

# Antena Planetaria

**Author: Carlos Alejandro Chiappini**

## Abstract

Este documento describe una antena que opera en la banda de VHF para radioaficionados, comprendida entre 144 MHz y 148 MHz.

Aunque la forma geométrica recuerda a la antena eggbeater, el modo de funcionamiento es distinto. El diseño de la antena planetaria es el resultado de tener muy en cuenta las leyes físicas referidas al campo  $\vec{D}$ , denominado desplazamiento eléctrico. Eso permite lograr una antena pequeña que exhibe buen comportamiento.

El protón comenzó como un experimento de costo muy bajo, destinado a poner a prueba en la práctica los resultados de un desarrollo teórico de las propiedades del campo  $\vec{D}$ .

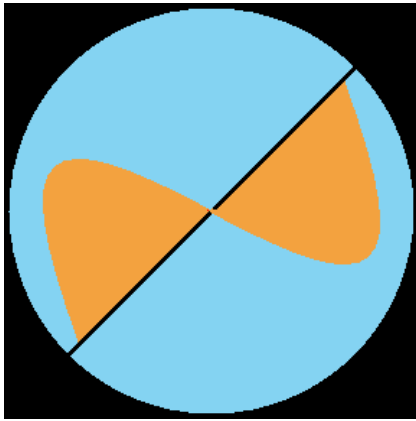
Probablemente muy pocos radioaficionados llegarán a interesarse en el aspecto teórico del diseño. Eso no es obstáculo para que puedan disfrutar la realización de algo nuevo que funciona bien.

## Agradecimientos

- Agradezco a mi hermano Héctor Hugo Chiappini por estimular, desde mi infancia, la fascinación por la física y por las radiocomunicaciones. A eso se agrega haberme obsequiado equipos y materiales de radio, que actualmente estoy aprovechando. También se agrega el sustento anímico, imprescindible para continuar.
- Agradezco al grupo humano del Radio Club Quilmes por haber puesto a mi disposición conocimientos técnicos, prácticas con equipos e instrumentos, paciencia para enseñarme lo necesario, brindando ayuda constante e inagotable. También agradezco la excelencia del curso previo a tramitar la licencia de radioaficionado, que además de enseñar normas y conocimientos logra suscitar entusiasmo, amor y responsabilidad en el ejercicio de la radioafición.
- Agradezco a los colegas que, brinándome lo mejor, se parecen mucho a mi hermano y saben ganar el título maravilloso de amigos.
- Agradezco a mi padre, Carlo Chiappini, por dedicar mucho tiempo y mucha paciencia a mi formación infantil y juvenil, en los aspectos ético, social, comunitario, familiar, musical e intelectual. Aunque ha fallecido, dejó su espíritu presente.
- Agradezco a cada mujer que ha mejorado alguna etapa de mi vida, en el rol que le haya correspondido. Ellas son como el aire, que no se percibe con la vista. Lo percibimos por un aroma, por la caricia de la brisa, por la fuerza del viento o, simplemente, porque si faltase sería imposible continuar respirando.

# Antena Planetaria

## *El Protón*



## Parte 1 - Presentación, fotografías e insumos

### (1-a) ¿ Qué trataremos ?

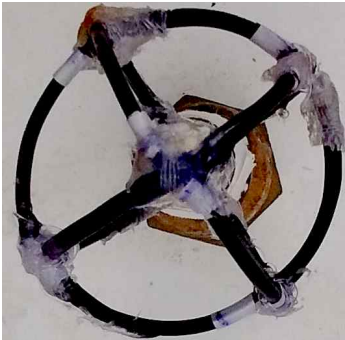
- Asunto : Antena compacta
- Banda : 144 MHz a 148 MHz ( banda de 2m de radioaficionados de Argentina )
- Tipo : Constituida por meridianos y ecuador (por eso el nombre planetaria)
- Tarea : Relatar el origen y exponer el diseño
- Contenido del documento : Descripción, medidas, guía para construcción casera y apéndice dedicado a leyes físicas que originaron el diseño

¿ Por qué El Protón es el nombre preferido en el grupo de colegas cercanos ? Tres días después del primer ensayo envié una foto de la antena a LU7DTC , Ariel Visciglio, colega del Radioclub Quilmes. La respuesta inmediata fue jajá, parece un protón. Fue un momento ameno e hilarante, que perdura en el nombre familiar de la antena.

### (1-b) Fotografías



El alambre irradiante es continuo, sin cortes. Simplemente ha sido moldeado para formar 4 meridianos y el ecuador, en semejanza con la geometría de un planeta. Un par de meridianos está dispuesto en un plano y el otro par en un plano perpendicular al anterior. La antena se monta directamente en un conector tipo PL259, porque su diámetro de 52 mm lo permite.



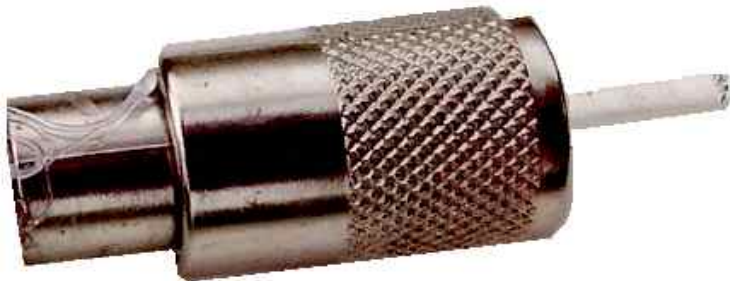
¿ Bastan las fotografías para poder construir la antena ? La respuesta es no y garantizo esa respuesta. Agrego lo siguiente. Leyendo minuciosa y serenamente las instrucciones, también es posible construirla deficientemente. Antes de realizar cada paso necesitamos comprender cómo, por qué y en qué forma realizarlo. ¿ Puede una estructura tan simple como esta ser muy sensible a errores menores ? Sí, doy fe.

