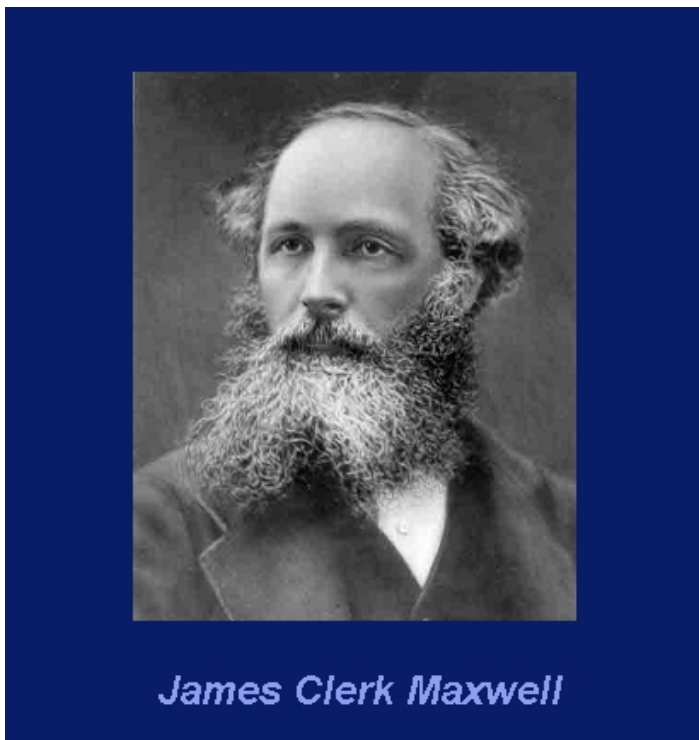


# Antena Maxwell



James Clerk Maxwell (1831-1879). Formuló las leyes completas del campo electromagnético.

## a) Insumos

- Disco plano en lámina de aluminio (o de otro material conductor) de 1 mm de espesor y 327 mm de diámetro .



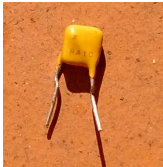
- Varilla de hierro (o de otro material ferromagnético), de 8 mm de diámetro y 52 mm de largo.



- 50 cm de alambre conductor de 1,5 mm de diámetro. Debe tener vaina aislante. En mi caso utilizo el alambre de sostén que posee el cable coaxial de video, que aparece frecuentemente abandonado en la vía pública.



- Capacitor 18 pF con la mayor aislación posible.



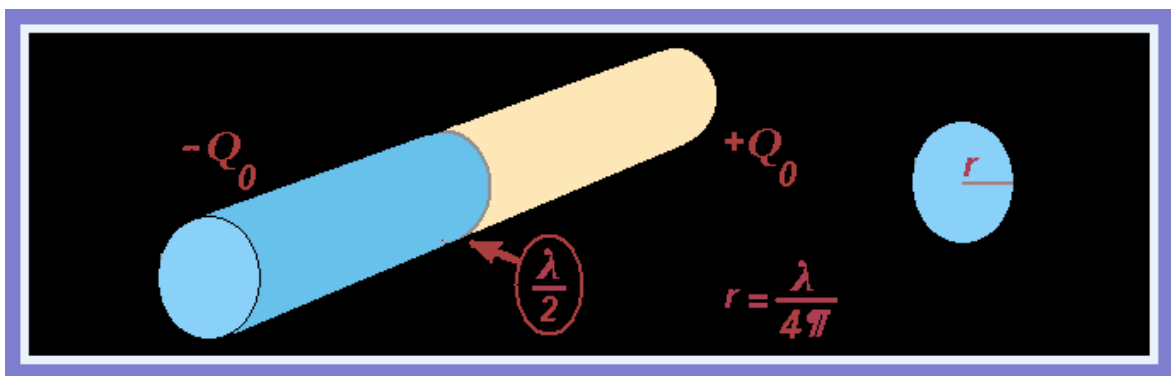
- 1 tornillo con cabeza plana, rosca de 2,5 mm de diámetro, con tuerca y arandelas.



