

# Antenas Escalares - Scalar Antennae

Carlos Alejandro Chiappini

## Abstract:

### ESPAÑOL

Teoremas deducidos de la ecuaciones de Maxwell determinan la geometría y las medidas de la unidad elemental de radiación en el vacío. Las antenas escalares se basan en esos datos. La característica práctica es minimizar el tamaño sin perjuicio del rendimiento. Como tarea experimental resultan interesantes, porque refuerzan la confianza en los teoremas que permiten diseñarlas.

### ENGLISH

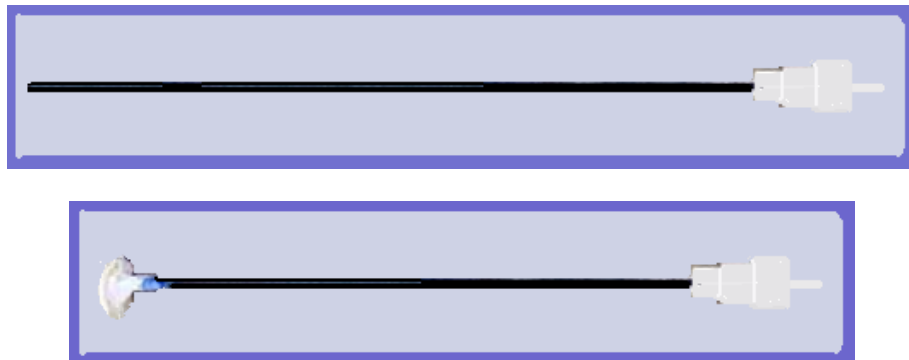
Theorems deduced from Maxwell's equations determine the geometry and measurements of the elementary unit of radiation in a vacuum. Scalar antennas are based on these data. The practical feature is to minimize the size without sacrificing performance. As an experimental task they are interesting, because they reinforce confidence in the theorems that allow them to be designed.



## Antenas Escalares

El adjetivo escalares está impregnado actualmente de connotaciones ligadas a una hipótesis popular, referida a un tipo reservado de tecnología electromagnética. En el contexto de este documento, el adjetivo proviene de dos detalles. Uno es la reducción de tamaño respecto a las antenas tradicionales, en escala  $\frac{1}{2\pi}$ . Esto significa que las antenas escalares miden menos de la sexta parte del tamaño de las antenas tradicionales. El otro detalle corresponde a una propiedad de estos dispositivos irradiantes, que estimulan la polarización del vacío. Esta polarización posee una densidad de carga espacial, que no involucra electrones ni otras partículas eléctricas pertenecientes a la materia. La densidad de carga está clasificada técnicamente como magnitud escalar.

Antes del desarrollo conceptual, quiero mostrar imágenes tres modelos muy sencillos de antenas escalares. En los tres casos la longitud total del conductor irradiante es 612,5 mm. Difieren en la disposición geométrica.



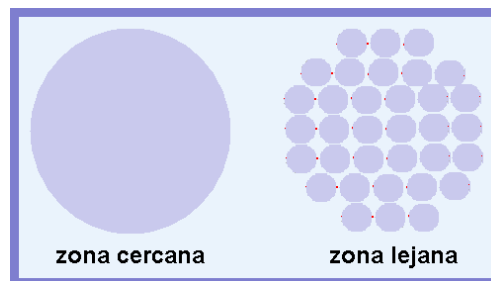


Las tres antenas funcionan en VHF con muy buen rendimiento. En la primera el conductor irradiante es completamente recto. La segunda tiene un tramo recto de 204 mm y, en el extremo de este tramo, una bobina espiral plana monofililar que contiene los 408,5 mm restantes. La tercera tiene geometría esférica. Está formada por 4 meridianos, el ecuador y una bobina espiral cónica sobre el polo situado del lado del conector. Son tres maneras de acomodar los 612,5 mm totales. En todos los casos el alambre está moldeado sin efectuar cortes. Es un alambre continuo de 612,5 mm , acomodado en la forma geométrica de cada caso.

## PARTE 1 - ¿ En qué se basan las antenas escalares?

### (1-a) Zona lejana en el vacío

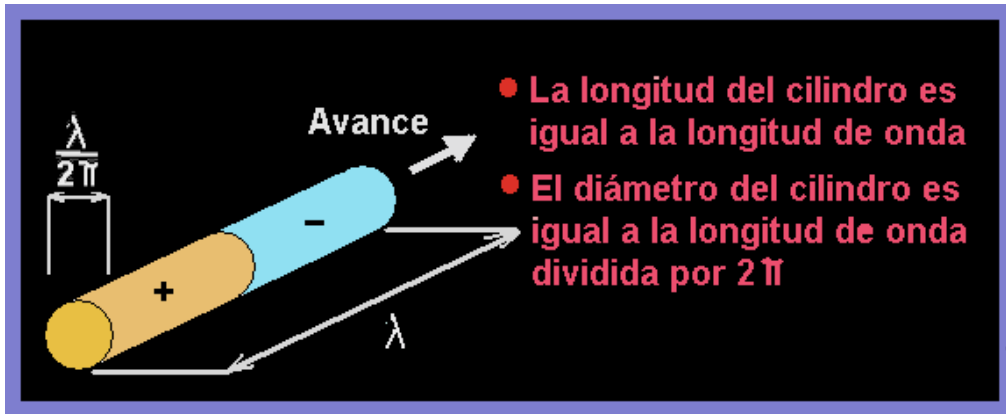
Lo que sigue está referido a la emisión electromagnética en el vacío, aunque en buena proporción es similar a lo que sucede en el aire.