### (1-c) Insumos necesarios

- 63 cm de alambre tensor, ese que vemos adosado al cable coaxial de 75  $\Omega$  utilizado por las empresas de video cable, pues tiene sección y rigidez adecuadas. Ese cable coaxial abunda, abandonado en la via pública.



- 1 conector PL259 macho



- Algo para sujetar los puntos de cruce en la estructura de alambre. En mi caso he utilizado tanza y pistola encoladora con barritas de silicona.
- Regla milimetrada para medir en el alambre los tramos correspondientes a meridianos, mitades de meridianos y ecuador. He utilizado una regla de acero de 50 cm de largo.
- Algo para poner en el alambre marcas visibles que delimiten los tramos, para poder moldearlos sin error. En mi caso utilicé cinta aisladora blanca y sobre ella hice cada marca con fibra negra indeleble, de punta delgada.
- Alicata
- Pinza aguda ( esa que tiene brazos largos y delgados )
- Pinza de electricista ( brazos normales )

- Soldador eléctrico (entre 35 y 45 watt está bien)
- Estaño de radio ( 60/40 es calidad suficiente para esta tarea )

## Parte 2 - Construcción

### EVITAR RIESGOS

Este documento no exhibe mediciones de ROE . Antes de probar la antena en transmisión mida la ROE en la banda correspondiente (desde 144 MHz hasta 148 MHz en el caso de la banda de radioaficionados). Cuando la ROE se acerca a 2 o lo supera hay peligro para el equipo y lo aconsejable es no probar en transmisión. La prueba en recepción puede ser hecha, teniendo mucho cuidado para evitar que accidentalmente se active la transmisión. Recuerde que el valor de ROE depende de casi todo. Del lugar donde está la antena cuando hacemos la medición, de todo lo que hay en el entorno, de estar cerca o lejos de paredes, techos, chimeneas, de estar dentro de un inmueble o fuera, de poner la antena hacia arriba, hacia abajo, inclinada y de todo lo que Usted pueda agregar a la lista. Pruebe en situaciones y condiciones distintas. Si la ROE resulta inadecuada en todos los casos, deseche la antena.

En mi caso el riesgo se minimiza porque dispongo el equipo en 1 W de salida de radiofrecuencia. Aunque se reflejase totalmente la potencia de salida (ROE demasiado alta), 1 W no es suficiente para dañar los componentes del equipo. Utilizo un handy Baofeng UV-5R , equipo barato comparado con otros más elaborados. La medición de ROE fue hecha por alguien que trabaja en una empresa, sin que pueda yo estar presente. Por eso prefiero que Usted se encargue personalmente del tema, en caso de construir la antena. ¿ Pero cómo puedo tomar la decisión de construirla sin datos del rendimiento ni datos de la ROE ? He comprobado personalmente el rendimiento. En transmisión es bueno. La antena instalada a 5 m del suelo, conectada al Baofeng UV-5R y con 1 W de salida de RF logra, en ciudad plena, 25 Km de alcance. En el caso de 1 W el interlocutor (a 25 Km en línea recta) sabe que alguien está modulando, entiende entre el ruido muy pocas palabras, sin entender el mensaje completo. Con 5 W entiende todo el mensaje, aunque un poco de ruido acompaña a la modulación. En un radio de 15 Km en línea recta el interlocutor recibe muy poco ruido y cada vez menos, cuando la distancia disminuye. En un radio de 10 Km en línea recta se puede operar con 1 W sin ruido. Las antenas con ROE excesiva suelen rendir muy poco. Esto permite confiar en las mediciones que hizo el hombre en la empresa, obteniendo resultados tranquilizadores.

### (2-a) Preparar el alambre



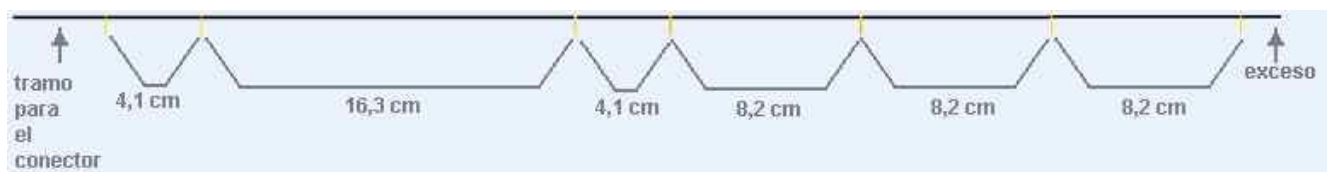
La longitud irradiante total es 49 cm. ¡ Ah, un cuarto de onda ! Absolutamente no. La medida proviene de otro método, basado en el análisis del vector desplazamiento eléctrico. En el final del documento hay un apéndice que lo explica.

En la imagen anterior vemos una zona violeta, que simboliza una parte omitida. La omisión permite mostrar más detalladamente la región de los 49 cm. También hay marcas hechas con cinta aisladora blanca, que se ven mejor en la imagen siguiente.



- La primera marca señala 4,1 cm , medida de medio meridiano.
- La segunda señala 8,2 cm , medida de un meridiano entero.
- La tercera señala 16,3 cm , medida del ecuador.

Después de marcar la regla, el paso siguiente es marcar el alambre. Para trabajar cómodamente, tomamos 63 cm de alambre. En uno de los extremos irá colocado el conector. Entonces pondremos la primera marca a 10 cm del extremo, para dejar un tramo generoso que facilite la colocación del conector.



