

20 de Noviembre, 2024

Ciudad de Guatemala, Guatemala

Diseño y elaboración de antenas receptoras

CORDÓN SALGUERO, LUIS ALBERTO, 221071
VILLAGRÁN MATA, CARLOS JAVIER, 22264

Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ciencias y Humanidades.
Departamento de Física, Teoría Electromagnética 2
Catedrático: Eduardo Álvarez

ABSTRACT

La construcción de antenas receptoras no presenta grandes dificultades técnicas, ya que basta con combinar alambre de cobre con un cable coaxial. Sin embargo, diseñar una antena que capte frecuencias específicas constituye un desafío considerable. En este informe se documenta la construcción de una antena helicoidal y una antena loop pequeña, empleando materiales como alambre de cobre, cable coaxial, PLA, cautín y estaño. La antena helicoidal fue evaluada con un adaptador de red USB, logrando una recepción de 13.06 dB, lo que representa un aumento de 3.25 veces respecto a la señal original. Por su parte, la antena loop pequeña fue probada con un televisor convencional, logrando captar canales en frecuencias VHF y UHF. Las principales dificultades surgieron en la soldadura y en el acoplamiento de impedancia entre las antenas y el cable coaxial. Por ello, se recomienda el uso de un acoplador de impedancia para mejorar la potencia y la recepción de señales.

INDEX TERMS Antena helicoidal, antena loop, Directividad, Frecuencia, Impedancia

I. MARCO CONCEPTUAL

I-A. INTRODUCCIÓN

I-B. ANTENA LOOP PEQUEÑA [BALANIS2016]

I-B1. Campo radiado por un loop con $N = 1$ vuelta

El momento magnético de un loop con corriente es:

$$\mathbf{m} = I_0 A \hat{z},$$

donde $A = \pi R^2$ es el área del loop y I_0 es la corriente máxima.

El campo eléctrico lejano producido por un momento magnético \mathbf{m} se escribe como:

$$E_\phi = \frac{\mu_0 I_0 A \omega^2}{4\pi c^2 r} \sin \theta e^{-j\beta r},$$

donde:

- r : Distancia al punto de observación.
- $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$: Número de onda.
- $\omega = 2\pi f$: Frecuencia angular.
- $\sin \theta$: Dependencia angular característica del loop.

I-B2. Contribución de N vueltas

Para un loop con N vueltas, el momento magnético total se multiplica por N debido a la superposición de los momentos

magnéticos individuales:

$$\mathbf{m}_{\text{total}} = N \cdot (I_0 A).$$

Por tanto, el campo eléctrico radiado es proporcional a N^2 , ya que tanto la corriente como el área efectiva del loop se multiplican por N :

$$E_\phi = \frac{\mu_0 N^2 I_0 A \omega^2}{4\pi c^2 r} \sin \theta e^{-j\beta r}.$$

I-B3. Campo magnético asociado

El campo magnético correspondiente en el campo lejano está relacionado con el campo eléctrico por la impedancia característica del espacio libre, $\eta = 120\pi$:

$$H_\phi = \frac{E_\phi}{\eta}.$$

Sustituyendo E_ϕ :

$$H_\phi = \frac{N^2 I_0 A \omega^2}{4\pi c r} \sin \theta e^{-j\beta r}.$$

I-B4. Dependencia de la radiación con N

La radiación total de la antena aumenta proporcionalmente a N^2 debido al refuerzo constructivo del campo generado por las vueltas adicionales.

I-B5. Relación entre radio y frecuencia

Primero, la longitud de onda λ está relacionada con la frecuencia f y la velocidad de la luz c mediante la fórmula:

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Luego, el perímetro P de una antena loop de n vueltas está dado por:

$$P = n \times 2\pi r$$

En resonancia, el perímetro de la antena es igual a la longitud de onda, es decir:

$$P \approx \lambda$$

Sustituyendo $P = n \times 2\pi r$ en la ecuación de resonancia, se obtiene:

$$n \times 2\pi r \approx \lambda$$

Sustituyendo la expresión de λ en términos de f :

$$n \times 2\pi r \approx \frac{c}{f}$$

Finalmente, despejando la frecuencia f , se obtiene:

$$f \approx \frac{c}{2\pi nr}$$

I-B6. Impedancia y Directividad

La impedancia Z de una antena loop pequeña depende del radio de la antena y del número de vueltas. Para una antena de bucle pequeña en resonancia, la impedancia típica es:

$$Z \approx 30 \times \frac{N}{r}$$

Donde:

- Z es la impedancia de la antena.
- N es el número de vueltas.
- r es el radio de cada vuelta de la antena.

