quad (24)$$

PARTE 3 - Formular el acortamiento geoméricamente

Estudiando el triángulo rectángulo la mente se acostumbra a proyectar un segmento sobre una dirección oblicua. La proyección es más corta que el segmento de origen. A este último lo denominamos hipotenusa y hay dos proyecciones posibles. A una la denominamos cateto adyacente y a la otra cateto opuesto.

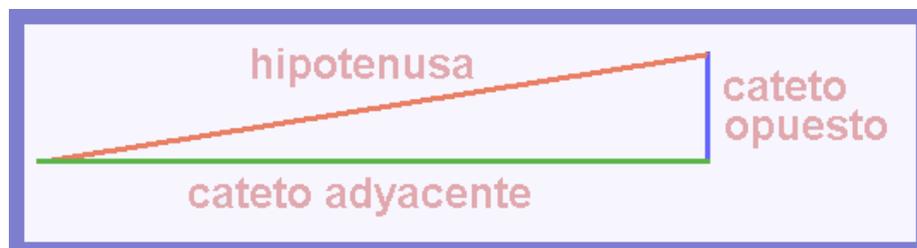


figura 1

Si una medida λ es más corta que otra medida λ_o , entonces λ puede ser concebida como proyección de λ_o , ubicando a λ_o en la hipotenusa. Al cateto opuesto simbolicémoslo s .

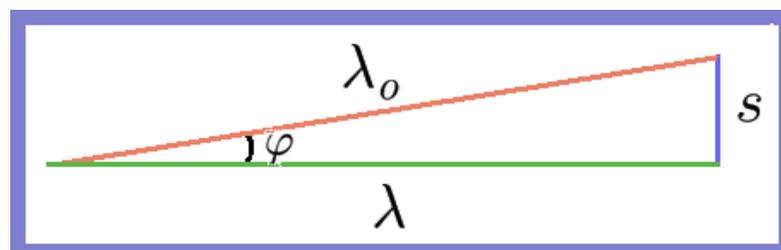


figura 2

A la idea geométrica de proyectar se agrega una propiedad típica de los fenómenos electromagnéticos, que es la ortogonalidad. Por eso es interesante la idea de formular las propiedades del triángulo mostrado en la figura 2 .

(3-a) Conjetura respecto a φ

Aplicamos al ángulo φ la definición del coseno.

$$\cos\varphi = \frac{\lambda}{\lambda_o} \quad (25)$$

Repetimos aquí la ecuación (20) .

$$\lambda = \frac{-14 + 6 \sqrt{13}}{8} \lambda_o \quad (20)$$

Operamos

$$\frac{\lambda}{\lambda_o} = \frac{-14 + 6 \sqrt{13}}{8} \quad (26)$$

Efectuamos en (26) el reemplazo permitido por (25) .

$$\cos\varphi = \frac{-14 + 6 \sqrt{13}}{8} \quad (27)$$

Calculamos φ aplicando la función arcoseno.

$$\varphi = \arccos\left(\frac{-14 + 6 \sqrt{13}}{8}\right) \quad (28)$$

Calculamos φ en radianes. Es simplemente el valor numérico dado por ((28) .

$$\text{en radianes} \rightarrow \varphi = 0,303944246150387411345641358980(\dots) \quad (29)$$

Repetimos aquí la ecuación (3) .

$$\frac{q_e}{Q_o} = \frac{-3 + \sqrt{13}}{2} \quad (3)$$

Expresemos el valor numérico .

$$\frac{q_e}{Q_o} = 0,302775637731994646559610633735(\dots) \quad (30)$$

Los valores expresados en (29) y en (30) motivan la pregunta siguiente. ¿ Qué sucedería si fuese válido lo siguiente ?

$$\varphi = \frac{q_e}{Q_o} \leftarrow \text{conjetura} \quad (31)$$

Si la conjetura fuese verdadera, empleando (25) resultaría un acortamiento de 4,5487446889860(...) % , compatible con el dato empírico. Las ecuaciones (23) y (31) tienen el mismo grado de concordancia con la experiencia.

(3-b) Calcular s utilizando la conjetura

Repetimos la figura 2 .