La segunda marca se ubica a 4,1 cm (41 mm) de la primera e indica medio meridiano.

La tercera se ubica a 16,3 cm (163 mm) de la segunda, indicando la medida del ecuador.

La cuarta se ubica a 4,1 cm de la tercera, indicando la medida de medio meridiano.

La quinta a 8,2 cm (82 mm) de la tercera, indicando la medida de un meridiano entero.

La sexta a 8,2 cm de la quinta (meridiano entero).

La séptima a 8,2 cm de la sexta (meridiano entero).

Después de la séptima dejamos un exceso de alambre, pues tal vez lo necesitemos para optimizar la resonancia en el centro de banda. En teoría el exceso sería innecesario si todos los detalles de la construcción quedasen perfectos. En la práctica la imperfección es muy probable y un exceso pequeño después del cuarto meridiano puede compensar los errores.

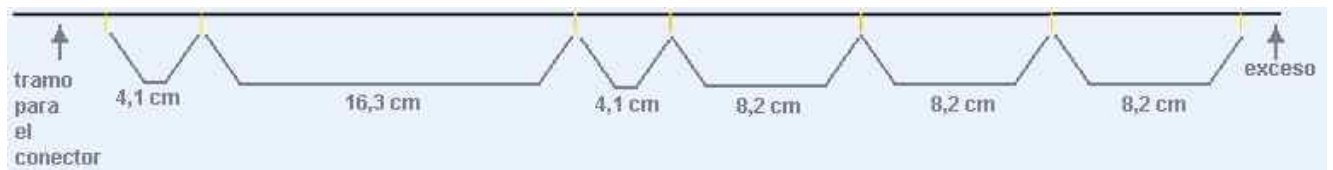
Si el exceso es necesario, lo mejor es dar a todos los meridianos la medida normal. El cuarto termina en el polo sur, donde debe llegar con medida normal y ser sujetado en el punto donde está la marca de medida normal. El exceso emergerá del polo sur, como el tallo de una planta emerge de la tierra. Es importante la inclinación del trocito de alambre que dejamos en exceso. Podemos acercarlo al cuello del conector o alejarlo. Variando la longitud y la inclinación del exceso buscaremos optimizar el rendimiento.



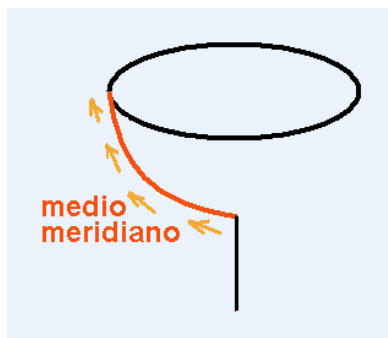
El mayor exceso que necesité fue 9 milímetros, pero dejo siempre más y después lo corto poco a poco, verificando cómo mejora el rendimiento. Una vez, cuando pude respetar bien la geometría esférica y las medidas, fue suficiente un exceso menor que un milímetro. En teoría pura el exceso es innecesario y perjudicial, porque la teoría se formula suponiendo que las medidas y la forma son absolutamente perfectas. En la práctica, la sección del alambre no es igual a cero y eso imposibilita lograr la perfección geométrica. La construcción manual agrega otra cuota de imperfección. Por ese motivo, un exceso pequeño puede optimizar el rendimiento.

## (2-b) Pasos de la construcción

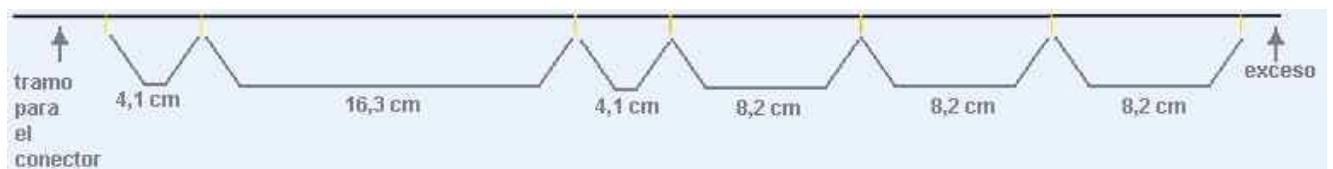
### Paso A : Hacer medio meridiano



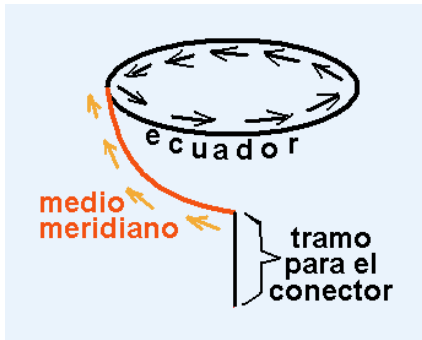
El tramo que va desde el extremo del alambre hasta la primera marca se deja para colocar después el conector. Entre las marcas primera y segunda hay 4,1 cm . Con esos 4,1 cm haremos la mitad del meridiano 1, es decir un cuarto de circunferencia. ¿ Cuánto mediría el diámetro de la circunferencia entera ? Mediría 5,2 cm. Para facilitar la tarea podemos usar como ayuda algún objeto cilíndrico de 5 cm de diámetro, que sirva de base para curvar el alambre en la forma necesaria. Cuanto más próximo a la perfección quede todo, menos exceso necesitaremos y mejor funcionará la antena.