La directividad D de una antena loop está relacionada con su patrón de radiación. Para una antena loop de una vuelta, la directividad se puede aproximar como:

$$D \approx \frac{4\pi A}{\lambda^2}$$

Sustituyendo el área $A = \pi r^2$, se obtiene:

$$D \approx \frac{4\pi \cdot \pi r^2}{\lambda^2} = \frac{4\pi^2 r^2}{\lambda^2}$$

Para una antena loop con N vueltas, la directividad se ajusta por el número de vueltas, y se puede calcular como:

$$D \approx \frac{N^2 \cdot 4\pi r^2}{\lambda^2}$$

I-C. ANTENAS HELICOIDALES [BALANIS2016]

Las antenas helicoidales son ampliamente utilizadas en aplicaciones de telecomunicaciones, debido a sus propiedades únicas de radiación y versatilidad de diseño. Están conformadas por una estructura geométrica en forma de hélice, que se caracteriza por el número de vueltas N , el diámetro D y la separación entre vueltas S .

I-C1. Propiedades Geométricas

La longitud total de la antena helicoidal está dada por:

$$L = NS,$$

y la longitud total del alambre que forma la hélice es:

$$L_n = N\sqrt{S^2 + C^2},$$

donde $C = \pi D$ es la circunferencia de la hélice.

El ángulo de paso α , que determina la inclinación de la hélice, está definido como:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{S}{\pi D} \right).$$

I-C2. Modos de Operación

La antena helicoidal puede operar en dos modos principales: el modo *normal* (broadside) y el modo *axial* (end-fire).

I-C3. Modo Axial

En el modo axial, la máxima intensidad de radiación ocurre a lo largo del eje de la hélice, mientras que los lóbulos menores aparecen en ángulos oblicuos. Este modo es especialmente útil para aplicaciones de polarización circular, ya que proporciona una banda de operación más amplia.

Para excitar este modo, las dimensiones deben cumplir las siguientes condiciones:

- $\frac{3}{4} < \frac{C}{\lambda_0} < \frac{4}{3}$, con $C/\lambda_0 \approx 1$ como valor óptimo.
- Separación entre vueltas $S \approx \lambda_0/4$.
- Ángulo de paso $12^\circ \leq \alpha \leq 14^\circ$.

Normalmente, se utiliza un plano de tierra de al menos $\lambda_0/2$ de diámetro, y la antena se alimenta mediante una línea coaxial. Aunque otras configuraciones de alimentación, como guías de onda o varillas dieléctricas, son posibles, especialmente a frecuencias microondas.

El patrón de radiación en el modo axial puede describirse por:

$$E = \sin \left(\frac{\pi}{2N} \cos \theta \right) \frac{\sin \left(\frac{N}{2} \psi \right)}{\sin \left(\frac{\psi}{2} \right)},$$

donde:

$$\psi = k_0 \left(S \cos \theta - \frac{L_0}{p} \right).$$

La eficiencia de radiación en este modo depende de la relación entre la velocidad de onda en el alambre helicoidal y en el espacio libre, con valores p dados por:

$$p = \frac{L_0/\lambda_0}{S/\lambda_0 + 1} \quad (\text{radiación end-fire ordinaria}),$$

$$p = \frac{L_0/\lambda_0}{S/\lambda_0 + \frac{2N+1}{2N}} \quad (\text{radiación end-fire Hansen-Woodyard}).$$