En zona cercana al dispositivo irradiante, cerca de la antena en nuestro caso , la onda electromagnética toma la forma de un campo único que contiene toda la energía emitida por el equipo. Esto significa que la energía se distribuye en un frente de onda único y continuo, que envuelve a la antena.

Suficientemente lejos, el frente de onda inicial colapsa y se forma una multitud de unidades elementales, cada una con su frente de onda propio. Por conservación de la energía, sumando todas las energías elementales obtenemos como resultado la energía que antes correspondía al frente de onda único. El conjunto de unidades elementales es denominado *distribución discreta* .

Teoremas deducidos de las ecuaciones de Maxwell determinan la forma geométrica y las medidas de la unidad elemental de radiación electromagnética en zona lejana. En el caso de una onda plana propagada en el vacío, la unidad elemental es cilíndrica.



No necesitamos conocer los teoremas para comprender lo esencial de estas antenas. He incluido el enlace al documento que los contiene pues algunas personas pueden interesarse en el sustento teórico.

<https://vixra.org/abs/1711.0313>

### (1-b) Observar y preguntar

Prestemos atención a los datos de la figura.

- La longitud del cilindro es igual a la longitud de onda
- El diámetro del cilindro es igual a la longitud de onda dividida por  $2\pi$

- Las antenas habituales tienen medidas basadas en la longitud de onda, es decir, basadas en la longitud del cilindro.
- ¿ Es posible construir antenas eficientes basando las medidas en el diámetro del cilindro ?

Equivale al planteo siguiente.

En las antenas tradicionales la excitación primaria energiza los campos transversales de la onda electromagnética, simbolizados  $\vec{E}$  y  $\vec{H}$ .

¿ Es posible generar ondas eficientemente cuando la excitación primaria energiza la componente longitudinal del campo ? La respuesta es afirmativa. Esta componente se vincula con la polarización del vacío.

Para establecer en el vacío una polarización estática, que se mantenga sin oscilar un tiempo apreciable, es necesaria una gran diferencia de potencial (muy alta tensión en lenguaje práctico). La polarización oscilatoria no presenta esa dificultad.

Alrededor de un dispositivo eléctrico que oscila en resonancia la polarización del vacío es inevitable, aunque opere con muy poca diferencia de potencial. Operar en resonancia significa que la frecuencia de operación resuena con alguna parte de la geometría del dispositivo, o con más de una.

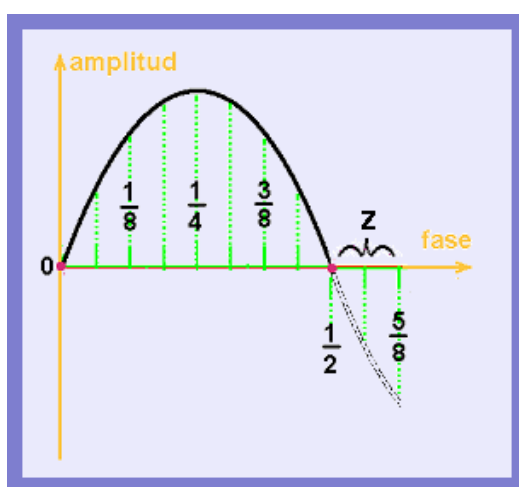
## PARTE 2 - Lo similar y lo distinto

### (2-a) Segmento funcional mínimo

- Las antenas habituales basan sus medidas en la longitud de onda, es decir, en la longitud del cilindro elemental.
- Las antenas que nos ocupan, denominadas antenas escalares, basan sus medidas en el diámetro del cilindro, igual a  $\frac{\lambda}{2\pi}$ .
- En las antenas habituales, el segmento funcional mínimo es  $\frac{1}{8}$  de  $\lambda$ .
- En las antenas escalares el segmento funcional mínimo es  $\frac{1}{8}$  de  $\frac{\lambda}{2\pi}$ .

¿ Por qué que  $\frac{1}{8}$  de la medida básica es el segmento funcional mínimo ?

Analicemos, por ejemplo, la antena tradicional de  $\frac{5}{8}$ .



A lo largo del conductor irradiante la amplitud del campo no es constante. Podemos representarla con una función de onda, del tipo mostrado en la figura. Por simpleza, la figura representa la distribución cuando la amplitud vale cero en el extremo inicial del conductor irradiante. Denomino extremo inicial al extremo por donde ingresa la energía.

El último octavo, señalado en la figura con la letra  $z$ , está ubicado después del último nodo. La amplitud en el nodo es igual a cero. El segmento  $z$ , en ese instante, irradia en forma independiente del resto de la antena. Significa que es capaz de irradiar como los otros segmentos de  $\frac{1}{8}\lambda$  existentes en la antena. En cada ciclo del funcionamiento se produce un instante con las mismas características. La capacidad de irradiar independientemente no se anula en el tiempo que media entre dos instantes análogos. Consecuentemente un segmento de  $\frac{1}{8}\lambda$  es capaz de irradiar independientemente, sea o no parte de un irradiante más largo.

#### ■ CONVENIO

A la longitud de onda la simbolizaremos con la letra griega  $\lambda$  (lambda), utilizada comunmente en los textos.

