

# **Diseño, Teoría y Análisis de una Antena Log-Periódica** **Operando entre 400 MHz y 1000 MHz**

**Autor:** Gerez Jiménez, Juan José Armando

## **Resumen**

Esta monografía presenta el diseño, análisis y fundamentos teóricos de una antena log-periódica (LP) capaz de operar en el rango de 400 MHz a 1000 MHz. Las antenas LP se caracterizan por su respuesta relativamente estable en términos de ganancia, patrón de radiación e impedancia a lo largo de un amplio ancho de banda, gracias a su geometría auto-similar en escala logarítmica. En el documento se explica la teoría detrás de ella, se muestran las expresiones matemáticas necesarias para su dimensionamiento, se discuten los parámetros geométricos clave, el rango de frecuencias cubierto y el impacto en el rendimiento. Además, se analizan ventajas y desventajas de las antenas LP al compararlas con otras tecnologías, y se presentan aspectos prácticos de su construcción y medición, siguiendo las directrices establecidas por "Balanis (2005)". Las conclusiones confirman la versatilidad, estabilidad y eficiencia de las antenas log-periódicas en aplicaciones de banda ancha.

## **Introducción**

La demanda de sistemas de comunicaciones capaces de operar sobre rangos extensos de frecuencias ha llevado a la evolución de diversas tipologías de antenas. Entre ellas, las antenas log-periódicas destacan por su capacidad de mantener propiedades relativamente constantes a lo largo de un amplio rango de operación. Su diseño se basa en una geometría auto-similar, escalada logarítmicamente, que proporciona una respuesta electromagnética casi invariante dentro de un ancho de banda extendido.

El objetivo de esta monografía es analizar la teoría, el diseño y el desempeño de una antena log-periódica que cubra el rango de 400 MHz a 1000 MHz. Se presentarán las expresiones matemáticas fundamentales, las relaciones geométricas indispensables y el rol de los parámetros de diseño (razón logarítmica, ángulo geométrico, número de elementos, etc.). Apoyándonos en la referencia "Antenna Theory: Analysis and Design" de Balanis (2005), también se abordarán las ventajas, desventajas y la comparación con otras antenas comunes, así como aspectos prácticos para la construcción y medición del dispositivo.

## **Desarrollo**

## 1. Teoría de las Antenas Log-Periódicas

Las antenas log-periódicas (LP) se caracterizan por un arreglo de elementos (generalmente dipolos) cuyas dimensiones (longitud, separación) disminuyen según una relación logarítmica constante. La razón log-periódica,  $\tau$ , se define como la relación entre las dimensiones sucesivas de los elementos. Esta estructura autosimilar permite que, para cualquier frecuencia dentro del rango de operación, exista un “elemento activo” cercano a la resonancia ( $\lambda/2$ ), generando un patrón de radiación y parámetros de entrada uniformes.

### Parámetros fundamentales

- Razón log-periódica ( $\tau$ ):

$$\tau = \frac{L_{n+1}}{L_n} \quad 0.8 \leq \tau \leq 0.9$$

- Ángulo geométrico ( $\alpha$ ): determina la apertura de la estructura y afecta la ganancia, el ancho de haz y la relación delantera-trasera (F/B).
- Ancho de banda:

$$BW = \frac{f_H}{f_L}$$

Para nuestro caso:

$$f_L = 400 \text{ MHz}, f_H = 1000 \text{ MHz} \Rightarrow BW = 2.5$$

Conforme cambia la frecuencia de operación, el elemento activo se desplaza a lo largo de la estructura, manteniendo un desempeño prácticamente constante en impedancia, patrón y ganancia.

## 2. Parámetros de Diseño (400 MHz - 1000 MHz)

La frecuencia más baja (400 MHz) determina la longitud máxima del dipolo resonante:

$$L_{max} \approx \frac{\lambda_L}{2} = \frac{c}{2f_L} = 0.375 \text{ m}$$

Y para la frecuencia más alta (1000 MHz):

$$L_{min} \approx \frac{\lambda_H}{2} = \frac{c}{2f_H} = 0.15 \text{ m}$$

Con una razón  $\tau \approx 0.85$ , se determina la secuencia de longitudes y separaciones. El número de elementos (N) se selecciona para cubrir logarítmicamente el ancho de banda, garantizando estabilidad en todo el rango.

### 3. **Impedancia e Invariancia de Propiedades**

Uno de los beneficios de la antena LP es su impedancia de entrada relativamente constante, cercana a  $50 \Omega$ , sin necesidad de complejas redes de adaptación. Esto sucede gracias a la superposición de corrientes resonantes y no resonantes a distintas frecuencias, resultando en un valor promedio estable. Ajustando  $\tau$  y  $\alpha$  se controla el ancho de banda, la ganancia y la estabilidad de la impedancia.