I-C4. Impedancia y Directividad

La impedancia terminal de una hélice en el modo axial es casi resistiva, con valores entre 100 y 200 ohmios. La impedancia está dada por la siguiente expresión empírica:

$$Z_0 = 140 \frac{C}{\lambda}$$

La directividad está dada por:

$$D_0 = \frac{15NC^2S}{\lambda_0^3},$$

y el ancho de haz entre los puntos nulos (FNBW) es:

$$\text{FNBW} = \frac{115\lambda_0^{3/2}}{C\sqrt{NS}}.$$

II. OBJETIVOS

- Diseñar y construir dos antenas; una loop pequeña capaz de recibir frecuencias televisivas (Mhz) y una helicoidal capaz de recibir frecuencias wifi (Ghz).
- Comparar la velocidad de bajada y subida (Mbps) captada por una antena helicoidal casera con la propia de un adaptador a red USB, así como las frecuencias VHF y UHF recibidas por una antena loop pequeña.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

III-A. MATERIALES

III-A1. Antena Loop Pequeña

- 0.7 m de alambre de cobre esmaltado, calibre 16 AWG
- 3 m de cable coaxial RG6
- Televisor convencional
- Plancha de MDF
- Cortadora láser
- Lija
- Pinzas
- Pelacables
- Cautín
- Estaño
- Pasta para soldar
- Cinta aislante

III-A2. Antena Helicoidal

- Cable coaxial RG6
- Impresora 3D y PLA
- Cable de cobre AWG 24
- Placa PCB
- Cautín
- Estaño
- Adaptador a red USB TL-WN722N

III-B. METODOLOGÍA

III-B1. Antena Loop Pequeña

La construcción de la antena comienza con el corte de una pieza de plancha MDF circular con un diámetro de 9

cm, que servirá como base para el enrollado del alambre esmaltado. Se debe dejar un espacio libre de al menos 5 cm en ambos extremos del alambre. Posteriormente, se lija 3 cm de un extremo del alambre para asegurar una mejor adhesión. Para mantener la forma circular de la antena, se enrolla cinta aislante en al menos cuatro puntos distribuidos a 90 grados a lo largo del perímetro, asegurándose de que los extremos del alambre queden en la parte inferior. A continuación, se corta 10 cm de un extremo del cable coaxial, se pela el aislante y la fibra, dejando al menos 1 cm de cobre libre en la punta. Luego, se enrolla el alambre esmaltado sobre el cobre libre del cable coaxial y se realiza una soldadura utilizando estaño y pasta de soldar para facilitar la unión. Finalmente, se prueba la antena conectándola a un televisor convencional para verificar su funcionamiento.

III-B2. Antena Helicoidal

La construcción de la antena se llevó a cabo siguiendo los siguientes pasos:

- Se diseña la base adecuando las dimensiones a la longitud de onda de interés de tal forma que la circunferencia de una vuelta fuera muy parecida a la longitud de onda.
- Se hace uso de una impresora 3D para la impresión de la base.
- Se enrolla el alambre de cobre en la base intentando que sea lo más uniforme la hélice.
- Se corta un PCB de tal forma que el ancho asemeje a la longitud de onda utilizada, este servirá como reflector de la antena.
- Se hace un agujero en el PCB de tal forma que quede en el punto donde empieza el alambre de cobre.
- Se prepara un trozo de cable coaxial que se utilizará para unir la antena con el receptor de señales, en este caso se utiliza un adaptador de red USB.
- Se suelda un extremo del coaxial con la entrada de poder para la antena. En este punto de unión se suelda también un pedazo de cobre de tal forma que permita el acople de la impedancia de la antena con el de el coaxial.
- Se suelda el coaxial con el adaptador de red USB.
- Se utiliza un analizador de señal para ver como reacciona la antena.

III-C. DIAGRAMA

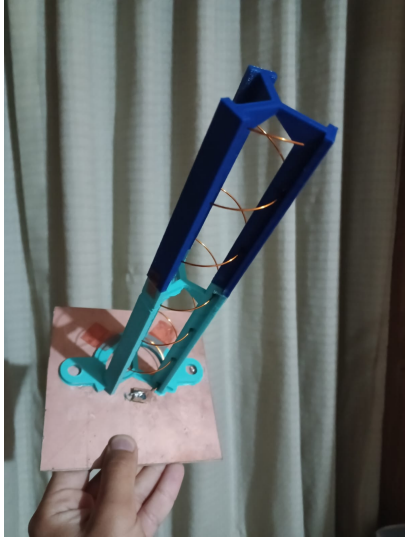


Figura 1: Montaje de antena helicoidal

IV-A. ANTENA HELICOIDAL

Tabla 1: Dimensiones y características de la antena helicoidal a 2.4 GHz.