- Lo que sea necesario para protección y sujeción.

## b) Origen del nombre de la antena

Las leyes completas del campo electromagnético, publicadas por James Clerk Maxwell en 1863, permiten determinar las propiedades geométricas del cuanto de radiación electromagnética en el vacío. Cuanto de radiación electromagnética es el nombre de la cantidad mínima de energía que puede viajar en forma de onda electromagnética. Las propiedades geométricas mencionadas no aparecen en la bibliografía habitual, ni en la enseñanza pública. Por ahora hay solamente un documento que las analiza, disponible en formato pdf en dos sitios de internet, monografias.com y vixra. El título es James Clerk Maxwell Conocimiento Prohibido.



El documento de referencia explica que, en el vacío, el cuanto de radiación electromagnética tiene la forma de un cilindro, con largo igual a la longitud de onda  $\lambda$  y radio igual a  $\lambda$  dividida por  $4\pi$ . Entonces el diámetro es igual a  $\lambda$  dividida por  $2\pi$ .

En Argentina, la banda de 2 metros para radioaficionados está comprendida entre 144 y 148 MHz. Entonces el centro es 146 MHz. Para 146 MHz, la longitud de onda en el vacío es  $\lambda_o = 2,053 \text{ m}$ . Entonces

$$\frac{\lambda_o}{2\pi} = 0,3268 \text{ m} \simeq 32,7 \text{ cm} \quad (1)$$

Esto significa que para 146 MHz, en el vacío, la cara plana del cilindro de radiación EM tiene un diámetro de 32,7 cm. La antena tiene el mismo diámetro.

Las propiedades geométricas del cuanto en el vacío cumplen la condición de resonancia para la frecuencia de operación. El disco de la antena también. Todo esto proviene de las leyes formuladas por Maxwell. Por esa razón, Maxwell es el nombre de la antena.

### c) ¿ En cuál posición opera el disco, horizontal o vertical ?

En la prueba que he realizado, estuvo colocado en forma horizontal. ¿ Por qué ? Porque estoy operando en toda la banda de radioaficionados y no exactamente en 146 MHz, que es el centro de banda y corresponde exactamente a los 32,7 cm de diámetro. En 146 MHz exactos, probablemente la energía sería emitida como un haz cilíndrico perpendicular al plano del disco. Para otras frecuencias eso no es posible y la energía es emitida por el borde del disco, en forma radial. Con el disco horizontal, en 146 MHz, probablemente no logremos comunicar con los colegas como es costumbre, porque la radiación podría salir como un cilindro dirigido hacia el cielo. Esto es posible únicamente en 146 MHz y no afecta al resto de la banda. En términos prácticos, toda la banda está a salvo del fenómeno.

¿ Qué sucedería si dos estaciones dotadas de antenas Maxwell comunicasen entre ellas exactamente en 146 MHz ? Probablemente necesitarían colocar sus discos en forma vertical, muy bien alineados para poder recibir y emitir el haz cilíndrico. Todo sería difícil. ¿ Habría alguna ventaja que justifique el esfuerzo de superar la dificultad ? Sí. Con potencia asombrosamente pequeña podrían comunicar perfectamente, sin la menor pérdida de inteligibilidad y, en comunicación de datos, sin perder ni degradar un solo bit.

### d) Construcción de la antena Maxwell

#### ■ Paso 1

Tomar una varilla de hierro de 8 mm de diámetro y cortar un tramo de 52 mm de largo. Necesitamos que el corte quede bien hecho, bien plano, sin irregularidades, porque después soldaremos un tornillo sobre ese corte.

#### ■ Paso 2

Estañar la cabeza del tornillo. Necesitamos que el estaño quede parejo y abundante sobre toda la cabeza.