### Paso B : Hacer el ecuador



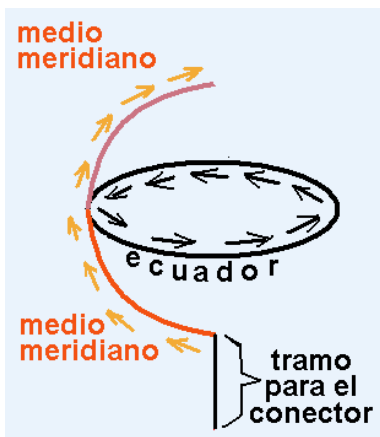
El tramo que va desde la segunda marca hasta la tercera mide 16,3 cm y se usa para el ecuador.



Describiré mi manera de proceder. Al tramo para el conector lo pongo vertical, con su extremo hacia abajo, como indica la figura. El medio meridiano queda por encima de ese tramo. El ecuador se inicia en el punto más alto del medio meridiano, hace una circunferencia entera y regresa al punto de partida. Las flechas del dibujo indican el sentido escogido para recorrer la circunferencia. Recordémoslo bien, porque el conjunto de los cuatro meridianos debe ser coherente con ese sentido. Usted puede escoger el sentido que desee para el ecuador, siempre que después construya los meridianos en forma coherente. Cuando describamos la construcción de los tres últimos meridianos explicaremos la coherencia.

**Paso C :** La otra mitad del primer meridiano

El ecuador empieza y termina en el mismo punto, que es el punto donde iniciaremos la segunda mitad del primer meridiano.



**Paso D :** Hacer el meridiano 2





El meridiano 2 se inicia en el punto donde termina el meridiano 1 . Este punto es, en el dibujo, el polo norte de nuestro planeta pequeño.

El meridiano 1 está situado sobre un plano que es perpendicular al plano del ecuador. El meridiano 2 se ubica sobre un plano que es perpendicular al plano del meridiano 1 y perpendicular al plano del ecuador. Imaginemos que una hormiga camina por el ecuador. Si la caminata se inicia en el meridiano 1, el camino más corto hasta el meridiano 2 se logra en el sentido que marcan las flechas del ecuador. Esta es la guía para construir los meridianos en forma coherente con el ecuador. Cada meridiano que construimos, debe apartarse del anterior siguiendo el sentido que escogimos para construir el ecuador.

Para construir el meridiano 2 usaremos el tramo de alambre situado entre las marcas cuarta y quinta. Ese tramo mide 8,2 cm . Para dar forma al alambre podemos usar el mismo objeto cilíndrico que antes.

**Paso E :** Hacer los meridianos 3 y 4

Esta vez no repetiremos las figuras. La descripción verbal es suficiente.

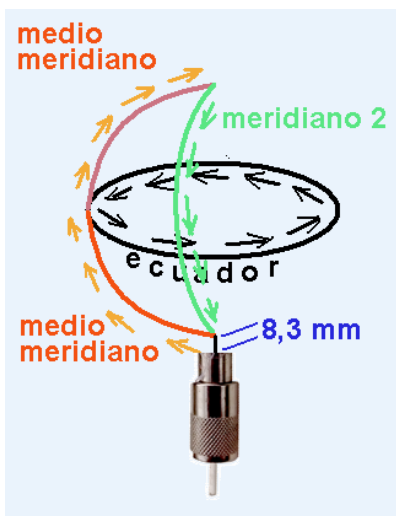
El meridiano 3 va del polo sur al polo norte. Su plano es perpendicular al plano del ecuador y al plano del meridiano 2 . Se aparta del meridiano 2 en el sentido que indican las flechas del ecuador. Para construirlo usaremos el tramo de alambre comprendido entre las marcas quinta y sexta. Ese tramo mide 8,2 cm .

El meridiano 4 va del polo norte al polo sur. Su plano es perpendicular al plano del ecuador y al plano del meridiano 3 . Se aparta del meridiano 3 en el sentido que indican las flechas del ecuador. Para construirlo usaremos el tramo de alambre comprendido entre las marcas sexta y séptima. Ese tramo mide 8,2 cm . En teoría deberíamos cortar el alambre en la séptima marca, donde finaliza el meridiano 4 . En la práctica, recordemos dejar algo de exceso.

Podemos moldear los meridianos 3 y 4 usando el objeto cilíndrico mencionado antes.

**Paso F :** Colocar el conector PL259

La separación adecuada entre el polo sur y el punto de inicio del conector es 8,3 mm . En el apéndice explicaremos este detalle.



**Paso G :** Averiguar cómo se logra el mejor ajuste para el centro de banda

El exceso puede ser necesario o no. Si Usted ha logrado medidas y geometría sin errores, o con errores mínimos, no necesitará dejar exceso y podrá cortar el alambre exactamente en el polo sur. En caso contrario, deje un exceso y después redúzcalo poco a poco, milímetro a milímetro. ¿ Con cuánto exceso empezaremos ? Como relaté en el inicio del documento, nunca he necesitado más de 9 milímetros de exceso. Y como puede Usted ver en las fotografías, mi habilidad manual no es mucha. Empiece con un centímetro y medio de exceso si su habilidad manual no supera la mía. Si la supera empiece con menos, para minimizar el número de pruebas de funcionamiento que hará hasta optimizar el ajuste. Cada milímetro que reduzca exige hacer una prueba. Como fue expresado en el inicio del documento, la posición del exceso también es muy importante y requiere verificar el rendimiento. Sugiero cortar milímetro a milímetro, pero en realidad basta cortar pocas décimas de milímetro, una o dos en ocasiones, para cambiar el rendimiento. Un ajuste verdaderamente bueno requiere muchísima paciencia, cortando décimas de milímetro y buscando con mucha delicadeza la posición óptima del exceso.

Seguramente no he logrado documentar todos los detalles que he aprendido construyendo varios protones. Supongo que he documentado lo básico, para que Usted agregue su buen criterio y su habilidad hasta obtener el resultado esperado.