Parámetro	Valor	Unidad
Longitud de onda (λ_0)	0.125	m
Diámetro (D)	0.0398	m
Circunferencia (C)	0.125	m
Separación entre vueltas (S)	0.0313	m
Longitud total (L)	0.1875	m
Longitud del alambre (L_{wire})	0.7731	m
Directividad (D_0)	22.5	—
Ganancia (G)	13.06	dB
Impedancia (Z_0)	140	Ω

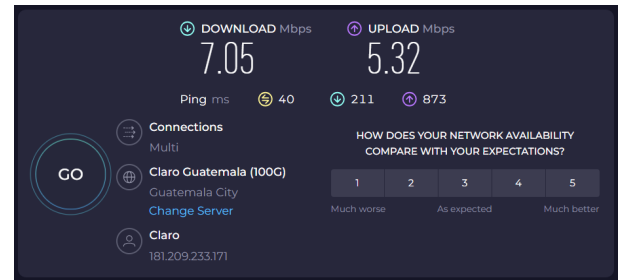


Figura 3: Velocidad captada con la antena original de 4dB



Figura 2: Montaje de antena loop pequeña

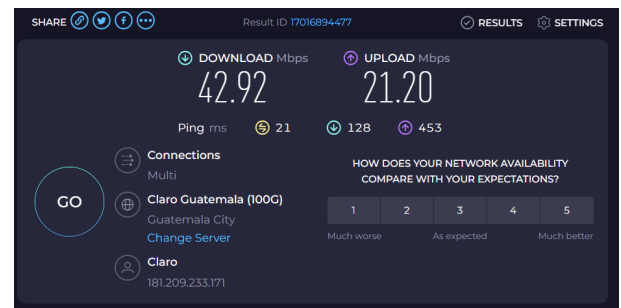


Figura 4: Velocidad captada con antena helicoidal de 13.06dB

IV-B. ANTENA LOOP PEQUEÑA

Tabla 2: Dimensiones y características de la antena loop pequeña

Parámetro	Valor	Unidad
Longitud de onda (λ)	0.57	m
Radio (r)	0.045	m
Número de vueltas (N)	2	—
Frecuencia (f)	530.52	MHz
Impedancia (Z)	1,333.33	Ω
Ganancia (G)	10.99	dB
Directividad (D)	0.32	—

IV. RESULTADOS

Tabla 3: Canales captados por la antena loop pequeña

Canal	Frecuencia	Captado	Calidad
Canal 3	VHF	Sí	Mala
Canal 7	VHF	Sí	Regular
Canal 11	VHF	Sí	Regular
Canal 13	VHF	Sí	Excelente
TN23	UHF	Sí	Excelente
Guatevisión	UHF	Sí	Regular
TV Azteca Guate	UHF	Sí	Regular
Canal 27	UHF	Sí	Excelente
T. Arquidiocesana	UHF	Sí	Excelente
Canal 9	TDT	No	NA

V. DISCUSIÓN

V-A. ANTENA HELICOIDAL

Es posible observar la mejora en la recepción de la señal WI-FI al utilizar la antena helicoidal que al utilizar la antena original que trae el adaptador. Esto se debe principalmente a el incremento en la ganancia de la antena utilizada. Es de notar que la ganancia de la antena helicoidal está en función de las dimensiones y la cantidad de vueltas que tiene, la antena construida tiene 6 vueltas y esto, como se observa en la tabla 1, da como resultado una ganancia de 13.06dB, 3.25 veces mayor a la ganancia de la antena original de 4dB del producto TL-WN722N.

Queda en evidencia que el espacio juega un rol importantísimo al momento de restringir las características de la antena. La antena helicoidal ocupa mucho más espacio que la que trae el adaptador, mas sin la restricción del espacio se abren las posibilidades para mejorar la recepción de señal. Además de la ventaja en la ganancia de la antena se tiene que la helicoidal está sujeta a polarización circular, lo que permite que la señal sea perceptible independientemente del tipo de antena que la este generando. Mas es bastante susceptible a cambios direccionales, esto se debe a que la antena se encuentra diseñada de forma axial, lo que para una helicoidal implica un lóbulo principal y concentrado por la alta ganancia. La forma axial y la alta ganancia permiten una transferencia de señales con menos pérdidas.