¿ Cómo se comporta un segmento inferior a  $\frac{1}{8}\lambda$  ? Todos los objetos metálicos irradian cuando reciben electricidad alterna. Las líneas del servicio eléctrico ciudadano también lo hacen. Aunque estas líneas operan con frecuencias muchísimo menores que las frecuencias de radio,

están irradiando. Un segmento inferior a  $\frac{1}{8}\lambda$  obviamente irradia muy pobremente. El segmento de  $\frac{1}{8}\lambda$  irradia con la misma eficiencia cuando es parte de una antena completa y cuando está solo. Por esta razón es el segmento funcional mínimo en el diseño de antenas.

Utilizo el adjetivo *funcional* para destacar la igualdad de rendimiento en ambas situaciones. No estoy afirmando que una antena con longitud total igual a  $\frac{1}{8}\lambda$  tendrá el mismo rendimiento que otra de medida habitual, porque en una antena habitual hay varios segmentos de  $\frac{1}{8}\lambda$  operando conjuntamente. Eso implica muchos decibeles de diferencia.

- En el ámbito de las antenas habituales,  $\frac{1}{8}\lambda$  es la medida del segmento funcional mínimo.
- En el ámbito de las antenas escalares,  $\frac{1}{8} \frac{\lambda}{2\pi}$  es la medida del segmento funcional mínimo.

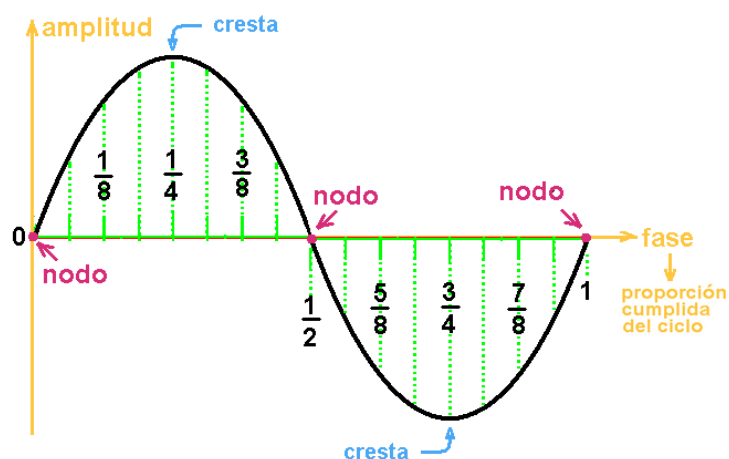
Hemos comprendido los detalles básicos. La tarea siguiente es aplicarlos a la construcción de antenas escalares.

### (2-b) Longitud total óptima del irradiante

Los tres modelos mostrados ofrecen rendimientos muy parecidos cuando los construimos con cuidado, minuciosamente. ¿Por qué el rendimiento es parejo? La práctica indica que la causa es la misma longitud total en los tres casos. En el modelo esférico es muy determinante la perfección geométrica. Por ejemplo, es crítico el cruce entre cada meridiano y el ecuador. Cuidando los detalles, rinde tanto como los otros dos modelos. La construcción del primero no requiere cuidados especiales y, por eso, obtenemos fácilmente toda la eficiencia que los 612,5 mm pueden dar.

La eficiencia notable de la longitud total  $\frac{15}{8} \frac{\lambda}{2\pi}$  permite suponer que es la medida óptima del irradiante en antenas escalares.

### (2-c) Nodos, crestas, fase y longitud



Ciclo es el comportamiento que se repite, subiendo y bajando. El ciclo comienza en cero, se aleja de cero hasta llegar a la cresta, regresa a cero, se aleja en sentido contrario hasta la otra cresta, para regresar nuevamente a cero y empezar otro ciclo.

Cada nodo es frontera entre dos zonas opuestas, porque en una el alejamiento de cero va en sentido contrario al alejamiento observado en la otra. Un ciclo completo posee tres nodos, uno en el inicio, otro en el final y otro que es frontera entre las dos mitades del ciclo. Técnicamente, al medio ciclo se lo denomina semiciclo o hemiciclo.

La fase y el avance de la onda en su camino progresan parejamente. Por eso las fracciones de ciclo, como  $\frac{1}{8}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ , van parejas con las fracciones correspondientes de la longitud de onda, es decir  $\frac{1}{8}\lambda$ ,  $\frac{1}{4}\lambda$ ,  $\frac{1}{2}\lambda$  y  $1\lambda$ . El 1 representa al ciclo entero, que corresponde a una longitud de onda entera. A la vez, son medidas frecuentes en la construcción de antenas.

Si conceptualmente buscamos una semejanza entre la propagación de una onda y algo más habitual, podemos pensar en un automóvil sin amortiguadores. Ese automóvil oscila mientras avanza, porque los resortes de la suspensión mantienen a la carrocería subiendo y bajando continuamente. El cuerpo de alguien que camina también oscila mientras avanza, por la flexión de las piernas. Son dos ejemplos de sucesos cotidianos que matemáticamente se expresan en la misma forma que una onda. Si el automóvil lleva un tubo que expulsa fuertemente pintura hacia el lado de la acera, sobre las paredes veremos una figura similar a la curva del gráfico precedente. Lo mismo si lo lleva una persona.