### ■ Paso 3

Mirar la varilla de 52 mm y ver en cuál extremo el corte quedó mejor. Estañaremos ese extremo, porque después uniremos con soldadura ese extremo y la cabeza del tornillo. En este paso, calenté la varilla en el quemador de la cocina hasta una temperatura capaz de fundir el estaño. Después puse el estaño en contacto con el extremo de la varilla. Fundió y quedó el extremo perfectamente estañado. Sin perder tiempo, mientras la varilla estaba caliente, soldé la cabeza del tornillo al extremo de la varilla.

### ■ Paso 4

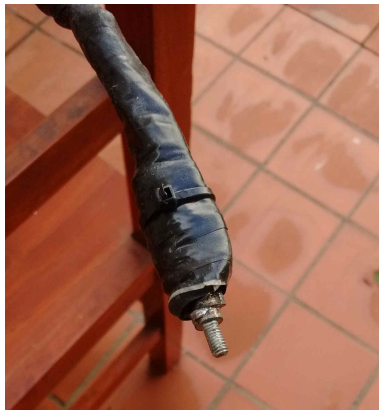
Hacer dos marcas en el alambre que bobinaremos sobre la varilla, dejando 32,7 cm de separación entre ellas. Las hice con cinta adhesiva, de esa que usan los pintores, porque necesitamos respetar exactamente los 32,7 cm.

### ■ Paso 5

Bobinar sobre la varilla exactamente 32,7 cm de alambre. Solamente esos 32,7 cm apoyan sobre la varilla. El resto queda recto, sin bobinar y sirve para las conexiones.



Ya tenemos listo el transductor.



← Transductor listo y encintado

Su función es transferir energía entre el disco y el cable coaxial. En recepción, pasa energía del disco al cable. Al revés en emisión.

### ■ Paso 6

Unir mutuamente el transductor y el disco.



El tornillo pasa por el agujero que hicimos en el centro del disco. Para lograr buena conexión necesitamos arandelas, una de ellas con el borde dentado. Al apretar la tuerca, el borde dentado se hunde en el aluminio del disco y logra buen contacto.

#### ■ Paso 7

Conectar los terminales del transductor al cable coaxial. El conductor central del cable va directamente soldado al terminal B de la bobina. Entre la malla del cable y el terminal A colocamos el capacitor. Si deseamos, en vez de intercalar el capacitor ahí, donde será incómodo el reemplazo en caso de dañarse, podemos colocarlo cerca del equipo.

Ya está completa la construcción en términos de funcionamiento. Es decir que podemos colocar el conector de antena en el otro extremo del cable coaxial y operar el equipo, siempre con cuidado para no dañar lo que hemos construido, porque aún faltan los aditamentos que protegen a la antena respecto a golpes, deformación, etc. Con cuidado podemos probar. Y hacerlo conviene.

#### ■ Paso 8

Aditamentos que confieren fortaleza y protección. Cuando completemos la etapa de pruebas, necesitaremos instalar la antena al aire libre, lo más alta posible. El disco de aluminio, sin protección, será deformado por el viento. El tornillo de conexión y el agujero del disco donde está colocado sufrirán corrosión por la lluvia, por el oxígeno del aire y por el sol. El peso de varios metros de cable coaxial y el movimiento causado por una brisa suave dañarán al capacitor. Necesitamos prever todo lo que pueda dañar al sistema.

Por ejemplo, el disco puede ser fijado a una base plástica muy resistente. En ese caso es necesario un plástico que no absorba la energía del disco.

El cable coaxial puede estar sostenido por un sujetador adecuado, que soporte los sacudones causados por el viento y soporte también el peso del cable.

Después de darle fortaleza, necesitaremos que el conjunto esté protegido de la intemperie. Afortunadamente hay muchas cosas que permiten, sin gasto o con muy poco gasto de dinero, proteger un sistema cuya parte más grande mide 32,7 cm.