## Parte 3 - Apéndice

### (3-a) Separación entre el polo sur y el conector

Mi criterio en el diseño del protón es usar medidas de la serie  $s$  (  $s_1$ ,  $s_2$ , etc. ) . La medida  $s_3$  es 8,3 mm , aceptable como separación entre el polo sur y el conector.

$$s_3 = \frac{\lambda}{(2\pi)^3} = 8,278 \text{ mm} \simeq 8,3 \text{ mm} \quad (1)$$

### (3-b) Antes del protón

Desde mucho tiempo atrás, cuando no tenía licencia de radioaficionado, me había interesado en el análisis del vector desplazamiento eléctrico, simbolizado  $\vec{D}$  . James Clerk Maxwell, científico insigne de la electrodinámica, necesitó en sus investigaciones reconocer la relevancia del desplazamiento eléctrico para formular la teoría en una forma completa, coherente y consistente. Sin incluir a  $\vec{D}$  y analizar minuciosamente sus propiedades, esa formulación hubiese sido imposible.

Siempre me resultó inexplicable ( y sospechosa ) la forma de enseñar en las aulas y en la bibliografía el tema de la propagación electromagnética, pues las lecciones no incluyen un análisis adecuado del campo  $\vec{D}$  cuando la onda se propaga en el vacío.

Ese modo de enseñar nunca me conformó y, cuando tuve la posibilidad, dediqué tiempo y esfuerzo al análisis del campo  $\vec{D}$  en el caso más simple de la propagación en el vacío. De ese análisis resultaron teoremas que nadie me había enseñado en las aulas y que la bibliografía no contiene. Ninguna bibliografía, de ninguna época y de ningún origen, contiene eso. Esos

teoremas conducen desde las ecuaciones de Maxwell hasta temas de física avanzada, con las formulaciones matemáticas y los resultados concretos correspondientes. Aparece, directamente, una rama de la física que no es enseñada en las aulas ni en la bibliografía.

Los teoremas correspondientes a la propagación electromagnética en el vacío contienen un término relevante, igual a la longitud de onda  $\lambda$  dividida por  $2\pi$ . La ecuación de onda enseñada en las aulas contiene la inversa de ese término, denominada constante de propagación  $k$ , igual a  $2\pi$  dividido por  $\lambda$ . Veamos la ecuación de la onda eléctrica, en su forma completa, para el caso más simple de la propagación en el vacío.

$$D = \hat{D} e^{i(\omega t - kx)} \quad (2)$$

En las aulas no es enseñada la forma entera. Es enseñada la forma incompleta siguiente.

$$E = \hat{E} \text{sen}(\omega t - kx) \quad (3)$$

En la forma completa es evidente la polarización del vacío cuando en ese medio se propaga una onda electromagnética, de la frecuencia y de la potencia que sean. La onda menos potente y de menor frecuencia que pueda existir, también está acompañada por la polarización del vacío. Este detalle no es contemplado en la enseñanza pública. Sin incluirlo es imposible comprender y formular adecuadamente fenómenos fundamentales. Usted puede encontrar un análisis de estos fenómenos en el documento titulado James Clerk Maxwell Conocimiento Prohibido, asequible en los enlaces siguientes.

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

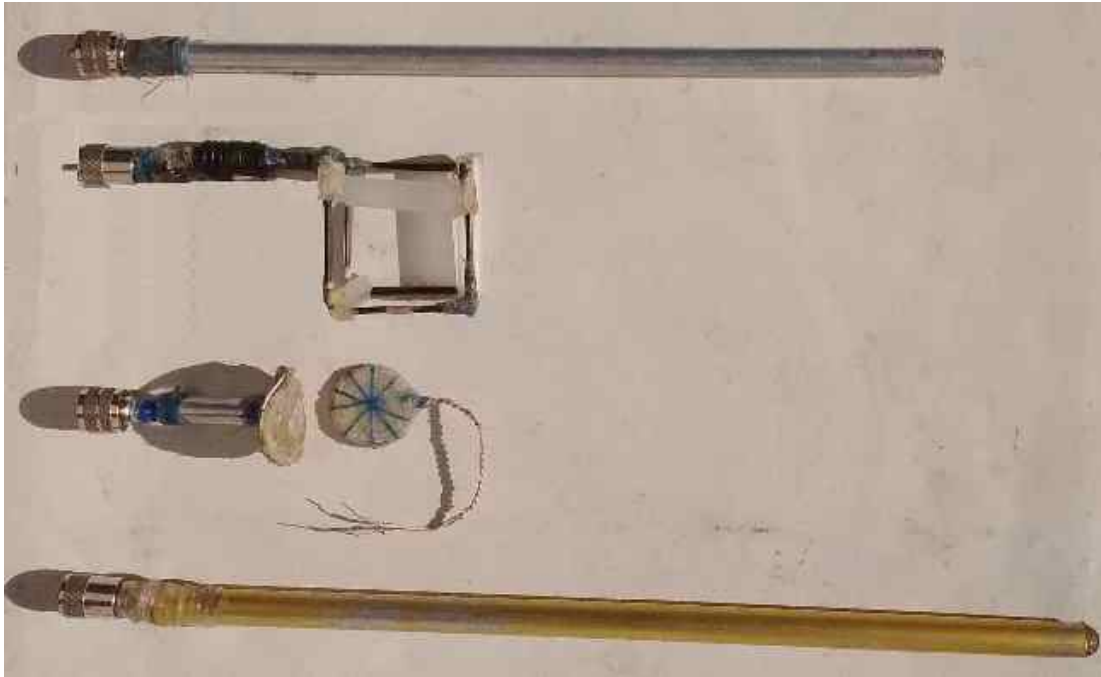
<http://www.monografias.com/docs115/james-clerk-maxwell-conocimiento-prohibido/james-clerk-maxwell-conocimiento-prohibido.shtml>

El segundo enlace es muy largo y por eso abarca dos renglones, pero debemos usarlo sin interrupción intermedia.