Ahora entendemos por qué el avance en el camino y la fase progresan parejamente. Lo hemos entendido para el avance del automóvil y para la caminata, que son fenómenos mecánicos.

El avance de una onda de radio es un fenómeno electromagnético. Esto no disminuye la similitud en la forma de cumplir los ciclos con nodos, fase, fracciones de longitud de onda, etc. Quien estudia mecánica y aprende el planteo de la función de onda con las operaciones matemáticas asociadas, manejará fácilmente el planteo y las operaciones referidas a ondas electromagnéticas.

Las ondas aparecen en todo porque no hay en la naturaleza algo totalmente rígido, que pueda existir sin vibrar. Todo es capaz de vibrar y de tener comportamiento ondulatorio. En situaciones de poca exigencia las oscilaciones pueden tener amplitud extremadamente pequeña y nuestros medios, en esos casos, son insuficientes para detectarlas. Extremadamente pequeñas no significa ausentes. En la naturaleza todo existe en estado vibratorio y se comporta ondulatoriamente. Sucede desde el interior del átomo hasta el orden astronómico. Y en todos los órdenes hay ondas electromagnéticas asociadas con los fenómenos.

Función de onda es la forma matemática de expresar el comportamiento de algo que oscila mientras avanza.

*El gráfico previo corresponde a ese tipo de función.*

Ningún objeto carece de oscilación, ni cuando lo observamos en reposo, ni cuando se mueve respecto a nosotros. Mientras el objeto existe, la oscilación cumple su ciclo.

- El cero de la amplitud es la posición del objeto antes de empezar a oscilar.
- A todas las posiciones situadas por debajo del cero les asignamos valores de amplitud negativos.

- A todas las posiciones superiores al cero les asignamos valores positivos.
- Con eso, el gráfico de avance resulta similar a la línea ondulada que el tubo pinta sobre la pared.

## PARTE 3 - Transferir energía entre el irradiante y el espacio libre

### (3-a) Onda en el irradiante

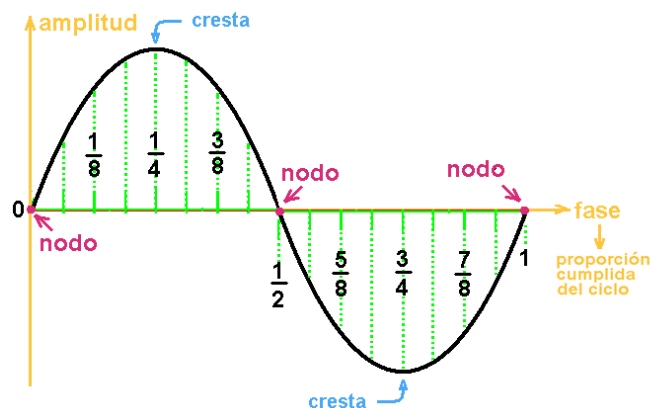
¿ Qué hace la salida del transmisor ? Provee la energía necesaria para crear en el irradiante un campo eléctrico que varía cumpliendo ciclos. Es un campo eléctrico alterno que oscila a la frecuencia establecida por los componentes sintonizados del equipo.

¿ En qué unidad se mide el campo eléctrico ? En  $\frac{V}{m}$ . Es una unidad compuesta por otras dos, el volt  $V$  y el metro  $m$ . Cuando compro caño metálico, me interesa saber cuanto pesa cada metro del tipo de caño que me ofrecen. Pregunto al comerciante y me informa lo siguiente. *330 gramos por metro*, es decir  $330 \frac{g}{m}$ . En su respuesta el comerciante usa la unidad compuesta  $\frac{g}{m}$ , que sin un número delante significa simplemente un gramo en cada metro. Precedida por un número, expresa el tipo de información ofrecida por el comerciante. El número colocado delante depende del materia, del grosor de la pared y del diámetro del tubo. Al dato  $\frac{g}{m}$  lo denominamos masa distribuida en la longitud, más precisamente, masa por unidad de longitud.

En modo análogo,  $\frac{V}{m}$  expresa la diferencia de potencial entre un punto del conductor y otro punto situado a un metro del primero. El potencial eléctrico no necesita un conductor ni necesita un medio material para establecerse. En el espacio libre también se establece. Por eso en el espacio libre existen campos eléctricos, casi siempre acompañados por campos magnéticos. Existen instrumentos adecuados para medir la diferencia de potencial y para medir los campos eléctricos y magnéticos.

Una batería establece en un alambre conductor un campo eléctrico parejo, denominado campo eléctrico uniforme, sin variaciones, sin oscilación en toda la longitud del alambre.

Un transmisor provee energía en forma oscilante y se establece un campo eléctrico que varía a lo largo del conductor. En el caso más simple, la distribución del campo concuerda con el gráfico mostrado antes. Recordemos ese gráfico.



Hemos llegado al momento de destacar algo esencial.

La energía oscilante crea su camino y viaja.

Lo hace en todos los medios y en todos los ambientes. Por ejemplo, si en una piscina movemos la mano oscilatoriamente la energía viaja en forma de ondas que vemos en el agua. La corona solar está hecha de plasma, medio capaz de participar en fenómenos mecánicos, térmicos y electromagnéticos. Los fenómenos térmicos producen oscilaciones en la corona solar, como el calor produce oscilación en la tapa de una pava o una olla cuando el agua hierve. Varios tipos de ondas se propagan en la corona. Ondas mecánicas como en el caso de la piscina, ondas térmicas con variación cíclica de la temperatura y ondas electromagnéticas, porque el plasma es un medio iónico. La ionosfera terrestre está transitada por ondas electromagnéticas e interactúa con ondas de este tipo, como las ondas de telecomunicaciones.