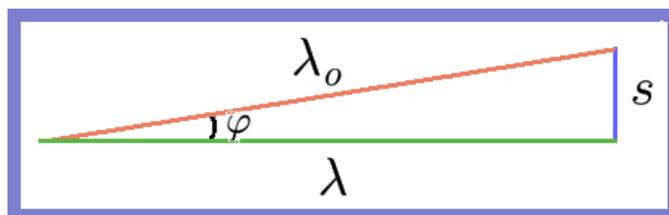


figura 2

Esta figura informa lo siguiente.

$$s = \text{sen } \varphi \lambda_o \quad (32)$$

En (32) aplicamos (28) .

$$s = \text{sen} \left[\arccos \left(\frac{-14 + 6 \sqrt{13}}{8} \right) \right] \cdot \lambda_o \quad (33)$$

Resolvamos (33) y expresemos s numéricamente.

$$s = 0,299285980448419759316616746572(\dots) \lambda_o \quad (34)$$

El resultado (34) se aproxima muy bien a la medida óptima del tipo de antena explicado en el segundo documento indicado en la sección (1-a) , dedicado a las antenas escalares.

$$\text{medida óptima de antenas escalares} \rightarrow l_p = \frac{15}{8} \cdot \frac{\lambda_o}{2 \pi} \quad (35)$$

Expresemos numéricamente lo indicado en (35) .

$$l_p = 0,298415518297303754566657056323(\dots) \lambda_o \quad (36)$$

Los resultados exhibidos en (34) y en (36) tienen un grado de coincidencia numérica importante. Esto no basta cuando nos interesan las leyes físicas. La medida l_p expresada en (35) proviene de analizar detalladamente el fenómeno de la emisión. Eso está contenido en el segundo documento, mencionado previamente. No podemos pensar en modificar l_p pues, aunque la modificación fuese muy pequeña numéricamente, sería intolerable en términos de las leyes físicas. ¿ Hay alguna manera viable de conjeturar la identidad entre s y l_p ?

(3-c) El cociente de permitividades

Repitamos aquí la ecuación (16) .

$$\lambda = \frac{\varepsilon_o}{\varepsilon} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{q_e}{Q_0} \right)^2 \right] \lambda_o \quad (16)$$

Esta ecuación proviene de la sección (2-b), donde fue mencionado un documento dedicado a la permitividad en metales. Repitamos aquí la dirección de internet donde está el documento.

https://es.abcdef.wiki/wiki/Relative_permittivity#Metals

En esa información basamos una simplificación, suponiendo $\varepsilon_o = \varepsilon$. Esta igualdad fue asumida por conveniencia práctica, sin contrastarla con las leyes físicas. Postular $s = L_p$ parece más razonable que atribuir validez general a $\varepsilon_o = \varepsilon$.

¿ Cómo quedaría el cociente $\frac{\varepsilon_o}{\varepsilon}$ si postulamos $s = l_p$?

Pospongamos el desarrollo matemático hasta la sección siguiente, para mostrar sin demora el valor numérico del cociente de permitividades calculado con $s = l_p$.

$$\frac{\varepsilon_o}{\varepsilon} = 1,000285691059485102729144462381(\dots) \quad (37)$$

Notamos en (37) que el resultado de postular $s = l_p$ coincide con la información de la página de internet mencionada, pues la diferencia entre ε_o y ε obtenida en forma teórica es verdaderamente insignificante en la práctica. Este detalle no es lo único necesario para validar el postulado. Simplemente permite utilizarlo mientras no produzca incoherencia en algún planteo general.

(3-d) ¿ Cómo llegamos desde el postulado $s = l_p$ hasta el valor indicado en (37) ?

Repitamos la ecuación (16) .

$$\lambda = \frac{\varepsilon_o}{\varepsilon} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{q_e}{Q_0} \right)^2 \right] \lambda_o \quad (16)$$

Despejemos $\frac{\lambda}{\lambda_o}$

$$\frac{\lambda}{\lambda_o} = \frac{\varepsilon_o}{\varepsilon} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{q_e}{Q_0} \right)^2 \right] \quad (38)$$

Repitamos la figura 2 .