En todos los desarrollos basados en la forma completa es relevante el término  $s_1$  dado por la fórmula siguiente.

$$s_1 = \frac{\lambda}{2\pi} \quad (4)$$

El desarrollo demuestra que, en el vacío, la onda electromagnética más simple consiste en un conjunto de cilindros constituidos exclusivamente por campo electromagnético. La longitud del cilindro individual es igual a  $\lambda$  y el diámetro es igual a  $s_1$ . Este término tiene relevancia desde la onda más simple que se propaga en el vacío hasta la constitución de las partículas elementales, como el electrón, el protón, el neutrón y sus antipartículas respectivas. Es el término que todo lo analizado tiene en común. Es imposible evitar la inquietud de construir alguna antena basada en la medida  $s_1$ . Así se inició mi actividad de construir antenas experimentales y probarlas.



La fotografía muestra algunos diseños anteriores al protón. Empezando desde arriba, la primera antena es un tubo con un alambre dentro. La longitud del tubo es  $s$ , igual que la longitud del conductor de adentro. Desde el comienzo mostró muy buen rendimiento, con un alcance en ciudad de 18 Km con 5 W y buena calidad de recepción para el interlocutor. La segunda antena hacia abajo es el resultado de aprender en la práctica que  $s$  es la clave general en todos los niveles, desde lo más grande hasta lo más pequeño. Me propuse empezar con una antena de medida  $s_1$ , porque aparece inmediatamente en el desarrollo matemático. Las medidas más chicas no son evidentes a primera vista. Para encontrarlas necesitamos repasar todo el desarrollo, con la intención de entender mucho más detalladamente la razón de ser  $s_1$  el diámetro del cilindro elemental de la radiación en el vacío. En el cilindro hay dos medidas resonantes, una es  $\lambda$  y otra es  $s_1$ . La medida  $\lambda$  resuena con los campos  $\vec{E}$  y  $\vec{B}$ . La medida  $\frac{\lambda}{2\pi}$  resuena con la polarización del vacío y, por esa razón, resuena directamente con el espacio. En términos relativistas, corresponde decir que resuena con el espaciotiempo.

¿Solamente una vez permiten las leyes electrodinámicas dividir por  $2\pi$ , o permiten hacerlo más veces, tal vez infinitas veces y obtener siempre buen rendimiento? Responder esta pregunta en forma puramente matemática es una tarea que excede mis posibilidades. Entonces decidí construir antenas siguiendo ese orden, es decir dividiendo a  $\lambda$  más de una vez por  $2\pi$ .

Dividir a  $\lambda$  dos veces por  $2\pi$  es dividir por  $(2\pi)^2$ . Por eso mi segundo experimento fue construir antenas de medida  $s_2$ , dada por la fórmula siguiente.

$$s_2 = \frac{\lambda}{(2\pi)^2} \quad (5)$$

Empezando desde arriba, la segunda antena que se ve en la fotografía es un cubo con arista igual a  $s_2$ . Como sucede en el protón, el irradiante no tiene cortes y recorre las aristas, como recorre en el protón los meridianos y el ecuador. En la antena cúbica el alambre irradiante no está conectado directamente al equipo. Hay un transductor intermedio, pero las similitudes con el protón son muchas y esenciales. En una noche con propagación favorable, la antena cúbica con 1 W fue escuchada a 34 Km en línea recta, en forma muy ruidosa. Con 5 W había

ruido de fondo, pero la modulación se entendía completa. El QSO fue realizado entre mi QTH en Quilmes y un recreo situado sobre Ruta 5, en la frontera entre Ezeiza y Esteban Echeverría. El colega interlocutor tenía su antena Ringo instalada a 50 centímetros del suelo, al costado del automóvil. Esta experimentada práctica respondió aquella pregunta que soy incapaz de responder en forma puramente matemática. La medida  $s_2$ , aplicada a una geometría adecuada, ofrece el mismo rendimiento que la medida  $s_1$ . Y ese rendimiento no es inferior al rendimiento de las antenas tradicionales.

El transductor es un alambre envainado de medida  $s_1$ , bobinado sobre una varilla de hierro del 8 de medida  $s_2$ . Es el mismo alambre que usamos en el protón. Esas medidas resuenan a la frecuencia del centro de banda, 146 MHz. ¿Cuál es la ventaja de usar un transductor como ese? La ROE se mantiene muy baja en toda la banda y la transferencia de energía a través del transductor es muy buena. Recordemos que con 1 W, la emisión de la antena cúbica fue recibida a 34 Km en línea recta.

Dividiendo más veces por  $2\pi$  obtenemos las medidas  $s_3$ ,  $s_4$ ,  $s_5$  y así sucesivamente. Según lo sucedido con  $s_2$ , uno entiende que todas ellas, utilizadas en una geometría adecuada, permiten obtener buen rendimiento. En teoría es posible pensar en un conjunto de infinitas antenas. Una de medida  $s_1$ , otra de medida  $s_2$ , otra de  $s_3$  y todas las otras hasta  $s_n$ , con  $n \rightarrow \infty$ . Ese conjunto de infinitas antenas, puestas una a continuación de otra, equivale a una antena levemente más larga que la medida  $s_1$ . La suma no es grande, porque cada antena es  $2\pi$  veces más corta que la anterior. Para 146 MHz, la primera mide 32,7 cm, la segunda 5,2 cm, la tercera 8,3 mm, la cuarta 1,31 mm, la quinta 2,1 décimas de milímetro y así, cada antena aporta menos a la longitud total. En matemática se dice que tenemos una serie convergente, es decir que termina dando un valor finito determinado. Este valor se calcula con la fórmula siguiente.

$$s_1 + s_2 + s_3 + s_4 + s_5 + (\dots) = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\lambda}{(2\pi)^i} \quad \text{con } n \rightarrow \infty = \frac{\lambda}{2\pi - 1} \quad (6)$$

Para 146 MHz la fórmula (5) da 38,85 cm. Es decir 6,15 cm más que  $s_1$ . La antena de abajo en la fotografía tiene medida  $s_n$ , es decir mide 38,85 cm. El rendimiento es levemente mejor que en el tubo de medida  $s_1$ .