### **(3-b) ¿ Podemos adecuar la antena a esa propiedad esencial ?**

Hagamos la lista de lo que deseamos lograr y de lo que deseamos evitar.

- Lograr
- En transmisión, maximizar la eficiencia.
- En recepción, minimizar la sensibilidad a los ruidos.
  
- Evitar
- En transmisión, que la energía pueda regresar al transmisor después de llegar hasta la antena. Es decir evitar que se refleje, o dicho vulgarmente, que rebote en vez de ser emitida.
- En recepción, la atenuación de las señales que deseamos recibir.

### **(3-c) ¿ Podemos basar la antena en el diámetro del cilindro elemental ?**

Sí, por lo siguiente.

La energía oscilatoria proveniente del transmisor hará lo que la medida del irradiante posibilite.

¿ Qué significa eso ? Las medidas de las antenas tradicionales son múltiplos o fracciones racionales de la longitud de onda. Esas medidas no tienen relación con el diámetro del cilindro elemental. Este diámetro no es fracción racional de la longitud de onda. Por eso las antenas habituales no pueden crear la onda estimulando directamente la polarización del vacío.

### **(3-d) ¿ Hay ventaja cuando estimulamos directamente la polarización del vacío ?**

La práctica indica que si. ¿ Podemos encontrar una explicación lógica ? Razonemos. Con medidas basadas en el diámetro del cilindro, las unidades elementales nacen directamente desde la antena y, en zona cercana, no se produce la acumulación de energía en un frente de onda único.



El fenómeno correspondiente al frente de onda único se parece más a un campo encerrado en una cavidad que a una onda viajando libremente. Con ayuda de adjetivos vulgares podemos describirlo como algo viscoso, turbulento, que se expande con poca velocidad en las inmediaciones de la antena y que, cuando se aleja, gradualmente aumenta la velocidad hasta llegar a la distancia de colapso, donde el frente de onda único se descompone para posibilitar la formación de una multitud de unidades elementales. El fenómeno complejo de la zona cercana es un obstáculo para la propagación, que causa aumento de la temperatura y de la entropía de radiación.

Si buscamos analogía con la experiencia cotidiana, podemos pensar en dos haces de luz iguales. Uno pasa por un vidrio semiopaco y otro viaja sin obstáculo. El vidrio absorbe parte de la energía lumínica, aumentando la temperatura y la entropía. Aunque en la zona cercana no existe un obstáculo material, el efecto es similar.

#### **PARTE 4 - ¿ Por qué $\frac{15}{8} \frac{\lambda}{2\pi}$ es una medida adecuada ?**

Esa medida exhibe buen rendimiento en la práctica. ¿Cuál es la razón ? Empleando los conceptos expuestos previamente, intentemos comprender lo que sucede.

##### **(4-a) Unidad de medida en el irradiante**

El comportamiento del campo en el irradiante depende de la unidad de medida utilizada.

En el apartado (2-a) comprendimos que en antenas habituales el segmento funcional mínimo mide  $\frac{1}{8} \lambda$  y que, en antenas escalares, mide  $\frac{1}{8} \frac{\lambda}{2\pi}$ . Simbolicemos  $\varphi$  al segmento funcional mínimo de las antenas escalares y destaquemos la medida.

$$\varphi = \frac{1}{8} \frac{\lambda}{2\pi} \quad (1)$$

Cuando la longitud total es igual a  $\varphi$  o igual a un múltiplo de  $\varphi$  tenemos una antena escalar, que irradia sin obstáculo en la zona cercana. Lo que una antena tradicional hace con irradiante de medida igual a  $\lambda$ , una antena escalar lo hace con irradiante de medida  $\frac{\lambda}{2\pi}$ , teniendo impedancias adaptadas. En un caso es la medida total es la longitud del cilindro, en el otro es diámetro.

La relación se mantiene. La antena escalar es  $2\pi$  veces menor comparada con la antena tradicional. En ambos tipos, la eficiencia depende del número de segmentos funcionales mínimos abarcados por el irradiante.

¿ Por qué la tabla contiene solamente números impares de segmentos  $\varphi$  ? Porque respetando la relación  $2\pi$ , todo lo que razonemos con antenas tradicionales es análogo a lo que sucede en las antenas escalares.

##### **(4-b) ¿ Qué podemos aprender de las antenas tradicionales ?**

En antenas tradicionales el segmento funcional mínimo es  $\Delta = \frac{1}{8} \lambda$ . El primer número par es  $2\Delta = \frac{1}{4} \lambda$ . Un cuarto de ciclo exacto es un fenómeno capaz de pasar del irradiante al espacio libre y propagarse con autonomía. No necesita que el vacío aporte energía para completarlo.

El mismo comportamiento se observa con todas las medidas de irradiante iguales a un número par de segmentos  $\Delta$ . ¿Qué sucede con un número impar? En este caso no se completa en el irradiante el último cuarto de ciclo. La única manera de lograr la propagación es completar ese cuarto con energía aportada por el vacío, pues toda la energía entregada por el transmisor es utilizada por el irradiante.