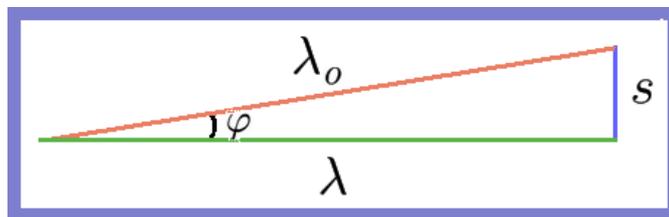


figura 2

La figura 2 informa lo siguiente.

$$\cos \varphi = \frac{\lambda}{\lambda_o} \quad (39)$$

En (38) aplicamos (39)

$$\cos \varphi = \frac{\varepsilon_o}{\varepsilon} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{q_e}{Q_0} \right)^2 \right] \quad (40)$$

Según la figura 2 tenemos lo siguiente

$$\text{sen} \varphi = \frac{s}{\lambda_o}$$

Aplicamos el postulado $s = l_p$

$$\text{sen} \varphi = \frac{l_p}{\lambda_o}$$

Despejamos φ aplicando la función arc sen

$$\varphi = \text{arc sen } \frac{l_p}{\lambda_o} \quad (41)$$

Expresemos $\cos \varphi$ aplicando la función coseno en ambos miembros de (41)

$$\boxed{\cos \varphi = \cos \left(\text{arc sen } \frac{l_p}{\lambda_o} \right)} \quad (42)$$

Repetamos la ecuación (35)

$$l_p = \frac{15}{8} \cdot \frac{\lambda_o}{2 \pi} \quad (35)$$

Despejamos $\frac{l_p}{\lambda_o}$

$$\frac{l_p}{\lambda_o} = \frac{15}{8} \cdot \frac{1}{2 \pi}$$

Ordenamos

$$\boxed{\frac{l_p}{\lambda_o} = \frac{15}{16 \pi}} \quad (44)$$

Apliquemos (44) en (42)

$$\cos \varphi = \cos \left(\text{arc sen } \frac{15}{16 \pi} \right) \quad (45)$$

Repetamos ((40)

$$\cos \varphi = \frac{\varepsilon_o}{\varepsilon} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{q_e}{Q_0} \right)^2 \right] \quad (40)$$

Igualamos (40) y (45)

$$\frac{\varepsilon_o}{\varepsilon} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{q_e}{Q_0} \right)^2 \right] = \cos \left(\text{arc sen } \frac{15}{16 \pi} \right) \quad (41)$$

Despejamos $\frac{\varepsilon_o}{\varepsilon}$

$$\boxed{\frac{\varepsilon_o}{\varepsilon} = \frac{\cos \left(\text{arc sen } \frac{15}{16 \pi} \right)}{1 - \frac{1}{2} \left(\frac{q_e}{Q_0} \right)^2}} \quad (42)$$

Recordemos que (42) requiere ángulos expresados en radianes.

Con una calculadora científica podemos efectuar las operaciones indicadas en (42) , que dan el resultado anticipado en (37) . Es decir dan lo siguiente.

$$\frac{\varepsilon_o}{\varepsilon} = 1,000285691059485102729144462381(\dots)$$

(3-e) ¿ Interesa heurísticamemnte la identidad $s = l_p$?

Alguien tiene actitud heurística cuando se dispone efectivamente a buscar algún conocimiento nuevo, dentro de un contexto convenido y organizado.

Repitamos la ecuación (16) y la figura 2 .

$$\lambda = \frac{\varepsilon_o}{\varepsilon} \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{q_e}{Q_0} \right)^2 \right] \lambda_o \quad (16)$$

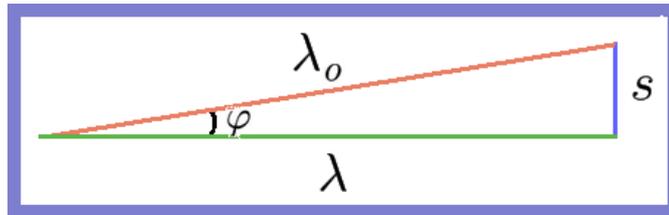


figura 2

Recordmos que λ_o es la longitud de onda de la propagación libre y que la medida del irradiante recto tradicional para onda completa es igual a λ . Por eso λ representa en la figura 2 a las antenas tradicionales. Y l_p es la medida óptima del irradiante recto en antenas escalares.

El postulado $s = l_p$ relaciona mutuamente ambos tipos de antenas, formalizando la relación. Aceptar $s = l_p$ implica convalidar y legitimar conjuntamente ambos tipos de antenas, en la misma forma que el primer documento indicado en la sección (2-a) convalida y legitima ambas componentes de la onda electromagnética en el vacío, la componente transversal estudiada tradicionalmente y la componente longitudinal estudiada en el primer documento de la serie.