*Entre el cable coaxial y el disco no hay continuidad galvánica. El cable está conectado a los terminales de la bobina y el disco a la varilla de 52 mm. La bobina está hecha con alambre envainado y, por eso, está aislada de la varilla.*

*En transmisión, el disco toma energía de la varilla. Y la varilla toma energía del campo magnético producido por la bobina. El transductor acopla magnéticamente dos partes que no tienen entre ellas continuidad galvánica. El disco recibe energía solamente en su centro.*

*En recepción la energía se transfiere en sentido inverso, también por acoplamiento magnético.*

#### e) Pruebas que hice hasta este momento

- En banda de 2 m para radioaficionados, comencé comunicando en rueda via repetidora. Los colegas probaron escuchar en modo directo. Uno de ellos, situado en línea recta a 6 Km de mi domicilio, reportó señal 7. Mi potencia de transmisión fue 1 W y la antena estaba encerrada dentro del lavadero, a 1 m del suelo. Otro colega, situado a 1 Km y medio, reportó señal entre 2 y 3. Un colega situado a 40 Km no recibió mi transmisión.

- Por curiosidad, probé recepción en banda de 40 m y en banda de 80 m. El nivel recibido fue menor que el nivel típico del dipolo. Compensé eso con el control de volumen. Noté que la antena Maxwell, comparada con el dipolo, mejoró la relación señal/ruido. En 40 m escuché un QSO entre un colega de Argentina y otro de Estados Unidos, que con el dipolo quedaba enmascarado por el ruido. No probé transmisión, porque una desadaptación podría dañar al equipo.

#### f) Síntesis

- La prueba de uso en VHF resultó satisfactoria.
- Falta un estudio que permita conocer detalladamente las propiedades y el comportamiento de la antena.
- Aunque no esperaba recibir algo en HF, la sorpresa fue alentadora. La recepción es posible.
- Sería interesante una prueba en transmisión, pero antes necesitamos un estudio para evaluar el riesgo de dañar el equipo.

#### g) Evidencia empírica relevante

- La primera vez que probé la antena, retiré el conector del cable coaxial y, cuando lo aproximé al equipo para colocarlo nuevamente, sucedió algo notable. Cuando el pin central del conector del cable llegó a unos 5 mm del conector de antena del equipo, el funcionamiento fue óptimo.
- ¿ Qué podemos deducir de ese hecho ? Primero, que es necesario un capacitor entre el transductor y el equipo. Segundo, la capacitancia óptima corresponde a pocos pF .
- Por ese hecho sabemos que el funcionamiento óptimo se logra con pocos pF . ¿ Podríamos calcular matemáticamente la capacitancia óptima ?
- Veamos las medidas del núcleo de hierro del transductor.

$$\text{diámetro} = \frac{\lambda}{(2 \pi)^3}$$

$$\text{largo} = \frac{\lambda}{(2 \pi)^2}$$

Veamos la longitud de alambre bobinado sobre el núcleo, es decir la longitud utilizada para formar las vueltas que apoyan sobre el núcleo.

$$\text{longitud apoyada} = \frac{\lambda}{2 \pi}$$

El diámetro del disco, igual a la longitud del alambre bobinado sobre el núcleo, es 327 mm , como el diámetro del fotón en el vacío. El núcleo del transductor tiene una medida distinta, igual a  $\frac{327 \text{ mm}}{2 \pi}$  . ¿ Podría la inductancia del sistema ser expresada por una fórmula análoga a la ecuación de la inductancia del fotón ?

#### i) La experiencia y la hipótesis

Decidí colocar un capacitor provisorio, sin hacer cálculos. Encontré uno de 9 pF y lo conecté. El resultado fue bastante bueno. Podría haber dejado la antena así, pero por curiosidad agregué otro capacitor de 9 pF en paralelo con el primero. El resultado mejoró. Agregué otro más y empeoró. Eso indica que la capacitancia óptima podría estar cercana a los 18 pF .