Eso significa que a la energía entregada por el transmisor se suma la energía que el vacío aporta. Propongamos un ejemplo didáctico. El transmisor entrega 3 watt y el vacío, para completar el cuarto de ciclo, aporta 1 watt. Eso significa que la onda emitida tiene una potencia de 4 watt, superior a lo que entrega el transmisor. La práctica muestra que una antena tradicional de  $\frac{5}{8} \lambda$  rinde más que las antenas de  $\frac{1}{4} \lambda$  y de  $\frac{1}{2} \lambda$ . Estas dos últimas irradian sin aporte de energía proveniente del vacío.

Mostremos en una tabla lo que se nota en la práctica.

: Longitud total y rendimiento :

Longitud total	Rendimiento
$\varphi$	mínimo
$3 \varphi$	primera mejora, no logra ROE=1
$5 \varphi$	segunda mejora, no logra ROE=1
$7 \varphi$	tercera mejora, no logra ROE=1
$9 \varphi$	cuarta mejora, no logra ROE=1
$11 \varphi$	quinta mejora, no logra ROE=1
$13 \varphi$	sexta mejora, no logra ROE=1
$15 \varphi$	séptima mejora, logra ROE=1

La longitud total  $15 \varphi$  logra ROE=1 constante en un intervalo amplio, que excede notablemente por ambos extremos la banda de aficionados.

Hemos aprendido de las antenas tradicionales la ventaja de utilizar un número impar de segmentos funcionales mínimos. Esto es válido también en las antenas escalares, respetando la medida correspondiente del segmento funcional mínimo, que es  $\varphi = \frac{1}{8} \frac{\lambda}{2\pi}$ . Por esta razón la tabla precedente contiene solamente números impares de segmentos  $\varphi$ .

## PARTE 5 - Antena recta de longitud total $15 \varphi$

El diseño más simple corresponde a un irradiante recto de esa medida. Detallaremos el modo de construirlo.

### (5-a) Unidad de medida en el irradiante

Las medidas de las antenas tradicionales no se basan exactamente en la longitud de onda de la propagación libre. Se basan en una medida un poco menor, aproximadamente 5% menor.

Las medidas de las antenas escalares se basan exactamente en la longitud de onda de la propagación libre en el vacío, sin reducir un 5 % ni porcentaje alguno. Entonces el primer paso es calcular la longitud de onda en el vacío para el centro de banda.

La banda de VHF de radioaficionados en Argentina abarca desde 144 MHz hasta 148 MHz y el centro es 146 MHz . Calculemos  $\lambda$  para 146 MHz wen el vacío.

$$\lambda_o = \frac{C}{f} = \frac{299792458 \frac{m}{s}}{146000000 Hz} = 2,053373m \quad (2)$$

$\lambda_o$  → longitud de onda en el vacío para el centro de banda

$C$  → velocidad de la propagación en el vacío

$f$  → frecuencia

Calculemos el diámetro  $\Phi$  del cilindro.

$$\Phi = \frac{\lambda_o}{2 \pi} = \frac{2,053373m}{2 \pi} = 0,32680m \quad (3)$$

Vemos en la ecuación (3) que el diámetro se aproxima a 327 milímetros.

Calculemos el segmento funcional mínimo  $\varphi$  .

$$\varphi = \frac{1}{8} \frac{\lambda_o}{2 \pi} = \frac{1}{8} 326,80 mm = 40,851 mm \quad (4)$$

#### (5-b) Calcular la longitud total del irradiante

La longitud total es 15  $\varphi$  . Multiplicamos por 15 el segmento funcional mínimo indicado en (4) . Obtenemos lo siguiente.

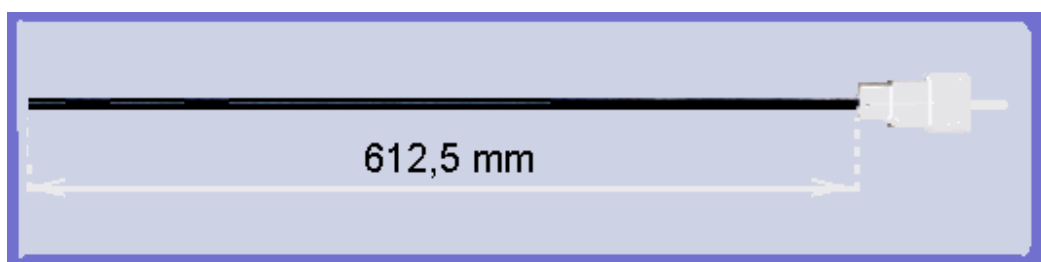
$$M = 15 \varphi = 612,758 mm \quad (5)$$

$M$  → longitud total del irradiante

Con aproximación aceptable, la medida expresada en (5) corresponde a 61 cm más 2 milímetros y medio. Necesitamos respetar el medio milímetro final, porque he construido una antena de 61 cm más 2 milímetros y el comportamiento no fue igual. La práctica me enseñó a respetar la cuenta con la mayor exactitud posible.

#### (5-c) Construir la antena

- La antena es simplemente un alambre o una varilla de material conductor que se conecta al pin central del conector que decidamos usar. Eso es todo. Con esa simpleza. En mi caso usé un conector tipo PL259.
- ¿ Cómo se mide en la práctica la longitud total del irradiante ?