He construido antenas escalares y las utilizo en la práctica. El buen comportamiento que exhiben estimuló en mí el deseo de averiguar algo más, intentando analizarlas en términos de leyes físicas. Me alienta saber que en términos físicos y matemáticos hay coherencia entre ambos tipos de antenas. El postulado $s = l_p$ es el eje de esa coherencia, pues formaliza la relación proyectiva entre dos tipos de antenas ligados con las ecuaciones de Maxwell.

PARTE 4 - Comentario final

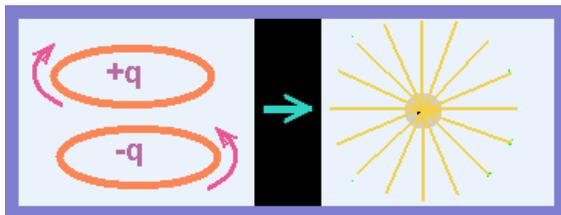
A quien haya adquirido motivación heurística por lo expuesto en este documento pueden servirle los documentos previos indicados en la sección (1-a) . En caso de acceder a ellos, puede servirle notar que todo avanza junto. La palabra *todo* incluye, en este contexto, diseñar dispositivos prácticos basados en lo que la teoría muestra, construirlos y probarlos. También incluye obedecer a la intuición y avanzar en la práctica sin pensar en la teoría, admitiendo detalles nuevos simplemente porque optimizan el funcionamiento. Lo más probable es que después, sin mucha complicación, resulte evidente el fundamento teórico de lo que funciona óptimamente en la práctica.

Respecto a la relación proyectiva entre ambos tipos de antenas, por intuición se instala en mí el sentimiento siguiente. Me resulta chocante la idea de calificar a esa relación como puramente casual, porque tiendo a creer que es la puerta de acceso al desarrollo de novedades

interesantes dentro de la electromdinámica. Para quienes tenemos acceso únicamente a la información pública son novedades. En ámbitos privados podría suceder que el tema sea, desde mucho tiempo atrás, un conocimiento adquirido y ampliamente desarrollado.

Autor: Carlos Alejandro Chiappini
Fecha: 20-05-2022
Contacto por email: carloschiappini@gmail.com

Apéndice - Par simétrico de corrientes circulares



¿ Qué tenemos ? → Dos anillos conductores muy próximos mutuamente, girando en sentidos contrarios, con cargas del mismo valor y de signos opuestos.

¿ Efectos ? → El campo eléctrico es característico de un capacitor. El campo magnético entre ambos anillos se anula por la simetría perfecta. Si definimos una superficie gaussiana que contenga dentro al par de anillos, el flujo neto del campo magnético en toda esa superficie será distinto de cero, porque todos los pseudovectores \vec{B} que atraviesan la superficie tienen el mismo sentido. Tenemos virtualmente un monopolo magnético, que inmerso en un campo magnético que no sea suyo se comporta como una carga inmersa en un campo eléctrico que no sea suyo. La carga se acelera y el monopolo virtual también. El par de anillos viajaría en el espacio que rodea a un planeta que tenga campo magnético, como La Tierra.

¿ Podría ser controlado el efecto ? → Sí , sin mucha complicación, controlando la velocidad angular de los anillos. El requisito es que ambas velocidades angulares tengan siempre valores absolutos iguales. Esto se consigue con un diseño relativamente sencillo. Significa que un vehículo basado en esta técnica está completamente a nuestro alcance desde el siglo 19, cuando Tesla anunció que lo había construido y probado exitosamente.

¿ Hay en el espacio astronómico alguna parte carente de campo magnético ? → No. Todos los objetos astronómicos producen campo magnético, incluidos los objetos de menor tamaño, como los asteroides. Aunque en una región el campo magnético sea débil, el vehículo podrá viajar perfectamente y alcanzar una velocidad tan rápida como sea necesaria, porque el efecto del monopolo magnético virtual es muy potente.

¿ Qué sucede dentro del vehículo cuando está viajando ? → 1° No hay campo magnético por estar entre ambos anillos. → 2° No hay campo eléctrico porque el fuselaje es una envoltura metálica cerrada, que funciona como jaula de Faraday. El interior está libre de efectos electromagnéticos. → 3° La gravitación y la inercia son fenómenos puramente electromagnéticos. Tesla lo demostró y formuló la teoría electrodinámica correspondiente. Dentro del habitáculo no hay inercia ni gravedad. Nadie ni nada sufre daños aunque el vehículo efectúe maniobras extremas.