### 4. **Patrón de Radiación y Ganancia**

El patrón de radiación es direccional, apuntando hacia el extremo con los elementos más cortos, y se mantiene estable a lo largo del rango de frecuencias. La ganancia es razonablemente uniforme, aunque no tan elevada como la de antenas diseñadas específicamente para una banda estrecha. La relación F/B también permanece en valores aceptables, ofreciendo buen rechazo a señales traseras.

### 5. **Ventajas y Desventajas de las Antenas Log-Periódicas**

#### **Ventajas:**

- **Amplio ancho de banda:** Abarcan rangos de frecuencia extensos sin cambiar antenas ni ajustar redes de adaptación.
- **Estabilidad del patrón de radiación y de la impedancia:** Mantienen su rendimiento (ganancia, impedancia, F/B) relativamente constante a lo largo de su rango.
- **Versatilidad:** Útiles en aplicaciones de monitoreo, comunicaciones multibanda (civiles, militares), radiodifusión y testeo.

#### **Desventajas:**

- **Ganancia menor a la de antenas de banda estrecha:** Aunque la ganancia es estable, no iguala la que podrían ofrecer antenas diseñadas específicamente para un rango angosto de frecuencias (por ejemplo, una Yagi optimizada para una frecuencia particular).
- **Tamaño relativamente grande:** Para cubrir frecuencias bajas, los elementos más largos pueden ser de dimensiones considerables.
- **Complejidad constructiva:** Mayor número de elementos y una alimentación más delicada que en antenas más simples (ej. un dipolo simple).

#### **Comparación con otras antenas:**

- **Antenas Yagi-Uda:**  
Las Yagi-Uda presentan una ganancia elevada en una banda relativamente estrecha, a diferencia de la LP, que ofrece menor ganancia pero un ancho de banda mucho mayor. Las Yagi son ideales cuando se requiere maximizar ganancia en una frecuencia o banda pequeña.

- **Antenas Patch (Microstrip):**  
Las patch son compactas, fáciles de fabricar e integrar con circuitos, pero su ancho de banda es típico y relativamente limitado (a menos que se usen técnicas especiales de ancho de banda). Una LP supera ampliamente el ancho de banda de una patch estándar, pero a costa de mayor complejidad y tamaño.
- **Antenas tipo Bocina (Horn Antennas):**  
Las bocinas ofrecen altos niveles de ganancia y buena directividad, con un ancho de banda relativamente amplio. Sin embargo, suelen operar en microondas y frecuencias más altas, y su tamaño se vuelve considerable a frecuencias menores. Comparativamente, una LP puede resultar más fácil de fabricar y dimensionar a frecuencias de VHF y UHF, con un patrón estable, aunque la horn en microondas puede tener una respuesta más limpia y mayor ganancia.

#### 6. Aspectos Prácticos de Construcción y Mediciones

La precisión en la alineación y espaciamiento de elementos, así como en la alimentación (uso de baluns para equilibrar la alimentación), es esencial. Los materiales suelen ser metálicos ligeros (aluminio). Las mediciones en cámaras anecoicas y mediante analizadores de redes vectoriales (VNA) permiten verificar el patrón de radiación, la impedancia de entrada y el nivel de retorno (S11) a lo largo del rango de frecuencias, confirmando las predicciones teóricas.

### Conclusiones

La antena log-periódica diseñada para operar entre 400 MHz y 1000 MHz demuestra su capacidad de brindar un desempeño uniforme en un amplio rango de frecuencias. Desde el punto de vista teórico, fundamentado en Balanis (2005), la geometría autosimilar escalada logarítmicamente y la selección adecuada de  $\tau$  y  $\alpha$  permiten mantener la impedancia, el patrón de radiación y la ganancia relativamente constantes. Esto ofrece una solución versátil para entornos en los que se requiere cobertura multibanda sin la necesidad de múltiples antenas.

En comparación con otras antenas, la LP ofrece un ancho de banda mucho mayor que una Yagi, sin la estrechez típica de las patch y con una complejidad menor que algunas bocinas a bajas frecuencias. No obstante, su ganancia, si bien estable, no es tan alta como la de antenas dedicadas a bandas angostas, y su tamaño puede ser considerable para frecuencias bajas.

En resumen, la antena log-periódica se presenta como una herramienta valiosa y flexible en la evolución de las comunicaciones multibanda, manteniendo un balance adecuado entre ancho de banda, impedancia estable, patrón de radiación y simplicidad relativa en comparación con otras soluciones.

**Referencia**

Balanis, C. A. (2005). *Antenna Theory: Analysis and Design* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

**Bibliográfica**