Eso es bueno, porque los comercios de electrónica próximos a mi domicilio no venden capacitores de 9 pF . Sí de 18. ¿Cuál es el valor de inductancia necesario para la condición de resonancia, en 146 MHz, si la capacitancia es 18 pF ?

Escribamos la fórmula de la frecuencia de resonancia.

$$\nu = \frac{1}{2 \pi \sqrt{\mathcal{L} \mathcal{C}}} \quad (2)$$

$\nu \rightarrow$  frecuencia

Nuestros datos son  $\nu = 146 \text{ MHz}$  ,  $\mathcal{C} = 18 \text{ pF}$  . Despejamos  $\mathcal{L}$  y después calculamos el valor.

$$\mathcal{L} = \frac{1}{(2 \pi \nu)^2 \mathcal{C}} \quad (3)$$

Nuestros datos dan el resultado siguiente.

$$\mathcal{L} = 66000 \text{ pH} \quad (4)$$

Veamos la inductancia  $\mathcal{L}_o$  de la propagación EM en el vacío.

$$\mathcal{L}_o = \mu_o \frac{\lambda}{2 \pi} \quad (5)$$

El valor de  $\mu_o$  es característico del vacío, igual a  $4 \pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{m}$  . La frecuencia es 146 Mhz . Entonces el resultado es

$$\mathcal{L}_o = 410675 \text{ pH} \quad (6)$$

Veamos también la capacitancia  $\mathcal{C}_o$  del fotón en el vacío.

$$\mathcal{C}_o = \varepsilon_o \frac{\lambda}{2 \pi} \quad (7)$$

El valor de  $\varepsilon_o$  es característico del vacío, igual a  $8,854188 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Farad}}{m}$  . La frecuencia es 146 Mhz . Entonces el resultado es

$$\mathcal{C}_o = 2,893588 \text{ pF} \quad (8)$$

Comparemos los valores del transductor con los valores del fotón.

$$\frac{\mathcal{L}_o}{\mathcal{L}} = \frac{410675 \text{ pH}}{66000 \text{ pH}} = 6,22 \dots \quad (9)$$

$$\frac{\mathcal{C}}{\mathcal{C}_o} = \frac{18 \text{ pF}}{2,8935880 \text{ pF}} = 6,22 \dots \quad (10)$$

Ambos cocientes dan el mismo resultado, porque ambos corresponden a la condición de resonancia. Eso es obvio. Lo que nos interesa es el valor, es decir 6,22 , próximo a  $2 \pi = 6,283$  . He usado un capacitor de 18 pF porque funciona satisfactoriamente, sin hacer cálculos matemáticos. Eso significa que 18 pF puede aproximarse al valor de resonancia, pero lo más probable es que no sea exacto. ¿Cuánto valdría el cociente si en lugar de 18 pF tuviésemos el dato exacto ? ¿Podría resultar igual a  $2 \pi$  ?

No tengo un laboratorio. Por eso no puedo poner un capacitor variable y buscar con instrumentos la resonancia del sistema. Si tuviese un laboratorio y con ese procedimiento obtuviese un cociente idéntico a  $2\pi$ , ¿podría encontrar la explicación en las medidas geométricas del sistema, íntimamente relacionadas con las medidas del fotón en el vacío?

Excepto el largo del núcleo, todas las medidas geométricas sistema corresponden al fotón en el vacío. El largo  $l_n$  del núcleo es

$$l_n = \frac{\lambda}{(2\pi)^2} \simeq 52mm \quad (11)$$

Nada en el fotón de 146 MHz mide 52 mm. La referencia es el diámetro del fotón en el vacío, que para 146 MHz es 327 mm.