Se mide desde la boca del conector hasta la punta del irradiante. El tramo situado dentro del cuerpo del conector no se cuenta como parte del irradiante, porque el cuerpo es blindaje y no permite que ese tramo irradie. Solamente irradia la parte expuesta al espacio libre, que va desde la boca del conector hasta la punta del irradiante.

- ¿ Falta algo en la descripción de la construcción ? No. La antena tiene esa simpleza. Un alambre soldado al pin central y está lista. Toda la magia está en la medida y por eso necesitamos respetarla exactamente, hasta ese medio milímetro final. No hay secreto ni dificultad en la construcción. Bastan pocos minutos para realizarla.

## PARTE 6 - Comentario y detalles de otros diseños de $15 \varphi$

Las antenas tradicionales dominan nuestro panorama habitual. Una antena tradicional constituida solamente por un conductor conectado al pin central es algo que jamás podría interesarnos. La situación cambia con las antenas escalares, pues emiten sin el obstáculo de la zona cercana. Y con longitud total igual a un número impar de  $\varphi$  la emisión recibe del vacío un aporte de energía considerable. Estos son motivos concretos para emprender la construcción, que se realiza en pocos minutos en el caso del irradiante recto.

### (6-a) Compactar la antena

Mientras la longitud total del irradiante sea la misma obtendremos rendimientos muy similares al rendimiento del modelo más simple, detallado previamente. Para conservar el rendimiento necesitamos cumplir algunas normas básicas.

- Cuando la longitud total se distribuye en partes, necesitamos que ninguna parte del irradiante quede paralela a otra. Veamos dos modelos que cumplen esa norma.



En antenas escalares hay una relación estrecha entre geometría y rendimiento. Para optimizarlo necesitamos cumplir algunas normas básicas.

- Cuando hay partes paralelas, necesitamos que la corriente de desplazamiento tenga en todas el mismo sentido. Lo contrario reduce el campo neto.
- Cuando hay partes que no son paralelas, necesitamos que sean mutuamente perpendiculares en los términos de la geometría utilizada. Por ejemplo, en términos de geometría esférica los meridianos son perpendiculares al ecuador.

A la izquierda vemos un diseño que tiene geometría esférica. Está constituido por un alambre continuo, sin interrupciones, que ha sido moldeado para acomodarlo esféricamente. Sus partes son 4 meridianos, el ecuador y cerca del conector un tramo de alambre delgado bobinado en espiral cónica. Este último tramo tiene alambre más delgado sin interrumpir la continuidad,

porque el tramo delgado fue soldado al tramo grueso, obteniendo un alambre único de longitud total igual a  $15 \varphi$ .

A la derecha vemos un modelo constituido por un tramo recto que mide  $5 \varphi$  y continúa en una bobina espiral plana de alambre delgado, que mide  $10 \varphi$ . El tramo recto es perpendicular al plano de la bobina espiralada.

Veamos con más detalle la bobina espiralada plana.



Encontramos las mismas normas básicas en diseños realizados por Nikola Tesla. Hay dispositivos suyos que incluyen la bobina espiral plana y, según informes de la época, algunos obtenían del vacío un aporte de energía.

## PARTE 7 - ¿ Por qué el irradiante de $15 \varphi$ logra ROE=1 ?

ROE=1 significa que nada de la energía entregada por el transmisor permanece sin ser irradiada. Las antenas tradicionales logran eso en partes de la banda. Las antenas escalares logran ROE=1 pareja y constante en un intervalo amplio, que excede por ambos extremos la banda de aficionados. ¿ Cómo logran las antenas escalares que ninguna parte de la energía quede sin irradiar ? Razonemos.

- En una antena tradicional de  $15 \Delta$  cabe un semiciclo completo, más otro apenas incompleto. Está apenas incompleto porque, después de formar un semiciclo completo, queda espacio para  $7\Delta$ . Falta un segmento  $\Delta$  para completar el segundo semiciclo en el irradiante.

La energía del semiciclo incompleto no puede retroceder porque, para retroceder, debería recorrer el tramo de  $8 \Delta$  precedente, que está cumpliendo la tarea de irradiar y no puede interrumpirla para efectuar la tarea de retroceso. Por eso la energía no puede retroceder y la única posibilidad es irradiarla.

La condición para irradiarla es completar el segundo semiciclo fuera de la antena, en la zona cercana. Por tal razón la propagación tiene una demora en esa zona, avanzando lentamente y con dificultad.

- En una antena escalar de  $15 \varphi$  tampoco se completa el segundo semiciclo, porque falta espacio para el último segmento  $\varphi$ . Esto es análogo a lo que sucede en la antena tradicional. También es análoga la imposibilidad del retroceso, por las mismas razones.

Encontramos diferencia en el modo de completar el segundo semiciclo, porque la antena escalar solamente puede emitir energía en forma de cilindros elementales. La suma de la energías aportadas por el equipo y por el vacío es emitida inmediatamente con velocidad de propagación normal, sin demora en la zona cercana. Por eso la antena escalar logra ROE=1 pareja y constante en un intervalo amplio, que supera por ambos extremos la banda de aficionados.

## PARTE 8 - Manos a la obra

Las antena escalar empezó como un plan experimental. Desde el comienzo exhibió gran rendimiento, aunque los primeros modelos no ofrecían la impedancia de  $50 \Omega$  requerida por los equipos. La ROE era inadecuada, pero el rendimiento muy bueno.