La tercera antena empezando de arriba es un tubo de medida  $s_2$ , es decir de 5,2 cm, con una bobina de muy baja inductancia adherida al extremo. Sería óptima una inductancia igual a cero, pero eso no se logra en la práctica. Entonces nos conformamos con la menor inductancia que podamos lograr. Repasemos un concepto básico. Cuando la inductancia es muy alta, una corriente pequeña circulando por la bobina produce un campo magnético intenso. Cuando la inductancia es muy baja, una corriente muy grande circulando por la bobina produce un campo magnético débil.

Ahora recordemos que todos los fenómenos electrodinámicos son reversibles. La corriente alterna pertenece a la electrodinámica. La radiofrecuencia es corriente alterna que, en vez de operar a 50 Hz, opera a frecuencia mucho mayor. Esto significa que la radiofrecuencia es de tipo electrodinámico y sus fenómenos son reversibles. La bobina produce un campo magnético alterno cuando por ella circula corriente alterna. Esto es reversible, es decir, la bobina entrega corriente a una carga conectada en sus extremos cuando en el ambiente hay un campo magnético alterno. En el caso de este tipo de antena, la radiación se concentra más en el extremo del tubo que en otras partes. Esto significa que ahí es intenso el campo magnético radiofrecuente. Una bobina de baja inductancia adosada a ese extremo entregará buena corriente a una carga. Si la carga es el alambre irradiante situado dentro del tubo, logramos

realimentación positiva y aumentamos el rendimiento de la antena. Esta antena logra el mismo rendimiento que el tubo de 32,7 cm y que la antena cúbica de 5,2 cm de arista. La bobina de baja inductancia está sintonizada a la frecuencia del centro de banda.

### (3-c) ¿ Cómo surgió la idea del protón ?

Todas las antenas previas al protón funcionaron bien, pero geoméricamente no tienen un diseño muy simétrico. ¿ Sirve de algo el diseño simétrico ? En principio sí, porque con más simetría lograremos más omnidirectividad. Y en términos vectoriales la mejor simetría minimiza la potencia reactiva, maximizando la potencia activa. Esto significa, en el vocabulario radial, minimizar la ROE .

Es imposible recorrer todas las aristas del cubo con un alambre sin cortes ni partes encimadas. Un teorema de la topología demuestra que, sin cortes ni partes encimadas, podemos recorrer como máximo 9 aristas del total de 12 que tiene el cubo. Aunque esto no produce asimetría global, causa asimetrías parciales en la emisión. ¿ Existe alguna forma que no produzca asimetría global ni asimetrías parciales ? Meditando nos convencemos de lo siguiente. Para lograrlo necesitamos simetría esférica. En vez de aristas tendremos meridianos y ecuador. ¿ Cuántos meridianos ? Si queremos que los meridianos y el ecuador se ubiquen en planos mutuamente perpendiculares, como las coordenadas cartesianas ortogonales, utilizaremos 4 meridianos. En electromagnetismo los planos mutuamente perpendiculares minimizan las interacciones perjudiciales. Así llegamos a la forma del protón.

La medida  $s_1$  es imprescindible, porque aparece en todas las ecuaciones esenciales referidas al campo  $\vec{D}$  . La primera versión del protón no tenía ecuador. Por esa razón repartí la medida  $s_1$  entre los 4 meridianos. Eso dio buen rendimiento cuando lo construí, pero no superó al tubo de 38,85 cm . Este resultado inspira dudas, porque los 4 meridianos tienen más simetría geométrica que el tubo. ¿ Por qué no rinden mejor ? Pasé casi dos años probando el protón sin ecuador, haciéndolo a veces un poco ovalado, otras veces un poco más chato que la esfera perfecta, etc. Ninguno de esos intentos superó al tubo de 38,85 cm .

Después de dos años razoné que la radiofrecuencia proveniente del equipo recorre uno a uno los meridianos. Entra al primero , después al segundo, después al tercero y después al cuarto. Entonces, en términos netos, la energía sigue un camino de avance ecuatorial. Eso equivale, virtualmente, a una corriente que recorre el ecuador. ¿ Qué sucedería si en vez de utilizar 32,7 cm de alambre utilizamos más, para poder construir también el ecuador y tener en él circulación de radiofrecuencia ? Lógicamente, la radiofrecuencia debe recorrer el ecuador en el mismo sentido que el movimiento de energía de los meridianos. Por eso en los pasos de construcción hemos destacado ese detalle.

Agregando el ecuador, el alambre utilizado medirá mas de 32,7 cm. ¿ Cuánto más ? El ecuador utiliza tanto alambre como dos meridianos, porque la geometría es esférica. Un meridiano se hace con 8,2 cm de alambre. El doble es 16,4 cm . En total utilizaremos 32,7 cm + 16,4 cm = 49,1 cm . Esto es muy próximo a los 49 cm utilizados en las antenas habituales de un cuarto de onda. En términos matemáticos, la longitud de onda en el vacío para 146 MHz es 2,053 m y un cuarto de esa longitud es 51,32 cm , no 49 cm . Se dice que la atmósfera no se comporta como el vacío y, por eso, la longitud del elemento irradiante debe ser 5 por ciento menor que la longitud de onda en el vacío. Quise averiguar el origen teórico de esa norma y nadie lo conoce, ni pude hallar bibliografía que lo explique. Es una norma empírica.