El alambre bobinado sobre el núcleo y el diámetro del disco son iguales a la medida de referencia. Simbolicemos  $l_o$  a esta medida.

$$l_o = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (12)$$

¿Cuánto vale el cociente entre  $l_o$  y  $l_n$ ?

$$\frac{l_o}{l_n} = \frac{\frac{\lambda}{2\pi}}{\frac{\lambda}{(2\pi)^2}} = 2\pi \quad (13)$$

Esto significa que, dentro del margen de error por no trabajar en un laboratorio, los resultados concuerdan con lo siguiente.

$$\boxed{\frac{\mathcal{L}_o}{\mathcal{L}} = \frac{l_o}{l_n}} \quad (14)$$

Previamente fue hecha la pregunta siguiente. ¿Podría la inductancia del transductor ser expresada por una fórmula análoga a la ecuación de la inductancia del fotón? En caso de no ser casuales los resultados comentados, la respuesta es afirmativa. La inductancia  $\mathcal{L}_o$  de la propagación en el vacío está dada por la ecuación (5), donde  $\frac{\lambda}{2\pi}$  es la longitud  $l_o$  de referencia.

$$\mathcal{L}_o = \mu_o l_o \quad (15)$$

La inductancia del transductor quedaría expresada por la ecuación siguiente.

$$\mathcal{L} = \mu_o l_n \quad (16)$$

La capacitancia óptima encontrada en la práctica concuerda con (15). Y (15) concuerda con las fórmulas análogas. Eso es interesante, en caso de no ser casuales los datos de la práctica.

Escribamos la fórmula utilizada habitualmente para calcular la inductancia de un solenoide largo.

$$L = \mu \frac{N^2 A}{l} \quad (17)$$



$\mu$  → permeabilidad del núcleo  
 $N$  → número de espiras  
 $A$  → área de la sección transversal del solenoide  
 $l$  → longitud del solenoide

Esa fórmula corresponde a corriente continua y a veces, cuando no se necesita exactitud, es usada para frecuencia baja como los 50 Hz de la red eléctrica ciudadana. Entonces no sirve para radiofrecuencia.

Si (15) fuese verdadera, entonces el cálculo del transductor de radiofrecuencia sería sencillo. La inductancia del sistema sería múltiplo o fracción angular de  $\mathcal{L}_o$ . Lo esperable es que sea fracción angular, porque ninguna medida del transductor es superior a  $l_o$ .

¿ Qué significa fracción angular ? Una fracción común tiene un número natural en el numerador, otro número natural en el denominador y nada más, como la fracción  $\frac{1}{2}$ . Una fracción angular incluye también a  $\pi$ . Por ejemplo,  $\frac{1}{2\pi}$ . Esta fracción angular aparece en el fotón. Y en el largo del núcleo del transductor aparece la segunda potencia de esa fracción angular.

¿ Ha perdido eficiencia el sistema porque la longitud del núcleo es fracción angular de  $l_o$  ? . Para responder necesitaríamos construir un núcleo con largo igual a  $l_o$ . En la práctica el sistema ha rendido muy bien. Podría suceder que no haya afectado. En caso de no afectar, el diseño basado en potencias de la fracción angular del fotón permitiría lograr sistemas eficientes muy pequeños, basados en la tercera potencia de la fracción angular, en la cuarta y en potencias de órdenes superiores. Cuanto mayor sea el orden de la potencia, menor será el tamaño del sistema, más delicado el proceso de construcción y mayor el grado de precisión necesario, hasta llegar a órdenes que solamente pueden ser llevados a la práctica utilizando nanotecnología. Con la tecnología adecuada, los dispositivos de todos los órdenes podrían ser igualmente eficaces, igualmente eficientes y tener el mismo rendimiento.

#### **h) ¿ A quién pertenece la autoría de esta antena ?**

Autor: Carlos Alejandro Chiappini, argentino, DNI 12.865.253, licencia de ENACOM con señal distintiva LW9DDD.

#### **i) ¿ Cuándo y dónde fue realizada la primera prueba ?**

2 de diciembre de 2019, 4:30 UTC, en Quilmes.