Las principales dificultades que se encontraron en el desarrollo de la antena fueron al momento de realizar las conexiones. Se utilizó un cable coaxial como transmisor de la señal, esto fue un desafío ya que la impedancia de la antena y del cable coaxial son bastante diferentes, siendo 140 la de la antena y 60 la del coaxial. Para permitir un buen acoplamiento se soldó una pequeña placa en el primer cuarto de vuelta de la antena y en el punto de unión del coaxial. Esta es una recomendación común encontrada en la literatura. El siguiente desafío que representa esta configuración es la conexión con la entrada SMA del adaptador USB, la conexión es sumamente frágil lo que limita el uso de la antena, no fue posible encontrar un adaptador de coaxial a SMA por lo que se soldó directo.

En general se alcanzaron los objetivos del proyecto, se logró construir una antena funcional y se evidenció su eficiencia en la recepción de ondas WI-FI. Se logró obtener conocimiento práctico de conceptos fundamentales de ondas como lo es la ganancia y la modalidad axial de una antena. Se recomienda el uso de adaptadores que faciliten la conexión de las partes para permitir movilidad y facilidad de manejo de la antena.

V-B. ANTENA LOOP PEQUEÑA

Para la antena loop pequeña, se predijo una frecuencia de 530.52 MHz. La evidencia de esta predicción se observó en los canales captados por la antena. Es evidente que los canales de suscripción no fueron incluidos en la recepción, sin embargo, los canales nacionales de frecuencia muy alta (VHF), que abarcan desde los 3 hasta los 300 MHz, fueron todos captados, en su mayoría con una calidad regular (canales 7 y 11) o excelente (canal 13). No obstante, el canal 3 también fue captado, pero con una calidad deficiente. Por otro lado, los canales correspondientes a la frecuencia ultra alta (UHF), que van desde los 300 MHz hasta los 3 GHz, fueron igualmente captados, con una calidad mayormente regular o excelente. Este comportamiento sugiere que la antena está mejor adaptada para recibir señales de frecuencias UHF.

Este fenómeno puede explicarse por el diseño de la antena, que cuenta con un radio pequeño y dos vueltas. En el caso de que se incrementaran el número de vueltas o el radio de la antena, se observaría una disminución en la captación de frecuencias UHF, pero a su vez, la calidad de recepción de las señales VHF mejoraría. Esto se debe a que la antena no fue diseñada específicamente para ser de banda ancha, aunque desempeñó esta función en cierta medida.

Además, el canal 9 no pudo ser captado en ningún momento, lo cual puede atribuirse a que este canal transmite señales de Televisión Digital Terrestre (TDT). La incapacidad para captar este canal podría ser una consecuencia del diseño de la antena, que no fue optimizada para recibir señales TDT. Un comportamiento similar se observó en el canal 3, que también sufrió de una calidad baja, ya que este opera tanto en el rango de VHF como TDT.

Otros factores, como el esmaltado de la antena, el lijado del extremo, la soldadura con el cable coaxial y la forma no perfectamente circular de la antena, pudieron haber afectado la calidad de la señal captada. Por lo tanto, para mejorar los resultados del experimento, se recomienda la elaboración de una antena de banda ancha utilizando un molde para fundir el cobre, o bien un martillo para ajustar las posibles desconfiguraciones que puedan surgir durante el proceso de enrollado. También sería conveniente el uso de una máquina enrolladora de bobinas, siempre que el material utilizado como base sea dieléctrico y que la diferencia entre el radio

externo e interno no sea mayor a 1 cm.

Finalmente, se sugiere la utilización de un adaptador de impedancia, el cual podría mejorar la señal al hacer coincidir la impedancia de la antena con la del cable coaxial, optimizando así la transferencia de potencia y la recepción de señales.

VI. CONCLUSIONES

- Fue posible construir con éxito como verificar la eficiencia de una antena helicoidal.
- Se logró construir una antena loop pequeña capaz de captar señales en el rango de frecuencias muy alta (VHF) y ultra alta frecuencia (UHF).

VII. BIBLIOGRAFIA

Referencias

- [1] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 4th edition, Wiley, 2016.

...