Entonces decidí aplicar al alambre irradiante los mismos teoremas que determinan las propiedades del cilindro elemental de radiación y las propiedades de las partículas. Esos teoremas contienen un término adimensional, simbolizado  $\gamma$ , cuyo valor es igual a la carga  $q_e$  del electrón dividida por la carga  $Q_o$  correspondiente a un semiciclo del cilindro elemental de la radiación.

$$\gamma = \frac{q_e}{Q_o} = \frac{-3 + \sqrt{13}}{2} = 0,302775637731994646... \quad (7)$$

Planteando el balance elemental de energía llegamos, para onda completa, a una longitud de alambre irradiante 4,58 por ciento menor que la longitud de onda en el vacío. Esto no tiene relación con el comportamiento de la atmósfera. Se relaciona con la onda de desplazamiento  $D$  que se forma dentro del alambre irradiante. La energía  $W_m$  del campo magnético de esta onda es propia del movimiento oscilatorio de las partículas. Si esta energía fuese irradiada, la oscilación sería imposible y no existiría radiofrecuencia. La energía de esta oscilación está dada por la fórmula siguiente.

$$W_m = \frac{1}{2} \left( \frac{e}{Q_o} \right)^2 W_{Tx} \quad (8)$$

$W_m$  → energía de oscilación de las partículas

$W_{Tx}$  → energía entregada por el transmisor

Haciendo los cálculos resulta lo siguiente.

$$\text{longitud irradiante para onda completa} = 1,96 \text{ m} \quad (9)$$

$$\text{longitud irradiante para } \frac{1}{4} \text{ de onda} = 48,97 \text{ cm} \quad (10)$$

Coincide muy bien con los 49 cm de la norma empírica para un cuarto de onda. Y se aproxima mucho a los 49,1 cm de la geometría perfectamente esférica mencionada antes. Consecuentemente se aproxima mucho al balance de energía dado por las leyes físicas. Pero algo próximo no es exacto. Si queremos exactitud necesitaremos un alambre irradiante que tenga longitud total igual a 48,97 cm, que es el valor dado por las leyes físicas. Este valor corresponde a la separación física entre un nodo y la cresta más cercana de la onda establecida dentro del alambre irradiante. En la medida que nos apartemos de esos 48,97 cm disminuirá el rendimiento. Si el total debe ser 48,97 cm y utilizamos 32,7 cm para los meridianos, ¿cuánto alambre queda para el ecuador?

$$\text{longitud del ecuador} = 48,97 \text{ cm} - 32,7 \text{ cm} = 16,27 \text{ cm} \quad (11)$$

Por eso en los pasos de construcción destinamos 16,3 cm al ecuador, en vez de los 16,4 cm que mide el ecuador de la esfera perfecta. El protón se aparta muy levemente de la geometría esférica, para optimizar la resonancia en el centro de banda.

### (3-d) Criterio útil en el desarrollo experimental

Cada vez que un radioaficionado veía alguna de las antenas experimentales, inmediatamente preguntaba lo siguiente. ¿Mediste la ROE? ¿Cuánta ROE tiene? Mi respuesta era que no la había medido. Así estuve tres años. Esos años hubiesen sobrado para juntar el dinero que



cuesta un medidor de ROE . Nunca lo hice, porque para estudiar antenas nuevas la medición de ROE es una prisión mental. Un diseño bien encaminado puede dar, en la precariedad de los primeros intentos, un valor inaceptable de ROE . Eso no significa que debamos abandonar el estudio de ese diseño. Solamente significa que necesitamos rever detalles para mejorarlo. La obsesión de obtener valores de ROE cercanos a 1 puede atentar contra la libertad de ensayar algo interesante.

Cuando construí el protón como indican los pasos de este documento, el rendimiento superó mucho a lo obtenido con el tubo de 38,85 cm . Para comprobar que ese resultado no es casual, construí más protones en la misma forma y todos rindieron en la misma medida. Evidentemente había llegado a un diseño estable, que da siempre el mismo resultado respetando las mismas normas de construcción. Y ese resultado supera a todos los anteriores. Las leyes físicas están cumplidas en el diseño del protón. Después de tres años de esfuerzo, acepté al protón con ecuador como un diseño adecuado. Entonces lo instalé en la terraza de mi casa, a 5 m del suelo. El cable coaxial de bajada mide 45 m de largo. Es un cable que atenúa poco, pero 45 m producen una atenuación importante. Eso no es obstáculo para obtener buenos reportes al operar con repetidoras y en forma directa, siempre utilizando 1 W .

Después de bastantes meses de simplemente usar el protón para conversar con los colegas, quedó comprobada la estabilidad del diseño. Entonces padí a un amigo que trabaja en un laboratorio de radio que midiese medir la ROE del protón. Son mediciones alentadoras. No las incluyo en este documento para que Usted las haga antes de conectar la antena a su equipo. Eso sirve para prevenir riesgos.

---

Soy Carlos Alejandro Chiappini, único autor del diseño de la Antena Planetaria, familiarmente denominada El Protón. Tengo licencia de radioaficionado otorgada por ENACOM en Argentina, con señal distintiva LW9DDD. Mi email es lw9ddd@gmail.com . Mi teléfono celular es 1151537099 y no tiene whatsapp. Siempre QRV . 73 !