En el transcurso de un año surgió la idea de minimizar el tamaño y, con ella, la pregunta siguiente. ¿Qué sucede si en vez de dividir a  $\lambda$  por  $2\pi$  una sola vez, dividimos más de una vez ?

Para banda de VHF de aficionados, la medida de primer orden es

$$\frac{\lambda}{2\pi} = 327 \text{ mm}$$

La medida de segundo orden es

$$\frac{\lambda}{4\pi^2} = 52 \text{ mm}$$

El primer diseño de segundo orden fue un formato cúbico con aristas de 52 mm. En VHF, con 1 W, handy Baofeng UV-5R, antena a 6 m del suelo, un colega situado a 34 Km reconoció entre mucho ruido mi señal distintiva. Con 1 W no fue posible entender más, pero sirvió para avisarme que aumentara la potencia. Entonces utilicé 5 W y el QSO prosiguió con modulación inteligible, aunque mezclada con ruido.

Manteniendo la premisa del segundo orden, presté atención al detalle siguiente. La antena cúbica tiene el patrón de radiación esperable, que dista mucho de la omnidirectividad. Para evitar el problema pensé en utilizar geometría esférica, construyendo una versión precaria de la antena mostrada en la foto.

Esa versión tenía solamente los cuatro meridianos, con undiámetro de 52 mm, dado por el cálculo de segundo orden. La longitud total que los cuatro meridianos suman es 327 mm, igual a la medida de primer orden. La geometría esférica permite la presencia de ambos órdenes en el mismo diseño. El rendimiento fue muy bueno y disminuyó la desadaptación de impedancias, pero la ROE aún era inadecuada. Entonces decidí agregar el ecuador, que produjo mejora en el rendimiento y disminución aceptable de la ROE, sin resultar pareja en toda la banda.

Antes de intentar otras modificaciones, calculé la longitud total del alambre empleado para construir los cuatro meridianos y el ecuador.

$$\text{longitud del ecuador} = \pi \cdot 52 \text{ mm} = 163,362818 \text{ mm} \quad (6)$$

Dos meridianos suman la misma longitud que el ecuador. Cuatro meridianos la misma longitud que dos ecuadores

$$4 \text{ meridianos} = 2 \pi \cdot 52 \text{ mm} = 326,725636 \text{ mm} \quad (7)$$

$$\text{longitud total del alambre} = 3 \pi \cdot 52 \text{ mm} = 490,0884540 \text{ mm} \quad (8)$$

Sin premeditarlo, solamente por necesidad de optimizar la antena, había llegado a utilizar una longitud total muy próxima a  $\frac{1}{4} \lambda$ , pues en el vacío es  $\frac{1}{4} \lambda = 513,34325 \text{ mm}$ . ¿Cuanto menor que  $\frac{1}{4} \lambda$  es el irradiante de 490,0884540 mm? Calculemos la respuesta porcentualmente.

$$\text{diferencia porcentual} = \frac{513,34325000 \text{ mm} - 490,0884540 \text{ mm}}{513,34325000 \text{ mm}} \cdot 100 \quad (9)$$

Resolviendo el cálculo obtenemos

$$\text{diferencia porcentual} = 4,53\% \quad (10)$$

Las antenas tradicionales se construyen restando algo menos de 5% a la longitud de onda calculada para el vacío. Eso coincide con la longitud total del alambre utilizado en los 4 meridianos más el ecuador. Aunque el rendimiento sea bueno, esa medida es tradicional y no pertenece a las antenas escalares. Además, no logra ROE óptima.

La necesidad de mejorar el diseño condujo al concepto de segmento funcional mínimo, igual a  $\frac{1}{8} \frac{\lambda}{2\pi}$ . ¿Cuántos segmentos funcionales mínimos hay en 490,0884540 mm? Hay 12, número par. Entonces no hay  $\frac{1}{4} \frac{\lambda}{2\pi}$  incompleto. Para lograr ROE=1 en un intervalo igual o mayor que toda la banda necesitamos  $\frac{1}{4} \frac{\lambda}{2\pi}$  incompleto, es decir, necesitamos un número impar de segmentos funcionales mínimos. El segmento funcional mínimo es  $\varphi = \frac{1}{8} \frac{\lambda}{2\pi}$ .

En 4 meridianos y el ecuador hay 12  $\varphi$ . El primer número impar mayor que 12 es 13, que mejora el comportamiento, logra una ROE aceptable pero no ROE=1. El número impar siguiente es 15, que logra todos los objetivos.

La medida  $\frac{15}{8} \frac{\lambda}{2\pi}$  cumple y supera nuestros mejores deseos. Y no es necesaria una geometría compleja. El diseño más sencillo, con irradiante recto de 612,5 mm, tiene ese comportamiento.

Quiero animar a Usted a poner a prueba la versión más simple. Solamente requiere un conector tipo PL259 y un poco de alambre que sea capaz de mantenerse recto. Soldamos un extremo del alambre al pin central y el otro extremo queda libre, porque es la punta de la antena. Eso es todo. No usa conexión a masa, ni se hace el descuento de 5%. En el caso de un handy, sin alambres radiales. Con simpleza máxima, logra comportamiento óptimo en rendimiento y en ROE.

---

Autor: Carlos Alejandro Chiappini  
Fecha: 03-05-2022  
Contacto por email: carloschiappini@gmail.com